


studioemagazin



Grundwissen

- Aspekte der Verkabelung und Installation von Tonstudios
- Bandaufzeichnungssimulationen im Vergleich zum Original
- Betrachtungen zur Anwendung von Kopfhörern in der Studio-Produktionsumgebung
- Hintergrundbetrachtung zum Messen analoger und digitaler Audioparameter
- Analog in SMD – dann lieber gleich digital?

ensemble
Thunderbolt™ Audio Interface

ensemble

Thunderbolt™ Audio Interface



30x34 Thunderbolt Audio Interface

- Thunderbolt 2-Anschluss für extreme geringe Latenzen (1,1 ms Round Trip @ 96 kHz / 32 Buffer)
- 8 Mikrofonvorverstärker mit bis zu 75 dB Vorverstärkung und „Advanced Stepped Gain“ Technologie
- 2 frontseitige Gitarren Ein-/Ausgangs-Kanäle mit Class A JFET Eingängen und Dual Mode Re-Amp Ausgängen
- Talkback Funktionalität mit eingebautem oder externem Mikrofon inklusive frei zuweisbaren Kontrolltastern
- 2 PurePower Kopfhörerausgänge
- 10 individuell zuweisbare analoge Eingänge
- 16 analoge Ausgänge mit Apogee's Premium Wandlern



Designed in California
Made in U.S.A.

www.apogeedigital.com



Rückschritt durch Fortschritt

Fritz Fey Chefredakteur Studio Magazin

Einer Facit-Media-Efficiency-Marktstudie zufolge haben sich die Hörgewohnheiten unserer deutschen Mitbürger in den vergangenen Jahren deutlich verändert. Nicht, dass wir das nicht schon geahnt, befürchtet oder auch gewusst hätten, jedoch hat sich das Musik-Konsum-Verhalten weitaus drastischer in die von uns Audio-Professionals eher als gruselig bis frustrierend wahrgenommene Richtung entwickelt, als wir das vielleicht wahrhaben wollen. An der im Rahmen der Studie durchgeführten Umfrage durch das Münchner Marktforschungsinstitut nahmen mehr als 8.200 Personen im Alter von 14 bis 59 Jahren teil, was mir unter anderem sagt, dass ich mit 65 nicht mehr zur Zielgruppe gehöre. Das könnte ich durchaus noch verschmerzen, doch sind die Umfrageergebnisse alles andere als ermutigend, natürlich nur aus der Sicht der Hüter des heiligen Klang-Grals. Der Habitus von über 63 Millionen Mitbürgern lässt sich gemäß Umfrageergebnis in zwei große Gruppen teilen: Rund 23 Millionen Menschen in Deutschland hören ausschließlich UKW-Radio und nutzen physikalische Tonträger. Die ‚übrigen‘ über 40 Millionen, also rund zwei Drittel aller Befragten, nutzen Audio ‚auf moderne Art und Weise‘, was heißen soll, dass sie Webradio, Radio-Apps oder Musik-Streaming bevorzugen und Musik über sogenannte mobile Endgeräte hören. Mit anderen Worten, die komprimierten Formate haben absoluten Vorrang und wir stellen demzufolge fest, dass 64 Prozent aller Deutschen über das Internet verbreitete Angebote nutzen, nicht auch, sondern mit zunehmendem Schwerpunkt, was den einen oder anderen Mastering-Ingenieur mit der Frage zurücklässt, ob das eine dB in den Höhen wirklich noch relevant sein kann. Die ‚Plattensammlung‘ ist ein Ding der Vergangenheit, zumindest für den überwiegenden Teil der deutschen Bevölkerung. Zwar hören 76 Prozent der Befragten das scheinbar trotz aller technologischen Neuerungen unsterbliche UKW-Radio, aber ein wirklich beträchtlicher Anteil nutzt Internet-Medien wie Youtube, Vimeo oder

Streaming Dienste. Ich will in diesem Zusammenhang die desaströsen Abrechnungsregularien für Musiker, die ihre Musik Streaming-Diensten anvertrauen, nicht thematisieren, sondern lediglich zur Sprache bringen, wie der vielzitierte ‚Klang‘ aus den Studios unter diesen Voraussetzungen an die Ohren seiner Rezipienten gelangen soll, denn wir sprechen ja schließlich von einer Entwicklung, die eindeutig in eine Richtung zeigt und nicht etwa schon abgeschlossen wäre. Ich will damit nicht sagen, dass ‚nun alles keinen Sinn mehr hat‘, sondern die Wahrnehmung dafür schärfen, wo die oft mit Herzblut entstandenen Musikproduktionen am Ende landen. Mastering- und Mix- Ingenieure sind schon lange damit beschäftigt, einen Sound zu erzeugen, der auch über den Sendeprozessor des UKW-Radios gut klingt. Ein Master muss auch über ein Küchenradio oder einen Smartphone-Lautsprecher gut klingen. Sicher, das haben wir alle schon mal diskutiert oder zu hören bekommen. Es kann aber doch nicht sein, dass der Smartphone-Lautsprecher zum Maß der Dinge für über Jahrzehnte entwickelte künstlerisch-klangästhetische Arbeit wird. Das wäre in der Tat ein weiterer Rückschritt durch Fortschritt. Auf der anderen Seite ist Kunst ja schon immer eine Leidenschaft für Bevölkerungsminderheiten gewesen, so dass sich der Klassik- oder Jazz-Tonmeister vielleicht noch entspannt zurücklehnen kann. Populäre Musik trällert unterdessen aus millimetergroßen Lautsprechern, oder mit viel Glück aus In-Ear-Hörern und wirft bei den Produzenten die Frage auf, ob das High-Tech-Abhörssystem des Studios überhaupt beantworten kann, wie Musik aus ‚modernen Kanälen‘ klingen muss. Da unsere November-Ausgabe wie gewohnt die letzte ist, die Sie vor den Festtagen und dem Jahreswechsel sicher erreicht, lassen Sie mich die Gelegenheit nutzen, Ihnen allen ein schönes Weihnachtsfest im Kreise Ihrer Familie und Freunde, einen guten Rutsch und ein erfolgreiches 2016 wünschen.

3 Editorial

6 Viele Wenig ergeben ein Viel

Aspekte der Verkabelung und Installation von Tonstudios
Nils Dreyer



24 Am goldenen Bande

Bandaufzeichnungssimulationen im Vergleich zum Original – Teil 1
Friedemann Kootz

34 Am goldenen Bande

Bandaufzeichnungssimulationen im Vergleich zu einem Original – Teil 2
Friedemann Kootz



44 Der Kopfhörer als ‚Lautsprecher‘

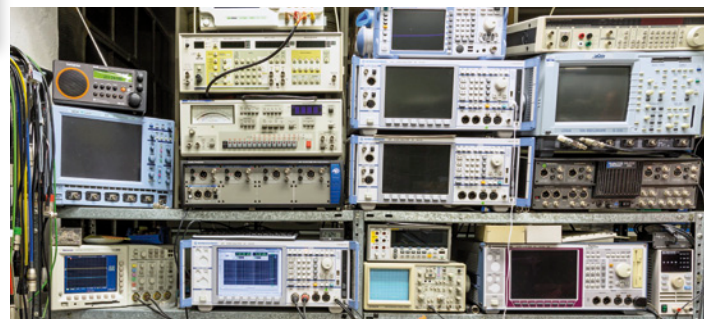
Betrachtungen zur Anwendung von Kopfhörern in der Studio-Produktionsumgebung
Günther Theile

52 Messwahl

Vorstellung des Audio Precision APx555 Audio-Analysers & Hintergrundbetrachtung zum Messen analoger und digitaler Audioparameter – Teil 1
Friedemann Kootz

60 Messwahl

Hintergrundbetrachtung zum Messen analoger und digitaler Audioparameter – Teil 2
Friedemann Kootz



66 Immer auf die Kleinen...

Analog in SMD – dann lieber gleich digital?
Thomas Funk und 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 Druckerunterlagen
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

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



CLICK FOR MORE INFORMATION.

Lawo compact
2015/16



Download
the complete
brochure here!

V_remote4



Bidirectional Video & Audio to IP Interface for Remote Production

V_view1



IP-to-HDMI Interface for Low-Latency IP Video Monitoring

KICK



Automated Mixing Control for Close-Ball Mixing

Nova37



Hybrid RAVENNA/MADI Plug&Play Audio Router

A_line



High-Quality Audio-to-IP Interfacing

sapphire compact



Advanced On-Air Mixing Console for Radio

Compact Engine



AES67 Audio Node with Onboard DSP

VisTool 5.0



User Interface Building Application

JADE VSC



RAVENNA/AES67 Virtual Sound Card

JADE Engine



RAVENNA/AES67 Virtual Audio Router

mc² Micro Core



Universal Networked Audio Engine

ISE 2016, Amsterdam, Hall 7, Booth X220



www.lawo.com

Aspekte der Verkabelung und Installation von Tonstudios

VIELE WENIG ERGEBEN EIN VIEL

Nils Dreyer, Abbildungen und Fotos: Nils Dreyer



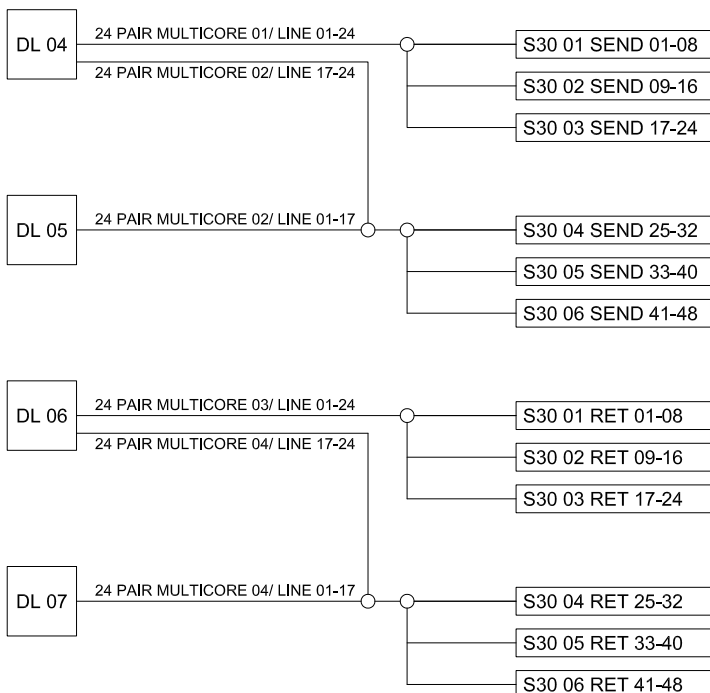
„Kaum macht man es richtig, schon funktioniert es.“ Dieses Zitat eines lieben Freundes hat sicher jeder, der ihn kennt, schon einmal gehört. Sie wissen, wen ich meine? Dieser schöne Spruch lässt sich natürlich auf alle Lebensbereiche anwenden und passt besonders treffend in unsere Audiowelt. Dem kann man nichts entgegensetzen. Man sucht sich dem Budget entsprechend das beste Equipment aus, man investiert oft nach langem Zögern dann auch noch in eine vernünftig geplante Akustik. Zum Schluss kauft man schnell noch ein paar fertig konfektionierte Leitungen vom Musikaliendiscouter und fertig ist die Laube. Dieser Artikel soll dazu anregen, dass Sie das vielleicht nicht so machen! Aber bilden Sie sich Ihr eigenes Urteil.

Der Masterplan

Nun haben wir Wochen damit zugebracht, zu entscheiden, wo wir das Studio errichten wollen, haben uns monatelang mit Equipmentfragen auseinandergesetzt, haben angefangen, die Räumlichkeiten auszubauen und mit einem Akustiker über den Innenausbau gesprochen. Warum sollen wir jetzt auch noch über Kabel nachdenken? Und warum jetzt schon? Es reicht doch, dieses Thema anzugehen, wenn die ganzen Geräte an Ort und Stelle stehen. Ein paar Netzleitungen, ein paar Audioleitungen anschließen, kann man doch immer noch. Nein, kann man nicht!

Im Idealfall wird mit der Planung der Verdrahtung begonnen, bevor man den Ausbau des Studios in Angriff nimmt. Es gibt einige gute Gründe, die dafür sprechen. Man sollte grundsätzlich einige Dinge innerhalb der ersten Bauphase bedenken, auf die ich im Folgenden eingehen werde.

Die Stromzufuhr für das gesamte Studio ist ein ganz wichtiger Punkt für die ersten Planungsüberlegungen. Welchen Leistungsbedarf hat das Studio? Wo werden überall Steckdosen benötigt? Ist die Bereitstellung von verschiedenen Stromkreisen für die Audiotechnik und den „Haushaltsstrom“ sinnvoll? Ein ganz wichtiger Aspekt ist die Bereitstellung einer Betriebs Erde, auf die ich im nächsten Kapitel noch ausführlich eingehen werde. All dies ist im Zeitalter der DAW dominierten Studios genauso aktuell wie in den guten alten Zeiten, als das Einschalten der gigantischen Studiomischpulte die Kleinstädte ein kleines bisschen dunkler werden ließ.



Teil eines Verdrahtungsplans



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 Studiotechnik
- Professioneller Support



MADI- und MADI-Hybrid Kabelsysteme



Studio-Referenz-Multicore



SOMMER CABLE

GRATISKATALOG ANFORDERN!

SOMMER CABLE GmbH

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



Der Autor

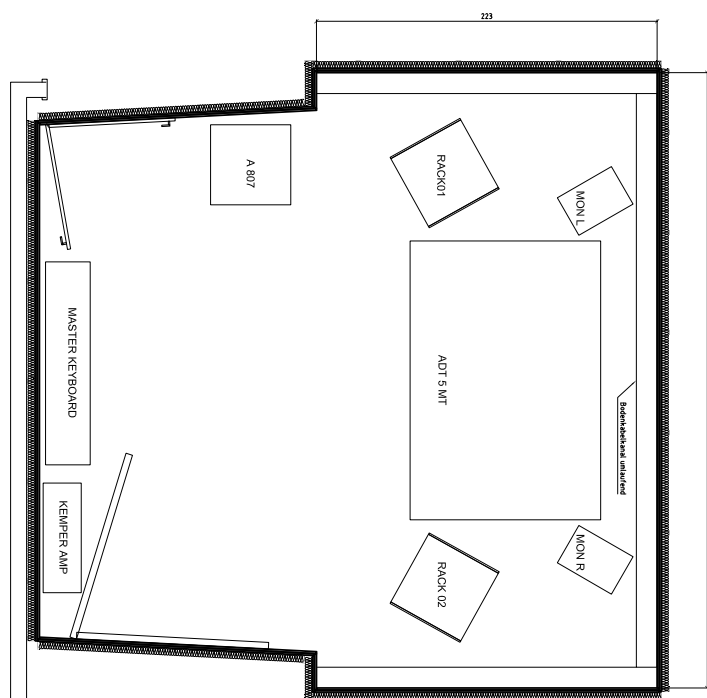
Nils Dreyer installiert seit über 20 Jahren Tonstudio- und Medientechnik. Zu seinen Referenzen gehören zahlreiche Tonstudios, Videoschnittplätze, kleinere Ü-Wagen und Veranstaltungsräume. Er begann seine Laufbahn zunächst als Assistent und später als Toningenieur in einem renommierten Kölner Tonstudio.

Bald wechselte er zur Firma MTK Thomas Kuhlhoff und war dort bis Ende 1998 im Bereich der Planung und Installation tätig. 1999 wurde er Mitglied des Solid Tube Audio Teams um Helmuth Rübmann und war maßgeblich an der Konstruktion, dem Aufbau und der Installation der weltweit einzigartigen Vollröhren-Konsole ‚Everest‘ und des Equalizers ‚Etna‘ beteiligt. Anfang dieses Jahres gründete Nils Dreyer mit ‚3er Professionelle Audiotechnik‘ ein eigenes Unternehmen und bietet vielfältige Dienstleistungen rund um die Tonstudio- und Medientechnik an. Zu seinem Portfolio gehören neben der Installation die Bereiche Planung, Dokumentation, Sonderanfertigung, Modifikation, Restauration, CAD-Konstruktion, Fertigung von mechanischen Bauteilen und die Prototypenbestückung. In all diesen Bereichen verfügt er über eine langjährige Erfahrung und betätigt sich darüber hinaus auch als Consultant.

Diese Fragen sollten mit einem Studio-Planer und dem ausführenden Elektriker vor dem Innenausbau geklärt werden. Es ist auch ratsam, den Akustiker im Zweifel mit einzubeziehen, wenn es um Fragen wie Wanddurchbrüche oder das Setzen von Steckdosen geht. Nichts ist schlimmer als Steckdosenbohrungen, die die komplette Schallisolierung des Studios zerstören. Alles schon passiert und hinterher schwer zu korrigieren. Elektriker sind selten mit den Anforderungen einer Tonstudioinstallation vertraut. Das birgt kleine Stolperfallen, die vermieden werden können, wenn man einfach kurz darüber spricht. Wo wird später die Audiotechnik platziert? Achten Sie auf genügend Anschlussmöglichkeiten und vor allem einen vernünftigen Kabelkanal. Auch dazu später noch mehr.

Die gute Planung beginnt mit der Auflistung der gesamten Technik. Dazu gehören auch sämtliche Computer, Monitore, Eingabegeräte, Instrumente und Verstärker. Alle Anschlüsse sollten erfasst werden, auch wenn man einige davon vorerst nicht benutzen wird. So kann man sicher gehen, nichts zu vergessen und eventuelle Problemerkandidaten im Vorfeld erkennen.

Als nächstes wird ein Raumplan erstellt, in dem die Positionen der einzelnen Geräte skizziert werden. Das hilft beim



Einfacher Raumplan

Erfassen der Leitungslängen und dient als Vorlage zur Leitungskonfektion. Jetzt wird ein Verdrahtungsplan des gesamten Studios erstellt. Hierbei werden sämtliche Geräte mit allen Anschlüssen erfasst und miteinander ‚verheiratet‘. Dabei wird schon im Plan ersichtlich, ob es sich um Ein- oder Ausgänge, Audio, Wordclock, Midi, USB, MADI, AES, ADAT, Video oder sonstige Leitungen handelt. Dies ist immens wichtig, um ein sauberes Erdkonzept zu erstellen. Es können auch schon Leitungsnummern eingetragen werden, die später als Vorlage für Leitungslisten dienen. An dieser Stelle werden auch Problemfälle erkannt, wenn etwa für bestimmte Schnittstellen die maximalen Leitungslängen überschritten werden. Entsprechende Lösungen werden sofort mit einbezogen. Dieser ‚Masterplan‘ gilt als Referenz für die gesamte Verdrahtung. Später erhalten Sie von Ihrem Studio-Planer eine ausführliche Dokumentation zu Ihrer gesamten Installation. Hier sind alle Leitungen mit entsprechenden Nummern oder Beschriftungen verzeichnet und ermöglichen so das schnelle Auffinden von Anschlüssen und deren Zugehörigkeit. Selbstverständlich werden alle Leitungen beschriftet, und zwar so ausführlich wie möglich. Entweder man beschriftet die Leitungen mit Nummern oder mit Klartext. Werden die Leitungen mit Nummern versehen, behalten sie ihr Leben lang diese Nummer und werden in der Leitungsliste des Studios verzeichnet. Ändert sich einmal ein Gerät, wird nur die Liste geändert und die Beschriftung der Leitung bleibt erhalten. In der Liste sollten auch Besonderheiten (zum Beispiel die Schirmung und die Stecker-Belegungen) erfasst werden. Ein Beispiel für eine Kabelliste sehen Sie in der Abbildung.



Wo es auf Kreativität ankommt...



The SoundShack



M&E Studios



Stone Postproduction, Bratislava

NUAGE 
Yamaha & Steinberg

Die leistungsstarke Kombination von Nuage und Nuendo 6.5, welche von führenden Studios auf der ganzen Welt eingesetzt wird, stellt eine kreative Plattform bereit, die ihresgleichen sucht.

Dank dem ausgesprochen intuitiven Workflow im Bereich Editing, Mixing und Recording, bietet Nuage Ihnen die Möglichkeit, sich ganz auf die Kreativität einer Produktion zu fokussieren und Ihren Kunden so ein optimales Ergebnis, von der Aufnahme über die Bearbeitung, bis hin zur Sprachsynchronisation und Musikproduktion, zu bieten.

Sprechen Sie jetzt mit Yamaha und erfahren Sie, wie Nuage auch Ihrem Unternehmen helfen kann, eine revolutionäre Optimierung ihrer kreativen Resultate herbeizuführen.



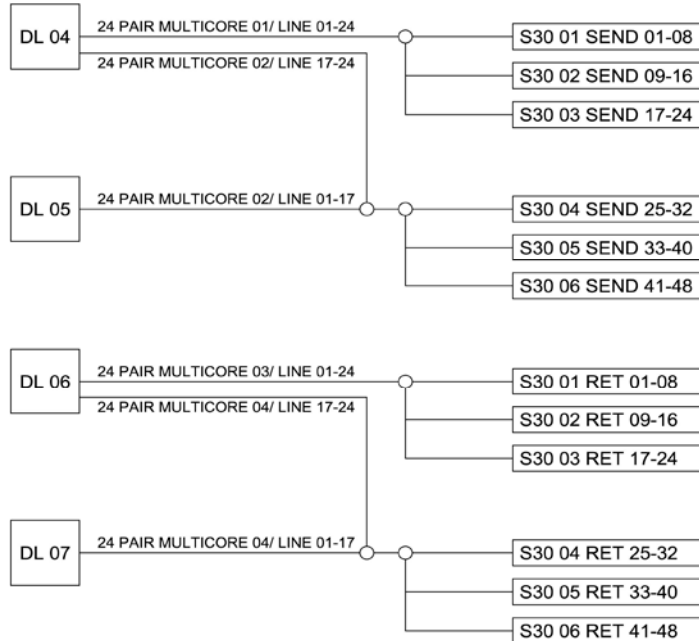
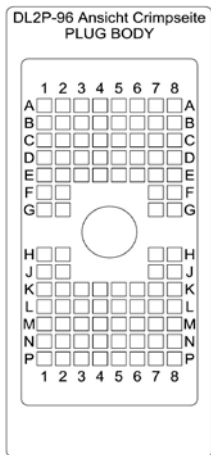
 **YAMAHA** 
commercial audio

Für weitere Informationen besuchen Sie: www.yamahaproaudio.com

Connect with experience

MULTITRACK RETURN PROVVISORISCH																
Description	Typ	Cable Type	Remark	Cable Length	Source	Connector Source					Destination	Connector Destination	Pin Out Destination	Screen	Multicore Split	Colour Code
Multitrack Return 01-32 Provisorisch unterhalb Regiefenster	MR_01_860_201205141244_V100	2x 24 Pair Multicore Typ Überschall Splitted to 2x DL	Provisorische Verbindung von Console AF an Multitrack unterhalb Regiefenster	6m	Console AF DL 06	DL 96 Pol Zif Connector	A1	B1	C1	aufgelegt	Multitrack Return 01	Din 41618 30Pol Female 01 Row 01	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun
							A2	B2	C2	aufgelegt	Multitrack Return 02	Din 41618 30Pol Female 01 Row 02	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Grün
							A3	B3	C3	aufgelegt	Multitrack Return 03	Din 41618 30Pol Female 01 Row 03	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Gelb
							A4	B4	C4	aufgelegt	Multitrack Return 04	Din 41618 30Pol Female 01 Row 04	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Grau
							A5	B5	C5	aufgelegt	Multitrack Return 05	Din 41618 30Pol Female 01 Row 05	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Pink
							A6	B6	C6	aufgelegt	Multitrack Return 06	Din 41618 30Pol Female 01 Row 06	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Blau
							A7	B7	C7	aufgelegt	Multitrack Return 07	Din 41618 30Pol Female 01 Row 07	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Rot
							A8	B8	C8	aufgelegt	Multitrack Return 08	Din 41618 30Pol Female 01 Row 08	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Schwarz
							D1	E1	F1	aufgelegt	Multitrack Return 09	Din 41618 30Pol Female 02 Row 01	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Violett
							D2	E2	F2	aufgelegt	Multitrack Return 10	Din 41618 30Pol Female 02 Row 02	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Braun
							D3	E3	G1	aufgelegt	Multitrack Return 11	Din 41618 30Pol Female 02 Row 03	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Grün
							D4	E4	G2	aufgelegt	Multitrack Return 12	Din 41618 30Pol Female 02 Row 04	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Gelb
							D5	E5	G7	aufgelegt	Multitrack Return 13	Din 41618 30Pol Female 02 Row 05	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Grau
							D6	E6	G8	aufgelegt	Multitrack Return 14	Din 41618 30Pol Female 02 Row 06	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Pink
							D7	E7	F7	aufgelegt	Multitrack Return 15	Din 41618 30Pol Female 02 Row 07	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Blau
							D8	E8	F8	aufgelegt	Multitrack Return 16	Din 41618 30Pol Female 02 Row 08	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Rot
							L1	K1	J1	aufgelegt	Multitrack Return 17	Din 41618 30Pol Female 03 Row 01	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Weiß-Schwarz
							L2	K2	J2	aufgelegt	Multitrack Return 18	Din 41618 30Pol Female 03 Row 02	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Grün
							L3	K3	H1	aufgelegt	Multitrack Return 19	Din 41618 30Pol Female 03 Row 03	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Gelb
							L4	K4	H2	aufgelegt	Multitrack Return 20	Din 41618 30Pol Female 03 Row 04	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Grau
							L5	K5	H7	aufgelegt	Multitrack Return 21	Din 41618 30Pol Female 03 Row 05	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Pink
							L6	K6	H8	aufgelegt	Multitrack Return 22	Din 41618 30Pol Female 03 Row 06	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Blau
							L7	K7	J7	aufgelegt	Multitrack Return 23	Din 41618 30Pol Female 03 Row 07	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Rot
							L8	K8	J8	aufgelegt	Multitrack Return 24	Din 41618 30Pol Female 03 Row 08	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 03	Braun-Schwarz
							P1	N1	M1	aufgelegt	Multitrack Return 25	Din 41618 30Pol Female 04 Row 01	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Weiß-Schwarz
							P2	N2	M2	aufgelegt	Multitrack Return 26	Din 41618 30Pol Female 04 Row 02	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Grün
							P3	N3	M3	aufgelegt	Multitrack Return 27	Din 41618 30Pol Female 04 Row 03	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Gelb
							P4	N4	M4	aufgelegt	Multitrack Return 28	Din 41618 30Pol Female 04 Row 04	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Grau
							P5	N5	M5	aufgelegt	Multitrack Return 29	Din 41618 30Pol Female 04 Row 05	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Pink
							P6	N6	M6	aufgelegt	Multitrack Return 30	Din 41618 30Pol Female 04 Row 06	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Blau
							P7	N7	M7	aufgelegt	Multitrack Return 31	Din 41618 30Pol Female 04 Row 07	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Rot
							P8	N8	M8	aufgelegt	Multitrack Return 32	Din 41618 30Pol Female 04 Row 08	a + b - c scr	nicht aufgelegt	24 pair 04	Braun-Schwarz

Auszug einer Kabelliste



Auszug einer Kabelliste

Die Klartextbeschriftung hat den Vorteil, dass man immer direkt sehen kann, wo die Leitung landet. Steckt jemand ein paar Stecker ab, weiß ich eine Woche später trotzdem sofort, wo sie eigentlich hingehörten. Auch eine gute Lösung. Man muss allerdings immer die Beschriftung der Leitung wechseln, sobald ein Gerät getauscht wird. Bei Installationen mit Steckfeldern hat es sich bewährt, die Klinkennummer (Steckfeldreihe und Nummer der Klinke, zum Beispiel A01) als Kabelnum-

mer zu verwenden. So findet man auch später sehr schnell die zugehörige Leitung.

Die Erde ist ein Stern und der Strom kommt aus der Steckdose

Heutzutage wird in den meisten Studios kaum noch darauf geachtet, wie man eine Stromverdrahtung ordentlich aufbaut. Es werden mehrere Mehrfachsteckdosenleisten ineinander gesteckt,

dann noch schnell eine Lampe an der Pultsteckdose angeschlossen, Steckernetzteile summen leise vor sich hin und streuen in aller Ruhe in die gesamte Audioanlage ein. Bitte nicht aufregen, es gibt genügend Studios, die vollkommen sauber aufgebaut sind. Jene können jetzt weghören und müssen sich nicht angesprochen fühlen. Zunächst einmal sollte man sich Gedanken über die korrekte Erdung der gesamten Anlage machen, ein Punkt, der leider heutzutage oft vernachlässigt und später unweigerlich zu Problemen führen wird.

Bei unserem Spannungsversorgungsnetz handelt es sich um ein Dreiphasenwechselspannungsnetz, bei dem die Wechselspannungen zueinander eine Phasenverschiebung von 120 Grad aufweisen. Zwischen den Außenleitern liegt eine Spannung von 400 Volt und zwischen Außenleiter und Neutralleiter liegt eine Spannung von 230 Volt an. Dieses Spannungsnetz liefert uns aber keine Erde, da das Netz nur über die Außenleiter und den Neutralleiter verfügt. Die Erde (und damit ist wirklich das Erdreich gemeint) wird am Hausanschluss zugeführt. Bei der Installati-

on des Hauses wird ein Tiefen- oder Fundamenterder gesetzt, der über ein ausreichend niedriges Potential verfügt und das Haus mit einem eigenen Potentialausgleich versorgt. Diese Erde wird in einer Studioinstallation als Bezugspotential für sämtliche Geräte benötigt. Sie muss sehr niederohmig sein und sollte deshalb auch mit einem möglichst großen Querschnitt zum Studio geführt werden. Früher wurden zu diesem Zweck eigene Tiefen- Oberflächen oder Fundament-Erder gesetzt und diese dann exklusiv für die Studiotechnik genutzt. Das ist natürlich der ideale Weg. Da alle Häuser jedoch über einen solchen Erder verfügen müssen, ist es auch möglich, von diesem Punkt eine Leitung mit einem Querschnitt von mindestens 16 mm² zum Studio zu führen. Diese wird nun auf einen zentralen Punkt im Studio aufgelegt und dient dort als Betriebs Erde. Der Erder des Hauses befindet sich in der Regel in der Nähe des Hauptanschlusses. Ist es aus bautechnischen Gründen nicht möglich, den zentralen Erdungspunkt des Hauses zu erreichen, kann man die Erde auch an das Rohrleitungssystem des Hauses anzuschließen. Es besteht jedoch gerade in neueren Häusern die Gefahr, dass es sich um Kunststoffleitungen handelt, die über keinerlei Verbindung zum Erdsystem des Hauses verfügen. In diesem Fall sollte man einen eigenen Tiefenerder setzen und von diesem eine

Leitung zum Studio legen. Die Erde wird vom Elektriker gemessen, um sicher zu gehen, dass sie auch ausreichend niederohmig ist.

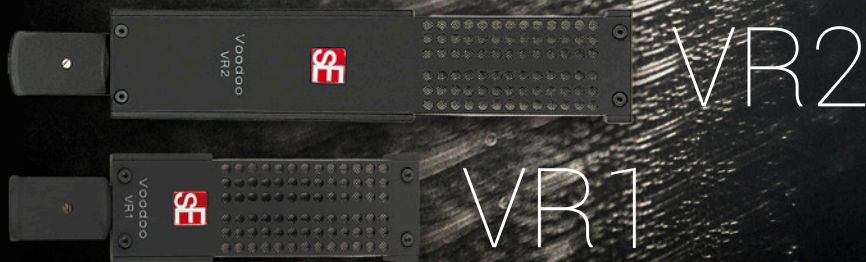
Wenn innerhalb der Anlage alle Geräte auf diesem Potential liegen und in der Elektroinstallation ein FI verwendet wird (zwingend erforderlich), ist auch die Sicherheit immer gewährleistet. Die Betriebs Erde stellt im Audiosystem das tiefste zu erreichende Potential dar. Falls überhaupt keine Möglichkeit zur separaten Erdung der Anlage besteht, da es zu umständlich oder finanziell nicht darstellbar ist (zum Beispiel bei einem Projektstudio in einem Mietshaus), kann man auch einen Trenntransformator verwenden. Für einen nicht allzu großen Strombedarf sind die Kosten dafür recht überschaubar. Ein Trenntrafo sorgt dafür, dass sein Ausgang galvanisch vom Eingang getrennt wird und somit über keinerlei direkte Verbindung zum übrigen Stromnetz des Hauses besteht. Man sollte jedoch unbedingt einen Trenntransformator nach Normvorschrift verwenden, um die nötige Sicherheit zu gewährleisten.

Planen Sie für die Versorgung Ihrer Anlage eine separate Unterverteilung. Aus dieser wird eine Versorgung aufgebaut, in der es ein Audio- und ein Haushaltsnetz gibt. Aus zwei verschiedenen Phasen der Unterverteilung wird eine Phase aus-



BLACK MAGIC

Bändchenmikrofone mit patentierter HF-Technologie



Die preisgekrönten Mikrofone der **Voodoo-Serie** kombinieren den besonderen, **natürlichen Sound eines Bändchens** mit der **Auflösung eines Kondensatormikrofons**. Sie begeistern in vielerlei Aufnahmesituationen. **Überzeugen Sie sich selbst!**

schließlich für die Audioinstallation (Pult, Effekte, Maschinen, Audiorechner und so weiter) und die andere Phase für den ‚Haushaltsstrom‘ (Licht, Küche, Kaffeemaschine etc.) verwendet. Es darf keine Vermischung der beiden Stromkreise erfolgen. Am sichersten ist es, wenn man die entsprechenden Steckdosen innerhalb des Studios mit Klartext beschriftet, damit nicht aus Versehen eine Haushaltssteckdose für das Audionetz oder umgekehrt eine Audionetzsteckdose für den Haushaltsstrom verwendet wird. Auf diese Art und Weise sollte man sich die ‚sauberste‘ Phase aus dem Netz suchen und diese als Audionetz betreiben. Einfacher ist das natürlich zu realisieren, bevor Leitungen durch Wände gezogen werden. Ein guter Elektriker, der sich mit Altbausanierungen auskennt, schafft das auch nachträglich. Wenn es möglich ist, legt man eine separate Drehstromleitung vom Hausanschluss zur Studiounterverteilung und verhindert somit, dass Störungen durch andere Geräte in die Leitung einstreuen.

Im Laufe unzähliger Installationen hat sich herausgestellt, dass die Erdung nach dem sternförmigen Prinzip meistens am einfachsten zu guten Ergebnissen führt. Hierbei werden effektiv Erdschleifen vermieden und der große Brumm findet allenfalls auf der Studioilette statt. Die Betriebserde wird an einem zentralen Punkt im Studio auf eine Erdungsschiene aufgelegt und von dort aus zu jedem Rack und jedem Gerät verteilt. Alle Geräte liegen somit auf dem gleichen Potential auf und Brummstörungen werden vermieden.

Warum lohnt sich der ganze Aufwand?

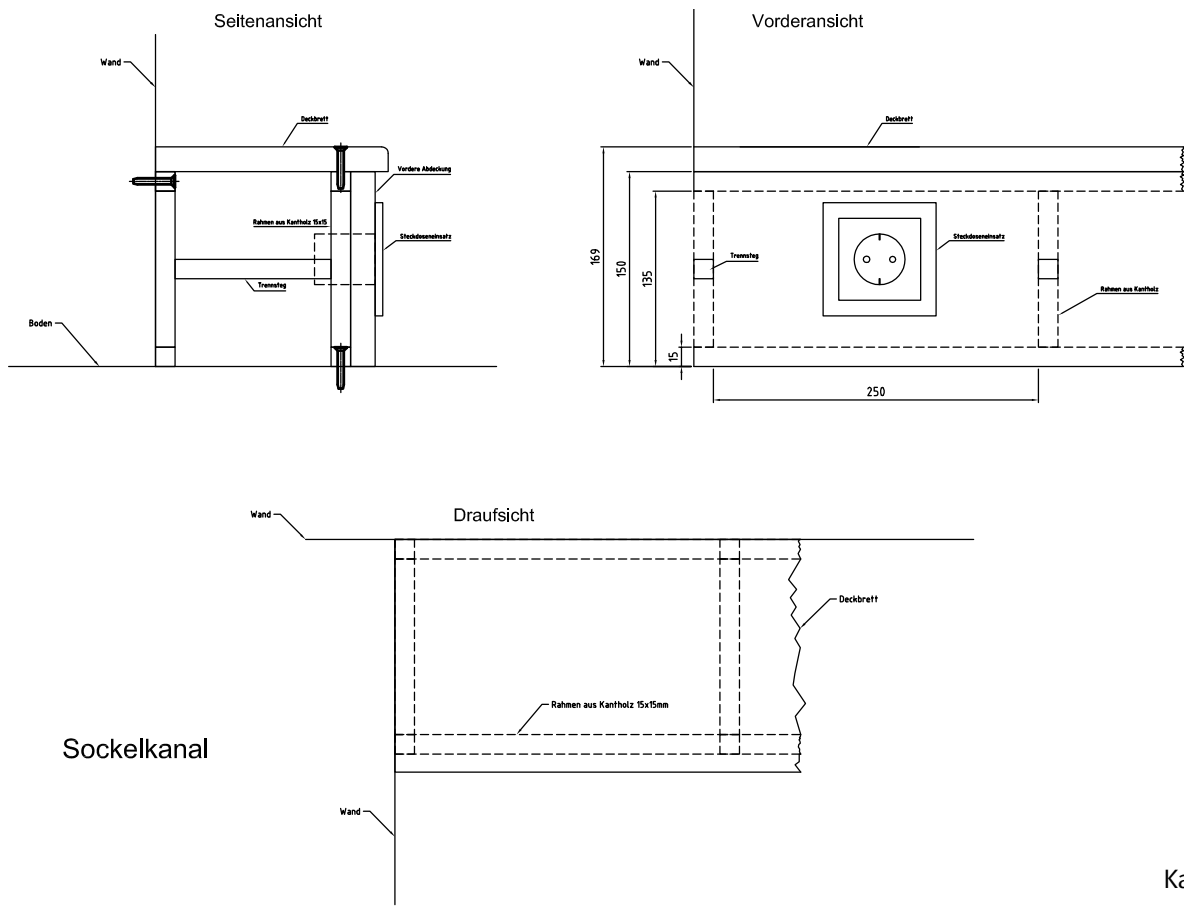
Jeder, der schon einmal versucht hat, abends leise Fernsehen zu schauen oder Musik zu hören, kennt diese fürchterlichen Knackstörungen, wenn der Kühlschrank einschaltet, oder in der Küche in der Etage über uns die Leuchtstoffröhre zündet. Leider ist dem Strom und seinen unangenehmen Begleitern dabei auch relativ egal, ob wir ‚nur‘ am Laptop sitzen oder in einem bis an die Zähne bewaffneten High Tech Studio. An erster Stelle einer gelungenen Studioinstallation steht also immer das Strom- und Erdungskonzept, ohne das es nicht möglich sein wird, eine störungsfreie Anlage aufzubauen. Noch ein dringliches Wort der Warnung: Niemals selber am Stromkasten arbeiten, es sei denn man ist Elektriker!! Bei späteren Schäden wird keine Versicherung jemals zahlen. Ganz abgesehen von der Lebensgefahr: 230 Volt sind definitiv nicht für den menschlichen Körper bestimmt. Wenn man unbedingt selber Steckdosen setzen möchte, um Geld zu sparen, lässt man sie später (vor der Inbetriebnahme) von einem Elektriker prüfen oder besser noch von ihm auflegen. Dann ist man auf der sicheren Seite. Der Elektriker

führt eine Isolationsprüfung vor Inbetriebnahme der Anlage durch. Es spricht auch nichts dagegen, Leitungen selber zu verlegen. Man muss dabei aber unbedingt die entsprechenden VDE Vorschriften einhalten. Überlegen Sie genau, welche Arbeiten in Eigenregie durchgeführt werden können, ohne sich selbst und andere in Gefahr zu bringen.

Der Kanal ist voll

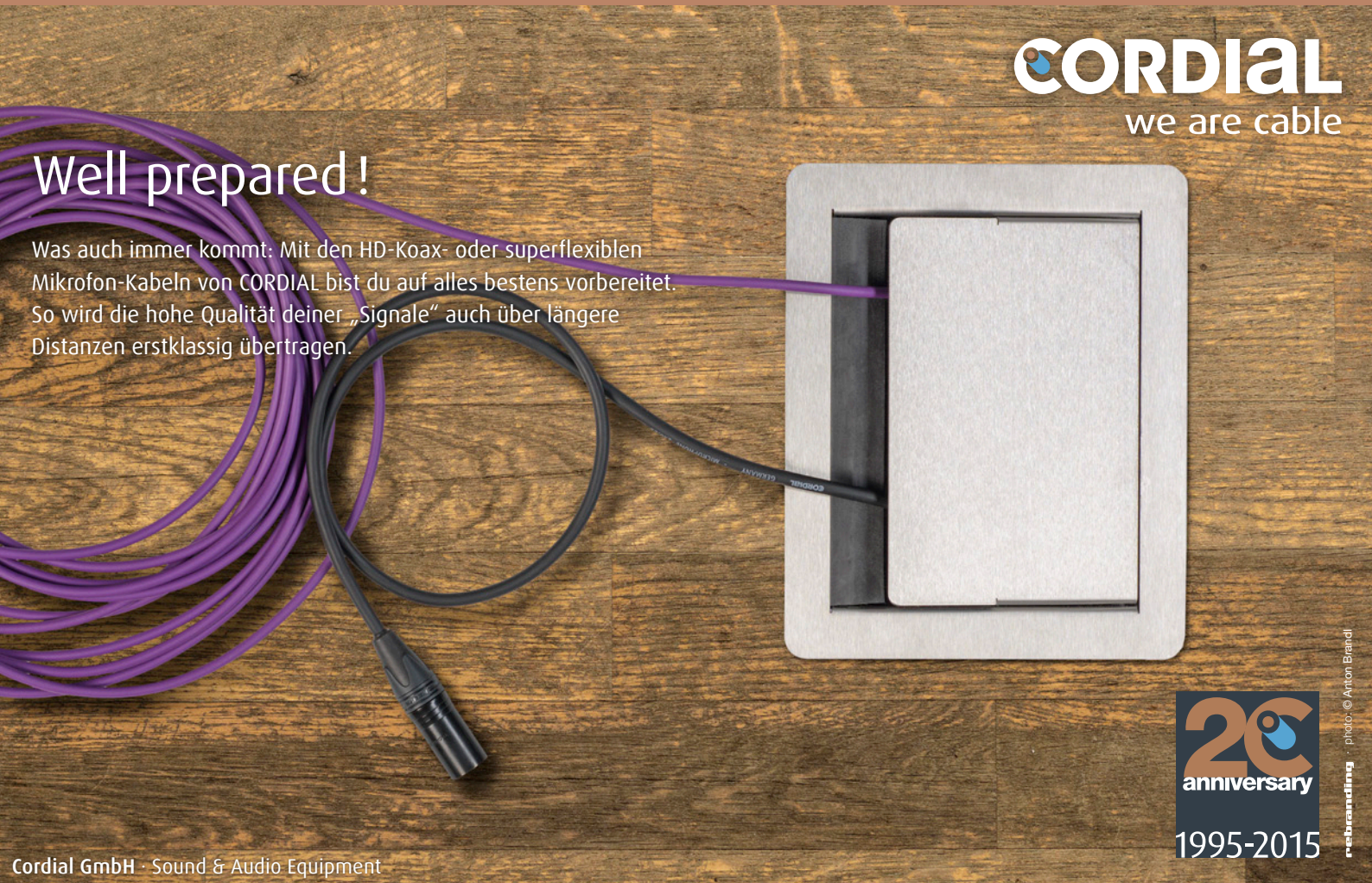
Ich habe selten ein Studio erlebt, dass über ausreichend dimensionierte Kabelkanäle verfügt. Seltsamerweise werden im Laufe der Installation und später im täglichen Gebrauch des Studios immer mehr Leitungen verlegt, als man zunächst angenommen hatte. Ruckzuck ist der Kanal voll. Also ein dringender Rat: Planen Sie richtig große Kanäle ein. Leitungen mit Spüli oder Silikonspray einzureiben, um sie dann doch irgendwie noch durch einen Wanddurchbruch oder einen Kabelkanal zu quetschen, macht wirklich keinen Spaß. Und wenn das Ganze dann trocknet, bewegt man die Leitung nie mehr auch nur einen Zentimeter. Alles schon erlebt. Dabei ist es eigentlich sehr einfach, den Kanal großzügig zu dimensionieren und ihn sogar unauffällig zu integrieren.

Ein weiterer Fehler, der oft gemacht wird, ist die Verlegung von Audio- und stromführenden Leitungen in einem wilden Durcheinander. Ein einfacher Steg oder zumindest eine saubere Sortierung reichen schon aus, um das ungeliebte Chaos zu verhindern. Mit ein paar Kabelbindern kann man die Kabelstränge sortieren. Im Baumarkt des Vertrauens gibt es Kabelkanäle in allen möglichen Dimensionen. Wenn man nicht so viel Wert auf die Optik legt, besorgt man sich zwei Kunststoffkanäle, die direkt nebeneinander montiert werden und benutzt einen davon für Strom und den anderen für Audio. Alles getrennt und sauber verlegt. Schnell, billig und eigentlich völlig ausreichend. Wer es etwas schicker gestalten möchte, baut sich einen Sockelkanal auf, der unten auf dem Boden an allen Wänden des Studios verläuft. Diese Konstruktion (siehe Abbildung) hat sich schon mehrfach bewährt, fügt sich unauffällig in die Akustik ein und es lassen sich Steckdosen und kleine Anschlussfelder integrieren, ohne dass man diese in die Wand setzen muss (Achtung Schallisolierung!). Betrachten Sie den Aufbau des Kabelkanals unbedingt im Zusammenhang mit der Akustik. In einem aktuellen Projekt habe ich den Kabelkanal so geplant, dass er dem Verlauf der Akustikmodule an der Wand folgt, um zu verhindern, dass dieser später unerreichbar wird. Das Fazit lautet also: Großzügig dimensionieren (der Kanal ist höchstens halbvoll bei der Erst-Installation); räumliche Trennung von Audio- und Netzleitungen.



Sockelkanal

Kabelkanal



Well prepared!

Was auch immer kommt: Mit den HD-Koax- oder superflexiblen Mikrofon-Kabeln von CORDIAL bist du auf alles bestens vorbereitet. So wird die hohe Qualität deiner „Signale“ auch über längere Distanzen erstklassig übertragen.

CORDIAL
we are cable

20
anniversary
1995-2015

rebranding · photo: © Anton Brandl

Zwei Drähte mein Brot, drei Drähte mein Tod

Ich glaube, ich werde nie in meinem Leben vergessen, wie der Planungsingenieur während einer großen Theaterinstallation durch das Gebäude zog und ständig diesen Spruch auf den Lippen hatte. Was wollte er uns damit sagen? Er meinte natürlich nicht „asymmetrisch ist toll und symmetrisch ist doof“. Ganz im Gegenteil. Den Unterschied zwischen einer symmetrischen und asymmetrischen Leitungsführung muss den Lesern dieses Magazins sicher nicht erklärt werden, also erspare ich uns das auch.

Der Hintergrund ist folgender: Zur Vermeidung von Masse-schleifen werden in der gesamten Studioinstallationen die Leitungsschirme nur auf einer Seite der Leitung aufgelegt. Beispielsweise werden alle Schirme ausgangsseitig aufgelegt und eingangsseitig nicht aufgelegt. Diese Methode gewährleistet die Schirmung der Leitung und gleichzeitig wird keine Verbindung der Masse über den Leitungsschirm hergestellt. Da heutzutage bei den meisten Geräten keine Trennung von Audio- und Netzmasse besteht, kann man auf diesem Wege Brummschleifen verhindern. Allerdings müssen für dieses Prinzip der Verdrahtung alle angeschlossenen Geräte auf demselben Erdpotential liegen. Das wird durch die sternförmige Verteilung der Erde zu den einzelnen Geräten erreicht. Es gibt auch die Methode, bei besonders kritischen Installationen den Schirm beidseitig aufzulegen, jedoch auf einer Seite mit einem kleinen Kondensator, der zwischen Leitungsschirm und Verbindungsstecker geschaltet wird. Dieses Prinzip funktioniert übrigens auch bei asymmetrischen Leitungen, die an symmetrischen Ein- oder Ausgängen angeschlossen werden. Auf der symmetrischen Seite wird dazu die Phase auf die A-Ader aufgelegt und der Leitungsschirm auf der B-Ader. Die Masse bleibt frei.

Die Tage der Studios mit einer gigantischen Anzahl von Synthesizern und Expandern sind lange vorbei. Hier gab es in der Vergangenheit immer wieder große Probleme mit Brummstörungen durch unsymmetrische Ausgänge und die einzig sinnvolle Methode war der Einsatz von Übertragern oder elektronischen Symmetrierern. Auch machten die häufig verwendeten Steckernetzteile viele Probleme, da sie durch unzureichende Abschirmung in die Audioleitungen eingestreut haben. Steckernetzteile sollte man daher immer möglichst weit entfernt von Audioleitungen installieren.

Leider gibt es heute aber ein paar neue Problembereiter. Wie sieht es denn mit den USB- und Netzwerk-Leitungen aus? Hier können auch durch Verbindungen zwischen Audio-Interface beziehungsweise Wandler und Computer Masse-schleifen entstehen, die man im Auge behalten sollte.

Wo ist der Haken an der Sache?

Leider gibt es meines Wissens keine fertig konfektionierten Leitungen, die dieser Belegung entsprechen. Hier ist der Schirm immer beidseitig aufgelegt. Mit ein bisschen Glück kann man die Stecker der Leitung öffnen und die Schirme vorsichtig entfernen. Bei vergossenen Steckverbindern besteht diese Möglichkeit jedoch nicht.

Solche Leitungen müssen konfektioniert werden, was allerdings für den Studio-Installateur kein Problem ist. Ein weiterer Vorteil der individuellen Konfektionierung ist das Ablängen der Leitungen. Alle Leitungen haben genau die richtige Länge und müssen nicht aufgerollt verstaut werden. Es gibt übrigens eine Ausnahme, bei der dieses Prinzip nicht angewendet werden kann: Die Mikrofonleitung. Bei dieser wird die Phantomspeisung über die A- und B-Ader der Leitung geführt und benötigt den Leitungsschirm als Minuspol. Da die meisten Mikrofone allerdings nicht über eine Verbindung zur Erde verfügen, da sie nicht mit dem Stromnetz verbunden sind, treten hier aber auch keine Probleme auf. Eine Ausnahme bilden Mikrofone mit Speiseteil, diese benötigen aber auch keine Phantomspeisung. Sollte es zu Brummproblemen aufgrund einer Masseschleife kommen, kann man einfach in der Audio-Zuleitung vom Speiseteil zur Mikrofonanschlussdose den Schirm auf einer Seite hochlegen.

Der gemeine Steckverbinder

Es gibt sicherlich eine unzählige Anzahl von allen möglichen und leider auch unmöglichen Steckverbindern, jedoch haben sich im Studiobetrieb nur einige wenige Formate durchgesetzt. Sieht man einmal von Exoten ab, so haben sich XLR, 6,3 mm und 3,5 mm Klinke, aber leider auch der Cinch-Stecker für die Audioverdrahtung von einzelnen Signalen durchgesetzt. Im Bereich der Multipin-Steckverbinder ist wohl heutzutage der 25polige Sub-D Stecker am weitesten verbreitet. Es lassen sich hier acht symmetrische Leitungen auflegen und es haben sich Standardbelegungen durchgesetzt, die von vielen Herstellern unterstützt werden. DL und EDAC Steckverbinder, die früher häufig an großen Mischpulten zu



Einbauarmaturen



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

finden waren, werden heute kaum noch verbaut, sind aber weiterhin problemlos erhältlich. Für diese Steckertypen benötigt man in der Regel Crimpwerkzeuge, um sie zu konfektio-nieren. Im Studio von heute finden sich häufig diverse USB-, FireWire-, MADI-, ADAT-, AES und Wordclock-Verbindungen. Es gibt auch für diese Steckverbinder heutzutage professionelle Einbausteckverbinder, die sich in Anschlussfelder integrieren lassen. So ist es ohne weiteres möglich, zum Beispiel eine USB-Buchse oder eine Miniklinke in ein Mikrofonanschlussfeld zu integrieren.

Es sollen hier nicht die einzelnen Steckertypen beschrieben und deren Vor- und Nachteile herausgearbeitet werden. Vielmehr möchte ich empfehlen, genau auf die Qualität der Steckverbinder zu achten, denn da gibt es riesige Unterschiede. Ich habe schon Klinkenstecker bestellt, von denen man bei einer Stückzahl von 100 die Hälfte wegwerfen konnte, da sie ab Werk einen Kurzschluss zwischen dem Pin und der Masse hatten. Andere wiederum ließen sich nicht zuschrauben, da das Gewinde des Gehäuses einfach nicht vorhanden war. Da spart man definitiv am falschen Ende und handelt sich nur Ärger ein. Bevor Sie größere Stückzahlen bestellen, ist es also immer ratsam, ein paar Muster anzuschauen. Es gibt Firmen, die für Qualität stehen und denen man quasi blind vertrauen kann. Meistens sind es die Firmen, die sich schon seit Jahren auf dem Markt etabliert haben und unendlich oft kopiert wurden.

Worauf sollten Sie also achten?

Ist der Steckverbinder mechanisch stabil, oder wackelt alles hin und her? Gibt es eine vernünftige Zugentlastung? Lässt sich der Stecker schnell und einfach montieren? Ist eine Verriegelung vorhanden und funktioniert diese? Wie sieht die Beschaffenheit der Steckkontakte aus? Lässt sich der Stecker gut verlöten? Nimmt er das Zinn gut an? Lässt er sich gut stecken? Oder ist er zu groß für eng aneinander liegende Buchsen? Ist ein ausreichender Abstand zwischen den Leitern und der Masse vorhanden? Ist der Steckverbinder im Servicefall auch wieder zu öffnen oder benötige ich dafür Spezialwerkzeug?

Es ist mit Sicherheit ratsam, den Studioinstallateur Ihres Vertrauens um Rat zu fragen. Er hat schließlich schon hunderte oder gar tausende Steckverbinder in der Hand gehabt und kennt seine Pappenheimer. Ein wichtiger Hinweis noch zur Legierung der Steckverbinder: Benutzt man vergoldete Steckverbinder in einer versilberten Buchse, kann es passieren, dass man den Stecker nach ein paar Jahren nicht mehr vom Gerät trennen kann, da die beiden eine unzertrennbare Verbindung eingegangen sind. Das passiert besonders häufig bei XLR-Steckverbindern.

Noch ein paar Worte zu Steckverbindern von ‚Vintage- Equipment‘: In diversen Internetforen ist häufig zu lesen, dass gewisse Steckverbinder nicht mehr erhältlich seien und es gibt bereits findige Ebay-Verkäufer, die diese Stecker zu Phantasiepreisen anbieten. Ich kann Sie beruhigen. Die meisten Steckverbinder, wie zum Beispiel Messerleisten (auch als Siemens 12- oder 30pol bekannt), werden heute noch produziert und sind ohne Probleme erhältlich. Schwieriger wird es bei einigen Groß-Tuchel-Steckverbindern, die etwa bei historischen Mikrofonen verwendet werden. Diese sind häufig schon lange abgekündigt und nur noch auf dem Gebrauchtmart zu finden. Falls Sie solche Mikrofone besitzen, schauen Sie sich ruhig nach Angeboten um und kaufen bei einer günstigen Gelegenheit. Falls mal etwas kaputt geht, haben Sie dann Ersatz. Es lohnt sich sogar, defekte Steckverbinder zu sammeln. Ich habe schon aus zwei oder drei defekten Steckverbindern einen funktionierenden zusammengebaut und das Mikrofon konnte wieder (sicher) in Betrieb genommen werden.

Wir stehen alle auf dem Schlauch, oder?

Ebenso vielfältig wie die Landschaft der Steckverbinder ist die unglaubliche Auswahl an Leitungen, die heutzutage erhältlich sind. Es werden unterschiedlichste Arten des Aufbaus, der Isolierung, des verwendeten Materials, der Adernzahl, des Mantels und so weiter angeboten. Ich möchte mich nicht an der Diskussion über den Klang von Leitungen beteiligen. Wer der Meinung ist, dass Leitungen etwas für den Klang seiner Anlage tun können, dem empfehle ich schlicht und einfach einen Hörtest durchzuführen und dann seine eigene, unabhängige Entscheidung zu treffen. Ich bin der Ansicht, dass man keine pauschalen Aussagen zu einem solchen Thema treffen sollte, sondern jeder sollte individuell beschließen, mit welchem Lösungsansatz er glücklich wird. Auch sollte dabei immer bedacht werden, dass sich Lei-



Messerleiste und D-SUB

tungen in unterschiedlichen Anlagen und an unterschiedlicher Stelle innerhalb des Systems immer anders verhalten werden. Das betrifft auch den Einfluss auf den ‚Klang‘. Ich denke, man sollte wie bei Steckverbindern genau auf die Qualität achten und im Zweifel lieber das etwas teurere, qualitativ hochwertigere Material verwenden. Auch hier wieder eine kleine Checkliste für den Einkauf:

Ist die Leitung vom Aufbau her sauber gemacht? Riechen Sie ruhig mal an der Leitung. Oft verrät sich ein übler Kunststoff schon am Geruch. Gibt es einen sauberen Innenaufbau? Sind die Adernpaare einzeln geschirmt und ausreichend voneinander isoliert? Lässt sich das Kabel gut abmanteln und abisolieren? Kann man Abisolierzangen verwenden? Lässt es sich gut verlöten? Schrumpft die Isolierung der einzelnen Adern stark beim Verlöten? Wie ist die Beschaffenheit der Abschirmung? Gibt es zusätzlich noch einen Gesamtschirm? Ist die Leitung flexibel genug, damit man sie auch problemlos verlegen kann? Wie dick ist die gesamte Leitung? Könnte ich Platzprobleme im Kanal oder Rack bekommen? Passt die Leitung in die Steckverbinder? Ist die Leitung schnell und gut verfügbar oder gibt es lange Lieferzeiten? Gibt es Mindestabnahmemengen? Hat schon jemand Erfahrungen mit der Leitung gesammelt?

Fragen Sie am besten jemanden, der sich damit auskennt und schon über Erfahrungen mit dem jeweiligen Material verfügt. Im Netz findet man ausreichend Hinweise auf Erfahrungsberichte. Googeln Sie einfach mal danach. Verlassen Sie sich nicht auf die blumigen Beschreibungen der Hersteller. Fast jeder Kabellieferant schickt Ihnen gerne Muster zu, die Sie auf Herz und Nieren prüfen und malträtiertieren können. Noch ein Tipp zur Verkabelung von rollbaren Racks. Es hat sich sehr bewährt, alle Leitungen, die zu einem Rack führen in einem Gewebeslauch zusammenzufassen. So hat man nur einen sauberen Strang, der zum Rack führt. Es empfiehlt sich, die Netzzuleitung in diesem Fall mit einer abgeschirmten Leitung auszuführen, um Einstreuungen zu verhindern.

Die digitale Welt

Ich möchte nun noch auf die oben schon erwähnten USB-, FireWire-, ADAT-, MADI-, Wordclock- und Thunderbolt-Leitungen eingehen. Dieser Abschnitt des Artikels ist ein wenig als Glossar zu verstehen und soll die Merkmale der unterschiedlichen Schnittstellen darstellen.

USB

Bei USB-Verbindungen sollten Sie unbedingt beachten, dass eine maximale Leitungslänge von 5 Metern für eine sichere Verbindung nicht überschritten werden darf. In einigen Fällen funktioniert zwar auch eine etwas längere Leitung, jedoch ist sie dann unter Umständen nicht mehr betriebssicher. Bei längeren Leitungslängen (zum Beispiel bei einem Rechner, der ausgelagert in einem anderen Raum steht) verwendet man eine USB-Repeater-Leitung. Diese ermöglicht Leitungslängen bis zu 25 Metern. An diese Leitung kann ein USB Hub angeschlossen werden, um mehrere USB-Geräte mit dem Rechner zu verbinden. Bedenken sollte man bei der Verlegung der Leitung, dass eine Maus oft nicht an einem USB-Hub funktioniert und somit eine eigene Leitung benötigt. Ein Kunde wunderte sich über eine sehr merkwürdig reagierende und nicht zuverlässig arbeitende Maus. Wie sich herausstellte, war die Maus an einem Hub angeschlossen. Mit der Installation einer neuen Repeater-Leitung, die exklusiv für die Maus eingesetzt wurde, waren alle Probleme beseitigt. Auch im Bereich der Audioübertragung hat USB in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. So ist es mit den neuen Standards möglich, ohne Probleme 64 Audiokanäle (32 Inputs und 32 Outputs) simultan zu nutzen. Einige am Markt befindliche Interfaces bieten die Möglichkeit, analog oder digital eine solch erstaunliche Anzahl von Kanälen über eine USB Leitung an den Rechner zu liefern. Es ist ratsam, zumindest eine USB-Leitung in den Aufnah-



Klangvergnügen

TUBE-TECH

Gear For Life



HLT 2A – Stereo High & Low Shelving EQ und T-Filter

- Stereo-EQ in kompromissloser Tube-Tech Qualität
- Low-Shelving 20, 40, 80, 160, 320, 640 Hz, +/- 12dB
- High-Shelving 1, 2, 5, 10, 15, 22 kHz, +/- 12dB
- T-Filter (EQ-Wippe) mit wählbarer Center-Frequenz
- Hochpass mit 5 Frequenzen und Bypass
- Tiefpass mit 5 Frequenzen und Bypass
- Übertragersymmetrierte Ein- und Ausgänge

Unverbindliche Preisempfehlung: 3.749,- €

meraum zu legen. Hier können später zum Beispiel Fernbedienungen oder sogar Interfaces angeschlossen werden.

FireWire

FireWire ist eigentlich ein Markenname der Firma Apple und beschreibt den 1394 Bus. Hierbei handelt es sich um einen Bus für serielle Datenübertragung. Es werden Transferraten erreicht, die in ähnlichen Bereichen wie die der USB-Schnittstelle liegen. Diese Schnittstelle ist in den letzten Jahren ein wenig aus der Mode gekommen. Es bleibt abzuwarten, wie die Entwicklung voranschreitet und ob Thunderbolt mit dem Einzug in die aktuelle Apple-Generation FireWire ablösen wird. Tendenziell sieht es jedenfalls danach aus. Die Leitungslänge bei abgeschirmten Twisted-Pair-Leitungen zur Verbindung von FireWire-Geräten ist auf 4,5 Meter begrenzt. Auch hier sind, analog zu USB, Repeater erhältlich, die längere Entfernungen von Gerät zu Gerät ermöglichen.

Thunderbolt

Diese noch recht neue Schnittstelle wurde im Rahmen der Zusammenarbeit von Intel und Apple entwickelt und erstmals 2009 der Öffentlichkeit vorgestellt. Bei dieser Technologie handelt es sich um eine auf mehreren parallelen bidirektionalen Kanälen basierende Schnittstelle, auf denen Daten seriell übertragen werden. Dabei werden existierende Protokolle wie DisplayPort und PCI-Express verwendet. Die Datentransferrate beträgt momentan auf jedem der zwei Kanäle 10 GBit/s, jedoch bietet die Technologie Potential für weitaus höhere Datenmengen. Thunderbolt ist als direkte Konkurrenz zu USB 3.0 zu verstehen und bietet etwa die doppelte Geschwindigkeit. Die Leitungslängen für elektrische Leitungen werden von Intel mit maximal drei Metern spezifiziert, für optische Verbindungen wird eine maximale Leitungslänge von 10 Metern angegeben. Intel hat bereits die zweite Generation der Schnittstelle mit 20 GBit/s angekündigt, die auf dem neuen Mac Pro bereits verfügbar ist. Ob sich diese Schnittstelle durchsetzen wird und eventuell in Zukunft USB ablöst, wird man sehen. Bereits jetzt gibt es jedoch Firmen, die ihre Audio-Interfaces ausschließlich mit Thunderbolt ausstatten. Es scheint momentan noch Probleme mit der Schnittstelle bei Windows basierten Rechnern zu geben.

ADAT

Bei dem sogenannten ADAT Standard handelt es sich um eine optische Digitalleitung, die in den 90er Jahren von der

Firma Alesis zur digitalen Verbindung ihrer digitalen Mehrspurrecorder entwickelt wurde. Es ist möglich, acht digitale Kanäle über eine optische Leitung zu führen. Dass dieser Standard mittlerweile etwas in die Jahre gekommen ist, merkt man an der Tatsache, dass die Verbindung bei acht Kanälen nur Abtastraten von bis zu 48 kHz bei 24 Bit bietet. Werden höhere Taktraten verwendet, wird das S/MUX-Protokoll (Sample-Multiplexing) verwendet. Das S/MUX-Protokoll fragmentiert Datenströme mit höheren Abtastraten und verteilt sie auf mehrere ADAT-Kanäle. Ein Audiosignal mit einer Abtastrate von 96 kHz wird mittels S/MUX auf zwei ADAT-Kanäle aufgeteilt. Dadurch reduziert sich bei Sampleraten bis zu 96 kHz die Anzahl der möglichen Kanäle auf vier, beziehungsweise bei 192 kHz auf zwei. Eine weitere Einschränkung ist die maximal empfohlene Leitungslänge von 10 Metern. Es ist generell wichtig, darauf zu achten, dass optische Leitungen nicht geknickt werden, da sie brechen können.

MADI

Das Multichannel Audio Digital Interface wurde 1989 von der AES als AES10 Standard definiert. Die Firmen Sony, Mitsubishi, Neve und SSL bildeten die MADI Group und entwickelten diese Schnittstelle gemeinsam. MADI kann über eine optische Leitung (bis zu 1.000 Meter Leitungslänge) oder über eine koaxiale Leitung (bis zu 100 Meter Leitungslänge) übertragen werden. Auch hier gibt es ähnlich der ADAT-Leitungen Einschränkungen bei der Übertragung hoher Abtastraten. In der aktuellen Version der MADI-Schnittstelle lassen sich über eine Leitung 64 Kanäle mit bis zu 48 kHz übertragen. Im sogenannten ‚Double Mode‘ können bei 96 kHz 32 Kanäle und im ‚Quad Mode‘ 16 Kanäle mit 192 kHz übertragen werden. Die MADI-Schnittstelle ist heute recht verbreitet und wird häufig bei Mehrkanalwandlern und auch digitalen Stageboxen verwendet. Es gibt sowohl interne Karten für den Rechner, als auch USB Lösungen, mit denen man MADI-Signale an einen Rechner übertragen kann.

AES/EBU

Hinter der Bezeichnung AES/EBU verbirgt sich eigentlich die Abkürzung für ‚Audio Engineering Society‘ und ‚European Broadcast Union‘. Häufig wird der Begriff jedoch für die digitale Schnittstelle AES3 verwendet. Hierbei handelt es sich um eine 2kanalige digitale Schnittstelle. AES3 wird mit symmetrischen Leitungen mit 110 Ohm oder mit unsymmetrischen Koaxialleitungen mit 75 Ohm Wellenimpedanz übertragen. Die symmetrischen Leitungen werden mit XLR Steckverbindern und die Koaxialleitungen mit BNC-Steckver-

bindern angeschlossen. Die Leitungslängen können mit hochwertigen Leitungen bis zu 300 Meter betragen. Die AES empfiehlt aber ab einer Leitungslänge von 150 Metern ein ‚Reclocking‘ vorzunehmen. Neben dem Standard der 2kanaligen Ausführungen haben AES und EBU auch einen Standard für mehrkanalige Verbindungen entwickelt. Hierbei werden über einen 50poligen Sub-D Steckverbinder 16 Kanäle übertragen. Da es sich bei AES3 um eine 2kanalige Verbindung handelt, hat man 32 Mono-Kanäle zur Verfügung. Bei vielen Firmen hat sich jedoch der 25polige SUB-D Steckverbinder zur Übertragung von acht AES/EBU Kanälen durchgesetzt. Diese Leitungen gibt es fertig konfektioniert in verschiedenen Längen zu kaufen und sie ermöglichen so eine schnelle und einfache Verbindung zwischen Wandlern und beispielsweise Karten im Rechner. Es werden bei voller Auflösung von bis zu 192 kHz 16 Mono-Kanäle über ein 8paariges Multicore übertragen. Bei der Verwendung von Multicore ist ebenfalls auf 110 Ohm Wellenimpedanz zu achten.

S/P-DIF

Das Sony/Philips Digital Interface ist eine zwei- oder mehrkanalige Schnittstelle zur Übertragung von digitalen Audiosignalen. Hierbei kommen optische oder elektrische (koaxiale) Leitungen zum Einsatz. Diese Schnittstelle wurde hauptsächlich für den Consumer-Markt entwickelt und hat in der professionellen Audiotechnik kaum Relevanz. Die S/P-DIF-Schnittstelle ist eng verwandt mit der AES/EBU-Schnittstelle, verfügt jedoch über einen sogenannten Kanalstatus zur Übermittlung eines Kopierschutzes. Heute wird in der Consumer-Elektronik diese Schnittstelle häufig zur Übertragung von 5.1 Signalen benutzt.

Audio über Ethernet

In den letzten Jahren hat sich vor allem im Livebereich die Übertragung von digitalen Audiosignalen über Ethernet durchgesetzt. So ist es möglich, eine digitale Stagebox mit einem digitalen Mischpult über eine einzige Ethernet-Leitung zu verbinden. Ein enormer Vorteil gegenüber den analogen Multicores früherer Zeit. Es werden bis zu 32 Kanäle über eine einzige Leitung gesendet. Diese Technik findet heute schon Einsatz in preiswerten Digitalmischpulten und wird sicherlich auch

in Zukunft nicht mehr wegzudenken sein. Ob diese Technologie auch im privaten Tonstudio Verwendung finden wird, bleibt abzuwarten. In Rundfunkhäusern oder Studiokomplexen mit starker Vernetzung untereinander ist der Einsatz sicherlich sehr sinnvoll. Im Studio Magazin 05/2013 ff gibt es einen ausführlichen Bericht zu diesem Thema von Friedemann Kootz, den ich Ihnen bei Interesse sehr ans Herz legen möchte.

Wordclock

In einer Studioinstallation mit mehreren Digitalgeräten muss für eine saubere Synchronisierung der Geräte untereinander gesorgt werden. Während es bei der direkten Verbindung von zwei einzelnen Geräten ausreichend ist, das eine Gerät als Wordclock Master und das andere als Wordclock Slave mittels einer 75 Ohm BNC Leitung zu verbinden oder über die digitale Audioverbindung zu synchronisieren, muss bei mehreren Geräten der gesamte Verbund getaktet werden. Man kann die Wordclock-Leitung per so genannter Daisy Chain von einem Gerät, das als Master definiert wird, an alle anderen Geräte weiterleiten. Dabei wird die Leitung von Gerät zu Gerät weiter geschliffen und am Ende der Kette durch einen 75 Ohm Abschlusswiderstand terminiert. Durch die daraus entstehenden Leitungslängen summieren sich jedoch Ungenauigkeiten und kleine Verzögerungen des Taktes, die dazu führen, dass es im schlimmsten Fall zu Signalaussetzern kommt. Bevor es zu Aussetzern kommt, wird das Audiosignal jedoch negativ beeinflusst. Diese Beeinflussung lässt sich einwandfrei in Hörtests nachweisen. In größeren digitalen Verbänden ist ein externer Wordclock Generator unabdingbar. Dieser liefert einen möglichst ideal präzise laufenden Takt, der als Master für alle anderen Geräte im Digitalverbund fungiert. Je genauer der Taktgenerator ar-

GERÄT KAPUTT?

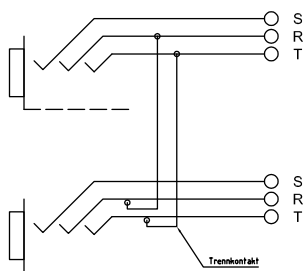
Dann brauchen Sie einen Audio-Service!

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

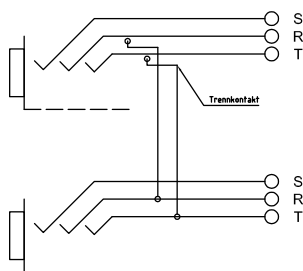
Audio-Service Ulrich Schierbecker GmbH

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

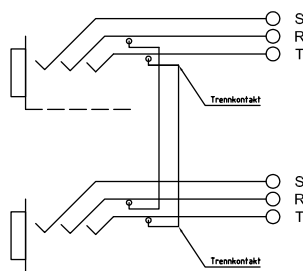
Halb normalisiert/ untere Reihe



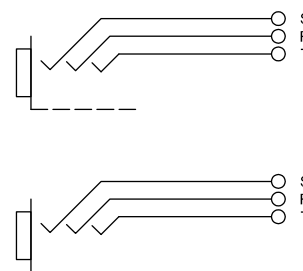
Halb normalisiert/ oberere Reihe



Voll normalisiert



Isoliert



Möglichkeiten der Klinkenkonfigurationen bei Steckfeldern

T= TIP/ Klinkenspitze
R= RING/ Ringkontakt Klinke
S= SLEVE/ Massekontakt Klinke

beitet, desto weniger Probleme tauchen auf. Ziel ist es, dass alle Geräte im Verbund phasensynchron zueinander arbeiten. Hochwertige Master Clock Generatoren bieten zudem die Möglichkeit, das Signal zu ‚reclocken‘. Hierbei wird der Signaltakt im Generator neu aufbereitet und erst dann zum nächsten Gerät weitergeleitet. Genauere Informationen zum Thema Wordclock und Jitter können Sie auch auf der Website des Studio Magazins (Studio eMagazin 4/2013) nachlesen. Auf jeden Fall sollten Sie die Taktung der digitalen Geräte in Ihrem Studio unbedingt in die Planung und Systemüberlegungen mit einbeziehen.

Format- und Abtastraten-Wandler

Bei der Verwendung zahlreicher digitaler Geräte innerhalb einer Studioinstallation wird man auf die Verwendung von Format-Convertern nicht verzichten können. Da es innerhalb der digitalen Welt keine einheitlichen Standards gibt, die sich durchsetzen konnten, wird sich eine Wandlung der verschiedenen Formate (zum Beispiel ‚MADI zu AES‘, ‚ADAT zu MADI‘, ‚optisch zu elektrisch‘) nicht vermeiden lassen. Auch werden mit Sicherheit Abtastratenwandler unabdingbar sein, um verschiedene Geräte untereinander zu verbinden. Der Markt bietet mittlerweile eine schier unüberschaubare Zahl von Werkzeugen für jeden Anwendungsfall an. Empfehlungen sind da kaum auszusprechen.

Die Zentrale für Faule

Leider sind Steckfelder, wie es sie in der ‚guten alten Zeit‘ im Studio immer gab, sehr aus der Mode gekommen. Ich höre Sie schon sagen: ‚Für die paar Geräte, die heute noch im Studio stehen, brauche ich doch kein Steckfeld‘. Das Steckfeld war und ist immer noch die Schaltzentrale eines

Studios. Hier laufen alle Verbindungen auf und können miteinander verschaltet und verwaltet werden. Idealerweise ist es so konfiguriert, dass im Normalbetrieb des Studios gar nichts gesteckt werden muss und nur im Bedarfsfall das Steckfeld dazu benutzt wird, um Geräte in anderen Konfigurationen oder Reihenfolgen zu verbinden. Denken Sie nur mal daran, wie einfach es sein kann, mal eben einen Kompressor und einen EQ in der Signalkette zu vertauschen. Und das ohne Verrenkungen unter dem Tisch oder hinter dem Rack. Ich stecke mir die Verbindungen auf der ‚Patchbay‘ einfach dort hin, wo ich sie gerade brauche. Es gibt wirklich keinen Grund, nicht auch heute noch über die Anschaffung eines Steckfeldes nachzudenken. Sobald man einige Geräte besitzt, deren Zuordnung nicht für immer und ewig festgelegt ist, macht das enorm viel Sinn. Auf einem Steckfeld lässt sich außerdem die gesamte Schirmung der Leitungen erledigen und man hat ein aufgeräumtes Studio, da sich die Leitungen hier alle treffen. Es bietet sich an, die Leitungsschirme aller Leitungen auf dem Steckfeld aufzulegen und an der Geräteseite nicht aufzulegen. Durch die zentrale Zuführung der Betriebs Erde ans Steckfeld gewährleistet man so eine optimale Schirmung der Leitungen. Steckfelder gibt es in verschiedenen Ausführungen zu kaufen. Sie unterscheiden sich hauptsächlich durch die verwendeten Steckverbinder und die Art der Schaltkontakte. Es gibt sehr preisgünstige Steckfelder mit Standard 6,3 mm Klinkenbuchsen, von denen ich Ihnen aber abraten möchte. Die Kontakte dieser Klinken sind nicht uneingeschränkt für den alltäglichen Gebrauch geeignet und werden nach einiger Zeit Kontaktprobleme zeigen. Im Studiobetrieb haben sich zwei Arten von Klinkensteckfeldern durchgesetzt. Die TT- oder auch mit Bantam bezeichneten Klinken und die B-Gauge Klinken, die früher in Telefonzentralen zum Einsatz kamen. Bei den B-Gauge Klinken handelt es sich um 6,3 mm Klinken, aller-

dings in professioneller Ausführung. Die TT-Klinken (TT = Tiny Telephone) oder auch A-Gauge sind im Prinzip miniaturisierte Ausführungen der größeren Version.

TT-Klinkenfelder ermöglichen eine große Anzahl verfügbarer Klinken auf vergleichsweise engem Raum, nämlich 96 Klinken auf einer HE bei 19 Zoll. Die Standard Phone-Steckfelder bieten nur 48 Klinken pro Höheneinheit. Sicherlich ist die größere Variante technisch gesehen der bessere Steckverbinder, jedoch beweisen zahlreiche Steckfelder, die seit Jahren störungsfrei im Betrieb sind, die Zuverlässigkeit der TT-Klinken. Es bleibt also Ihrem persönlichen Geschmack und den Platzverhältnissen überlassen, für welche Variante Sie sich entscheiden. Ein professionelles Steckfeld ist gar nicht mal so teuer und kann das tägliche Studioleben deutlich vereinfachen. Beide Varianten bieten die sogenannte Normalisierung der Steckfelder an, bei der man wählen kann, ob die Klinken über Anschaltkontakte verfügen oder nicht. Diese Kontakte ermöglichen eine Verbindung von einem Eingang und einem Ausgang im nicht gesteckten Zustand. Diese Verbindung wird aufgetrennt, sobald eine Klinke eingesteckt wird. Benutzt man jeweils für beide Reihen des Steckfeldes eine Klinke mit Anschaltkontakt, wird die Verbindung immer aufgetrennt, sobald eine Klinke gesteckt wird. In gewissen Situationen ist es sinnvoll, nur eine Reihe mit Schaltkontakten zu versehen, so dass zum Beispiel ein Ausgang eines Gerätes zusätzlich abgegriffen werden kann, ohne dass die vorkonfektionierte Verbindung zum Eingang des Gerätes auf dem Steckfeld unterbrochen wird. Es gibt mittlerweile Steckfelder, die per Jumper die Normalisierung ermöglichen. Diese Art des Steckfeldaufbaus ist sehr praktisch, da so mit einer guten Planung eine ‚Ausgangssituation‘ hergestellt wird. Man kann direkt arbeiten, ohne eine einzige Patchleitung stecken zu müssen und benutzt das Steckfeld immer dann, wenn abweichende Verbindungen benötigt werden. Eine weitere Alternative, die sich hauptsächlich aus Kostengründen eher im Rundfunkbereich durchgesetzt hat, ist der Lemo Steckverbinder. Er ist auch recht kompakt, verfügt über eine Verriegelung und ist extrem hochwertig. Allerdings gibt es keine Schaltklinken und der hohe Preis der Steckverbinder schließt den Einsatz im privaten Tonstudio nahezu aus. Jedoch gerade in Ü-Wagen und Rundfunkhäusern, wo es auf eine erwartete, extreme mechanische Belastung und gleichzeitig hohe Betriebssicherheit ankommt, ist der Lemo-Steckverbinder sicherlich die erste Wahl. Mittlerweile gibt es sogar elektronische Steckfelder, die vollkommen speicherbar sind und sich bequem vom Rechner aus steuern lassen. Auch diese Lösung halte ich für sehr sinnvoll, wenn sie auch etwas teurer ist, als entsprechende mechanische Ausführungen. Alle Geräte im Studio werden genau wie bei einem

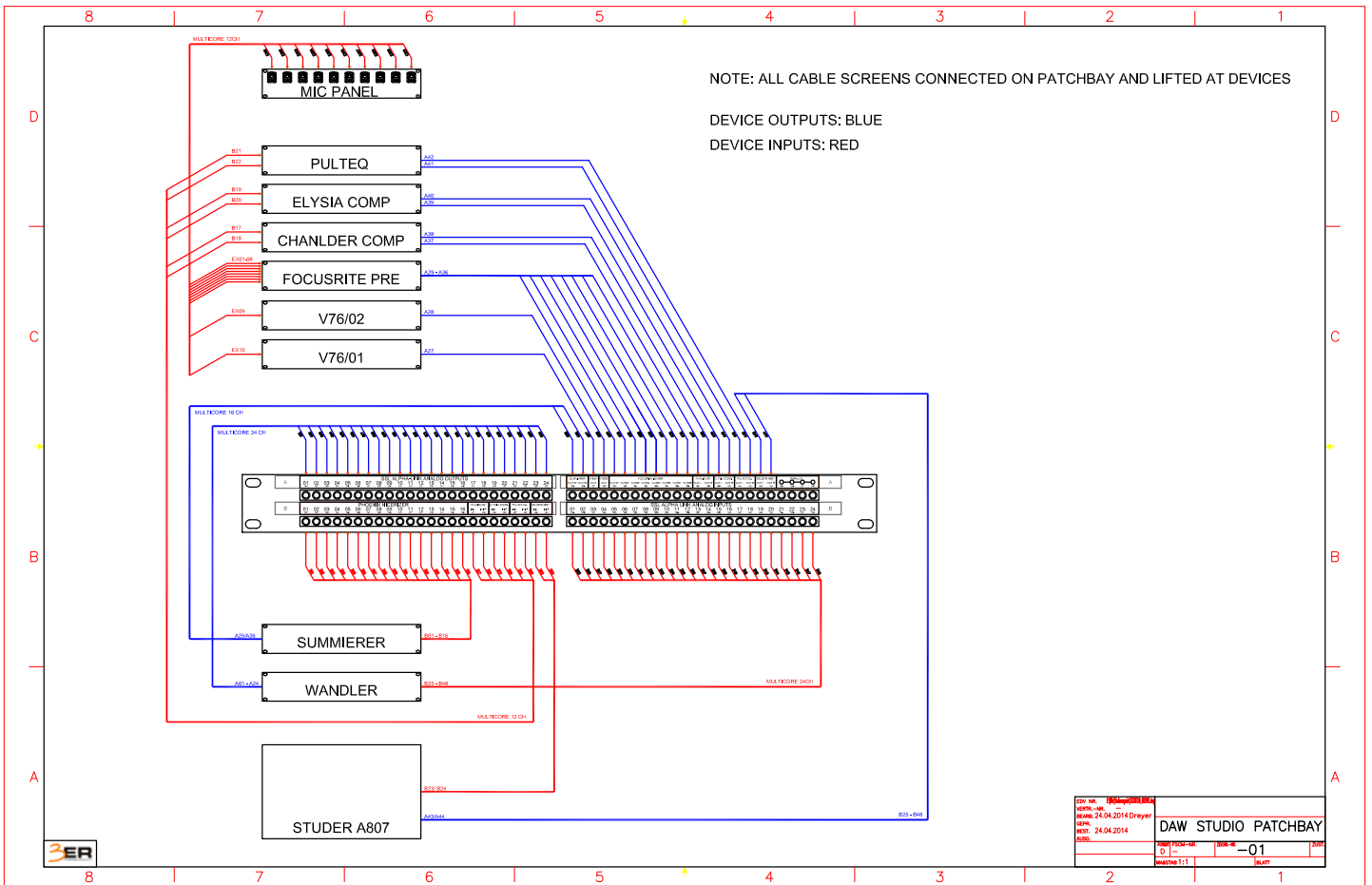
mechanischen Steckfeld zentral angeschlossen und verwaltet. Noch ein Tipp zum Schluss. Planen Sie immer ein paar zusätzliche Leitungen und ein paar Leerklinken ein. Das nächste Gerät kommt schneller als man denkt.

Gelbe Seiten oder mach ich's mir selbst?

Abschließend steht nun die Frage im Raum, ob man eine komplette Installation selbst durchführen kann und sollte, oder ob man lieber einen kompetenten Fachplaner zu Rate zieht. Ich denke, diese Frage lässt sich auf Anhieb nicht pauschal beantworten. Es gibt sehr viele Menschen, die der Meinung sind, alles selber zu können. Das lässt sich auch auf den Bereich der Akustik anwenden. Ich habe selber am eigenen Leib erfahren dürfen, wie einfach es ist, wenn man alles richtig macht. Nur, wie macht man es richtig? Jeder handwerklich geschickte Mensch ist sicherlich in der Lage, Module für die Akustik seines Studios zu bauen. Diese Module funktionieren dann auch so, wie sie sollen. Aber funktionieren sie auch im Raum so wie sie sollen? Wenn man ganz viel unverschämtes Glück hat, tun sie das sogar. Leider wird man aber in 98 Prozent der Fälle feststellen, dass man aufgrund mangelnder Erfahrung Geld zum Fenster hinaus geworfen hat. Zieht man aber einen Akustik-Planer zu Rate, der ein Konzept erstellt und baut die Module exakt nach seinen Vorgaben, wird es funktionieren.

Ich sehe hier durchaus Parallelen zur Welt der Studioinstallation. Arbeitet man mit einem erfahrenen Planer zusammen und erstellt gemeinsam ein schlüssiges Gesamtkonzept zur Installation des gesamten Studios, lassen sich im Vorfeld viele Probleme verhindern und vernünftige, auch für die Zukunft gerüstete Lösungen finden. Danach können Überlegungen angestellt werden, was in Eigenleistung erbracht werden kann und was eher der Spezialist erledigt. Studioplaner arbeiten selbst im Bereich der Installation, haben eine sehr große Erfahrung, kennen alle Tücken und Fallstricke





Beispiel einer aktuellen Studioplanung

und können sie von Anfang an vermeiden. Sie haben so ziemlich jeden Steckverbinder und so ziemlich jede Leitung schon mal in der Hand gehabt und wissen, worauf man achten muss.

Vernachlässigen Sie nicht die Dokumentation der gesamten Anlage. Ordentliche Pläne sind das A und O, wenn irgendwann einmal etwas geändert oder erweitert werden soll. Sie können sich irgendwann nicht mehr an jede Leitung erinnern. Auch im Zweifel nicht mehr daran, wo sie verlegt wurde. Der Planer weiß das, da er alles dokumentiert hat. Ebenso gehört das Beschriften von Leitungen und An-

schlussfeldern zu seinem täglich Brot. Versuchen Sie mal ein Steckfeld mit Excel oder einem Grafikprogramm zu beschriften. Viel Spaß.

Speziell für Ihre Bedürfnisse angefertigte Anschlussfelder und Bedienfelder oder die mechanische Integration von Geräten sind ein weiteres Argument für die Zusammenarbeit mit dem Profi. Diese Aufzählung der guten Gründe für den Studioplaner könnte man sicherlich noch lange fortführen. Ich erspare Ihnen das aber und entlasse Sie mit dem Satz, der schon am Anfang stand: ‚Kaum macht man es richtig, schon funktioniert es‘.



Integration von 500er Modulen in ein Mischpult



Relaisgesteuerte Schaltung der einzelnen Stromkreise vom Pult



TRIO6 Be

Keep focus and Mix on



Die neue Trio6 Be von Focal vereint kompromisslose Klangeigenschaften mit patentierten Technologien. Dieser Studiomonitor kombiniert Präzision, Neutralität sowie Dynamik mit einem hohen Schalldruckpegel und einer Verstärkerleistung von insgesamt 450 Watt. Die rotierbare und in verschiedenen Positionen fixierbare Hoch-/Mittelton-Einheit erlaubt eine - selbst unter schwierigen akustischen Bedingungen - optimale Integration in die jeweilige Abhörumgebung. Die exklusive FOCUS Technologie sorgt stets für einen sicheren Mix und spart somit wertvolle Zeit. Die Trio6 Be kombiniert einen 2- und einen 3-Wege Studiomonitor in einem einzigen Lautsprechergehäuse und erlaubt es Ihnen so, Ihren Mix unter absolut realistischen Bedingungen zu vergleichen. Der Vorteil ergibt sich aus der gleichen akustischen Basis, in der sich der Lautsprecher befindet und dem dadurch identischen Stereobild.

 **FOCAL**[®]
P R O F E S S I O N A L

Exklusivvertrieb in D, A, BE, CH, CZ, EE, LT, LU, LV, NL, SK, RO: Sound Service European Music Distribution
www.sound-service.eu | info@sound-service.eu



Am goldenen Bande

BANDAUFZEICHNUNGSSIMULATIONEN IM VERGLEICH ZUM ORIGINAL – TEIL 1

Die jüngere Generation Tonschaffender, die die Zeit nicht mehr erlebt hat, in der die analoge Schallspeicherung auf Magnetband (im Folgenden kurz als ‚das Band‘ bezeichnet) die alternativlose Aufnahmetechnologie war (ich zähle mich da mit), muss einfach ein verzerrtes Geschichtsbild entwickeln. Beschäftigt man sich aktuell mit dem Thema Band, so gewinnt man den Eindruck, dass es sich damals um das klangliche Paradies auf Erden gehandelt haben muss. Die Renaissance der vermeintlich obsolet geglaubten, analogen Tonaufzeichnung vermittelt, ‚hier ist der Klang, den Ihr alle vermisst habt‘. Völlig aus dem Fokus geraten dabei all jene Probleme, die für einen Toningenieur noch vor 20 Jahren absolute Alltagsstolpersteine darstellten. Kein Frischband mehr im Schrank, Bandriss, Abrieb, Spulzeiten, Dejustage, Qualitätsverlust durch Overdubs, Generationsverlust, Spurzahlbegrenzung, eingeschränktes Editing, blutige Schnittwunden, Maschinenwartung, Lagerung und natürlich der unvermeidbare Postversand der Masterbänder. Diese Liste lässt sich um so viele Punkte erweitern, dass einem schwindelig werden kann. Auf der anderen Seite bleibt die Tatsache, dass Band durch seine physikalischen Voraussetzungen anders klingt, als die digitale Aufzeichnung.

Damit sind wir direkt hinter der Einleitung bei der Gretchenfrage angekommen (Rekord!): klingt Band nun besser? Das Wunderbare ist, dass ich Ihnen die lange Nase drehen kann und die Frage nicht beantworten muss und werde. Denn für diesen folgenden Bericht genügt es vollkommen, sich damit abzufinden, dass es anders klingt. Es wird aber der Versuch unternommen zu beleuchten, warum dies so ist. Im zweiten Teil werden verschiedene analoge und digitale Bandsimulationen mit ‚dem Original‘ in den Vergleich treten müssen.

Bandaufzeichnung und ihr Sound

Die analoge Tonbandaufzeichnung ist eigentlich ein Wunder. Wie sie funktioniert, lässt sich mit relativ einfachen Modellen beschreiben. Warum sie allerdings gut klingt, ist, zumindest bis ins letzte Detail, nicht physikalisch geklärt. Doch dazu später mehr. Zunächst ein grober Überblick. Eine Studiobandmaschine lässt sich im Prinzip in vier wichtige Funktionsgruppen aufteilen: Die elektronischen Verstärker, den Kopfträger mit seinen mindestens drei Köpfen, den mechanischen Bandtransport und das Band selbst. Natürlich bestehen alle vier Bereiche aus vielen Komponenten und sind je nach Modell mehr oder weniger aufwendig und umfangreich ausgestattet. Gerade bei Mehrspurmaschinen steigt der Aufwand bei den elektronischen Komponenten und dem Kopfträger deutlich an. Das Arbeitsprinzip bleibt jedoch immer gleich. Das zugeführte Audio-

signal wird vom Aufnahmeverstärker in Pegel und Frequenzgang angepasst (verzerrt) und auf den Aufnahmekopf (auch Sprechkopf genannt) geleitet. Der Aufnahmekopf besteht aus einer speziellen Spule, die ein Magnetfeld aufbaut, welches in seiner Intensität und Polarität dem Audiosignal folgt. Das Magnetband wird von den Motoren mit einer möglichst konstanten Geschwindigkeit am Kopfträger vorbeigeführt. Hierbei helfen mehr oder weniger aufwändige Bandberuhigungsmechaniken. Das Magnetband selbst besteht aus einer Trägerschicht (Kunststoff, heute Polyester) und einer Funktionsschicht (Emulsion). Letztere besteht aus einer Art Lack, in den fein zerriebene, magnetisch aktive Partikel eingebracht

NEUMANN.BERLIN

Studio Monitor KH 420

KH 420

A member of the Neumann KH Line

KH 120 KH 310 KH 420 KH 810 KH 870

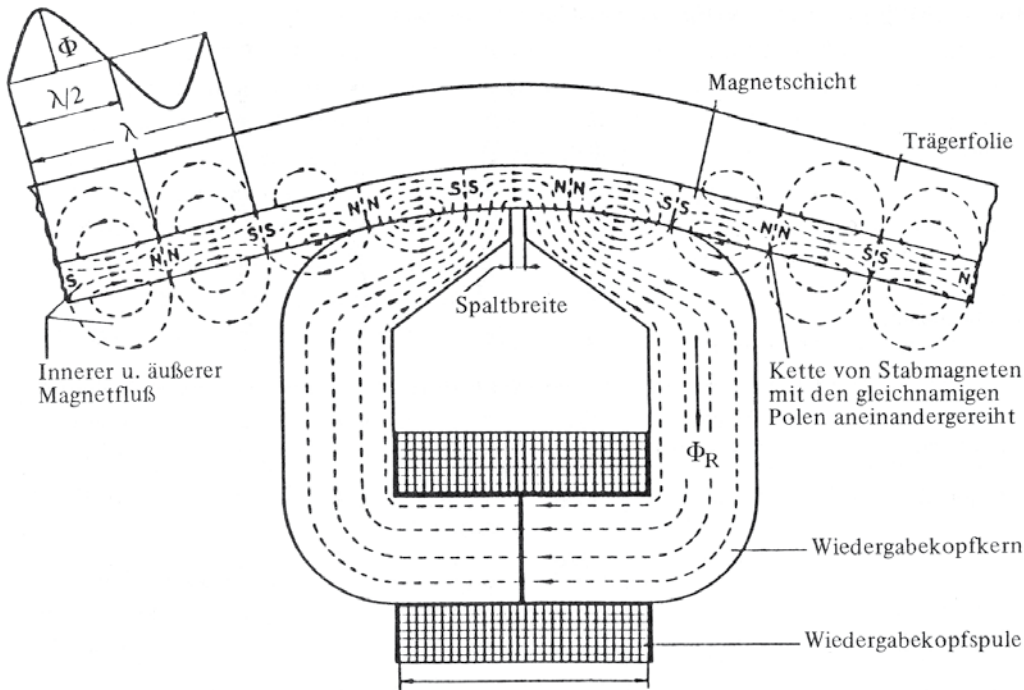


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Wiedergabekopfes und des Bandes. Die magnetische Funktion wird als Kette von Stabmagneten mit aneinandergereihter Polung symbolisiert. Quelle: Handbuch der Tonstudientechnik, 5. Auflage, Seite 28

wurden. Bei der Aufnahme werden die magnetischen Partikel auf dem Band vom Wechselfeld des Aufnahmekopfes in ihrer Polarrichtung verändert. Jedes einzelne Partikelchen trägt also nur durch seine mehr oder weniger starke Ausrichtung der eigenen Polrichtung zur Schallspeicherung bei. Nach der ersten Aufzeichnung ist der Qualitätszenit erreicht. Die Partikel werden auch durch die beste Löschung nie wieder vollständig in ihren Ausgangszustand zurückkehren und sie werden das Aufnahmewechselfeld nie wieder so präzise repräsentieren, wie in diesem Moment. Bei der Wiedergabe wird das Band an einem weiteren Kopf, dem sogenannten Hörkopf

oder Wiedergabekopf (Abbildung 1), vorbeigeführt. Durch das gespeicherte Wechselfeld auf dem Band wird im Hörkopf eine Spannung induziert, welche im Wiedergabeverstärker wieder entzerrt und auf Studiopegel verstärkt wird.

Bandsorten und Pegel

Eigentlich sollten sich verschiedene Bandsorten nicht in ihrem Klang unterscheiden. Schließlich ist es ein sehr abstrakter Gedanke, der Art und Dichte magnetischer Partikel einen Grundsound zu gestatten. Letztendlich gehorchen die verschiedenen Bandsorten mehr oder weniger den von außen aufgeprägten Regeln, wer sich jedoch von den Unterschieden rein technisch überzeugen möchte, sollte bloß mal einen Blick in die Datenblätter verschiedener Bandsorten werfen. Der vielleicht wichtigste Unterschied sind die generelle Aussteuerbarkeit und Höhenaussteuerbarkeit, dazu später mehr. Für jedes Band wird eine Maximale Aussteuerbarkeit (MOL – Maximum Output Level bei 1 kHz und 3% THD) für einen bestimmten Vormagnetisierungspegel angegeben. Sie wurde vom Hersteller im Datenblatt für jedes Band dokumentiert. Sie bezieht sich dabei auf die Aussteuerung o dB, den Referenz- oder Arbeitspegel. Der elektrische Arbeitspegel liegt hierzulande bei +6 dBu (0 dB), in vielen anderen Ländern bei +4 dBu, für die Bandmaschine selbst spielt dieser Unterschied keine Rolle. Die Maschine wurde dabei so eingemessen, dass der Referenzpegel einen Bandfluss von zum Beispiel 320 nWb/m (Standard nach IEC) aufweist. Wechselt man die Bandsorte, so muss der Arbeitspegel gegebenenfalls mit einem Messband auf den abweichenden Bandfluss einge-



Studer A800 Mehrspurmaschinen Plug-In von Universal Audio

stellt werden. Geschieht dies nicht, so sind die Pegelverhältnisse nicht klar und die optimale Wiedergabequalität kann nicht erreicht werden. Die meisten Bänder sind in ihrer Magnetisierung gar nicht so stark auseinander, wie man im ersten Moment vielleicht denkt. Mit anderen Worten, eine Maschine, die auf Bandsorte A eingemessen ist, lässt sich relativ problemlos mit Bandsorte B betreiben. Der Unterschied zwischen den Arbeitsweisen mit Band von damals und heute liegt oftmals darin, dass das gezielte Übersteuern des Bandes als wichtigster Klangeffekt genutzt wird. Dennoch sollte man vorsichtig sein und die Maschine korrekt einmessen, um auch nach unten Luft zu haben. Sowohl bei Wiedergabe, als auch bei Aufnahme.

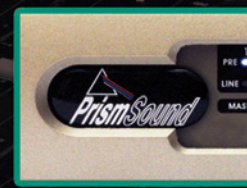
Höhenkompression und -verzerrungen

Die magnetische Bandaufzeichnung funktioniert, weil ein magnetisches Wechselfeld kleinste Partikel in ihrer Lagerichtung verändert. Die Richtung der Ausrichtung bestimmt sich über die Polarität des Feldes, die Menge und Stärke der Umrichtung bestimmt der Pegel. Dieser Vorgang hat einige Tücken und vor allem Grenzen. Nähert man sich den Grenzen, so kommt es zum Effekt der Bandsättigung. Er ist der Grund, warum die Bandaufzeichnung so wunderbar für Rock'n'Roll-Schlagzeug geeignet ist. Ein Tonsignal, welches das Band in die Sättigung treibt, wird effektiv komprimiert. Diese Sättigung ist jedoch nicht frequenzlinear. Da bei schnellen Wechselfeldern, also hohen Frequenzen, unter anderem die Eindringtiefe des Feldes in das Band sinkt, können hohe Frequenzen nicht so hoch angesteuert werden, wie tiefere. Auch dies ist unter Umständen zuträglich für Schlagzeugaufnahmen, denn es führt dazu, dass Signalspitzen, also Transienten, abgerundet oder abgeschliffen werden. Das Signal wird breiter, weicher, und der energetisch wirksame Anteil kann stärker angehoben werden. Wir erreichen eine effektive Verdichtung. Demgegenüber bleiben geringer angesteuerte Höhenanteile erhalten und es kommt nicht zu einem matten oder gar dumpfen Klangbild. Wann und wie stark sich die Höhenbegrenzung auswirkt, ist eine essentielle Bändeigenschaft und ebenfalls im Datenblatt angegeben. Das bedeutet, dass sich der eigentliche ‚Charakter‘ eines Bandes erst unter hohen Pegeln zeigt. Wichtig ist die korrekte Einstellung der Vormagnetisierung (Bias). Misst man es falsch ein, klingt es vielleicht früh muffig oder es verzerrt zu deutlich. Übrigens fällt aus der Reigen der heute verfügbare Bandsorten eine heraus, das RMGI, vormals Emtec, vormals BASF, SM900. Es handelt sich hierbei um ein hoch aussteuerbares Band, welches sehr spät in die Sättigung gerät und exzellent klingt. Es wurde wohl als letzte neue Bandsorte über-

haupt entwickelt. Das Designziel damals war es, der aufkommenden Digitaltechnik mit ihren alles übertreffenden Signal-Rausch-Abständen und ihrer sauberen Höhenwiedergabe Paroli bieten zu können. Ein Band also, für den besten Analogklang, den man für Geld bekommen kann. Aber auch ein Band, welches für den ‚Effekt Band‘ vielleicht gar nicht ideal geeignet ist.

HF-Vormagnetisierung – Bias

Um auf ein Band aufzuzeichnen, muss es vormagnetisiert werden. Diese Vormagnetisierung kann zum Beispiel mit einem Gleichfeld erfolgen. Das resultiert jedoch in einem ziemlich schlechten Signal-Rausch-Abstand und hohem Klirr. Bereits in der frühesten Entwicklungsphase der Magnetbandaufzeichnung entdeckte man, dass die Vormagnetisierung mit einem Hochfrequenzsignal mit hohem Pegel beide Kriterien um Größenordnungen verbessern kann. Dabei half wahrscheinlich der Zufall, denn es war wohl ein instabiler Verstärker, der in eine Hochfrequenzschwingung geraten war, die das entsprechende Signal auf die Bandmaschine sendete. Warum genau die HF-Vormagnetisierung eigentlich funktioniert, ist weitgehend, aber nicht abschließend verstanden. Die Fachliteratur nennt verschiedene Theorien, schränkt jedoch ein, dass alle Modelle nicht jedes der Phänomene vollständig erklären können. Ist das nicht toll? Ein kleines Ge-



Recording | Mixing | Mastering

Krummenackerstr. 218 • D-73733 Esslingen/Neckar
Tel.: 0711-46915185 • Fax: 0711-46915187

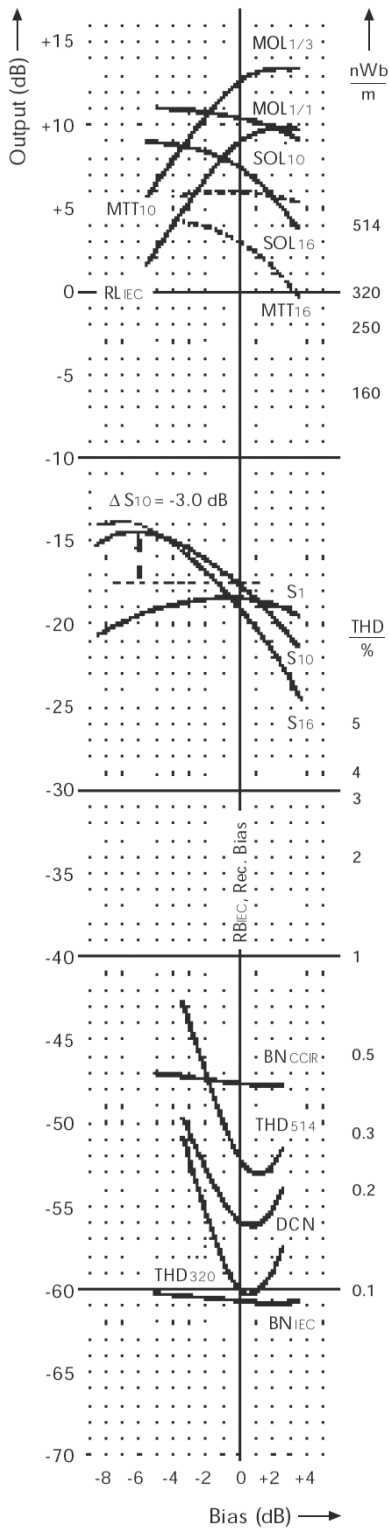


Abbildung 3: Der praktische Messwert zur Einstellung des Overbias für den Bandtyp SM911 findet sich unten in der Zeile DeltaS10 „Sensitivity drop for recommended bias setting“. Quelle: BASF Technische Daten zum Bandtyp

Abbildung 2: Bezugsdiagramm der verschiedenen Bandparameter zum Bias-Pegel, bei 38 cm/s, Bandsorte SM911. Gut zu sehen sind die maximale Höhenaussteuerbarkeit SOL10 und SOL16, sowie der Maximum Output Level. Quelle: BASF Technische Daten zum Bandtyp

heimnis in dieser ach so ausgeforschten Welt. Heute liegt das verwendete Vormagnetisierungssignal in einem Bereich zwischen 80 und 200 kHz und hört international auf den Namen Bias. Die Einstellung des Bias bei einer Bandsorte ist essentiell, wirkt er sich doch direkt auf die Aussteuerbarkeit und die Höhenwiedergabe des Bandes aus. Dummerweise muss man über den Bias-Wert einen Kompromiss zwischen den Optima dieser beiden Kriterien finden. Im Datenblatt des Bandes (Abbildung 2) ist gut zu sehen, dass beide Op-

Technical Data

Studio Master 911

06/99

1 Measurement conditions

	76.2 cm/s 30 ips	38.1 cm/s 15 ips	19.05 cm/s 7.5 ips	see Notes
Recording head: IEC Reference Head	IEC	IEC	IEC	1.1
Gap length	7.0 μm	7.0 μm	7.0 μm	
Track width	6.3 mm	6.3 mm	6.3 mm	
Playback head: IEC Reference Head	IEC	IEC	IEC	1.1
Gap length	3.0 μm	3.0 μm	3.0 μm	
Track width	2.575 mm	2.575 mm	2.575 mm	
Playback equalisation	17.5 μs	50 + 3180 μs	50 + 3180 μs	1.2
RLIEC Reference level (1 kHz)	320 nWb/m	320 nWb/m	320 nWb/m	1.3
IEC reference tape: batch	MT 82472	MT 82472	A 342 D	
IEC reference tape bias definition	Min. THD ₃₂₀	Min. THD ₃₂₀	Min. THD ₃₂₀	1.4
RBIEC IEC reference bias	-1.0 dB	$\pm 0.0 \text{ dB}$	-1.5 dB	1.5
Rec. Bias Recommended bias setting	$\pm 0.0 \text{ dB}$	$\pm 0.0 \text{ dB}$	$\pm 0.0 \text{ dB}$	
ΔS_{10} Sensitivity drop for recommended bias setting	-1.5 dB	-3.0 dB	-6.0 dB	1.6

tima leider nicht beim gleichen Bias liegen. Die Vorgehensweise der Einmessung ist recht einfach. Während die Maschine mit einem 10 kHz Signal versorgt wird, senkt man den Bias-Pegel zunächst deutlich ab. Der Audiopegel sinkt. Nun beginnt man damit, den Bias langsam zu erhöhen. Der Audiopegel steigt zunächst an, erreicht jedoch irgendwann einen Spitzenwert, von dem an er auch bei weiter steigendem Bias wieder absinkt. Es ist wichtig, sich den Spitzenwert zu merken und den Bias nun weiter zu erhöhen, bis der gewünschte Pegelabfall (bezogen auf den gemessenen Spitzenwert) erreicht ist. Der empfohlene Pegelabfall ist im Datenblatt angegeben und liegt meist im Bereich von 2 bis 3 dB, er ist auch als Over-Bias bekannt (Abbildung 3).

Übersprechen

Die digitale Welt hat uns fast vergessen lassen, dass es ein Problem wie das Übersprechen überhaupt gibt. Wir sind perfekt getrennte Spuren gewöhnt, deren Inhalt sich auf Wunsch gänzlich von der nächsten Spur unterscheiden kann, ohne dass es zu Interaktionen zwischen beiden kommen würde. Die Magnetbandtechnik stellt dabei das gegenteilige Extrem dar. Durch die überlappenden Magnetfelder und dicht beieinander liegenden Spuren kommt es immer zu einer signifikanten Menge Übersprechen zwischen den Kanälen. Am stärksten ist dieser Effekt natürlich bei Mehrspuranlagen, am geringsten bei hochwertigen Zweikanalmaschinen (mit 2 mm Trennspur). Fakt ist, dass die Übersprechdämpfung im Bassbereich nur noch wenige Dezibel beträgt, sich jedoch zum Bereich einiger Kilohertz auf über 40 dB vergrößern kann. Dieses Verhalten verhindert, dass das Stereobild zusammenbricht, während der Bassbereich eine gewisse Durchmischung erfährt, die in vielen Anwendungen ohnehin wünschenswert

ist. In der Mehrspurtechnik konnte man Problemen durch Umsortierung der Spurreihenfolge entgegen wirken. So konnte es zum Beispiel sinnvoll sein, den Bass nicht neben die Bassdrum, sondern neben die Hi-hat zu legen und später auszufiltern.

Bandgeschwindigkeit

Die Bandgeschwindigkeit hat einen direkten Einfluss auf den Klang der Aufnahme. In der Studiopraxis gibt es drei etablierte Geschwindigkeiten. Vor allem im Rundfunk wurde für geringwertige Aufnahmen, etwa Nachrichten oder kurze Beiträge, auf 19 cm/s (eigentlich 19,05 cm/s, entsprechend 7,5 ips) gesetzt; vor allem unter dem Aspekt der ausreichenden Qualität bei großer Bandersparnis. Die Standardgeschwindigkeit lag und liegt bei 38 cm/s (eigentlich 38,1 cm/s, entsprechend 15 ips). Zudem wurde, vor allem in den USA, auch auf 30 ips, also ganze 76,2 cm/s gesetzt. Der hohe Materialverbrauch stellt jedoch ein gewichtiges Gegenargument dar. Langsamere Geschwindigkeiten spielen in der professionellen Tontechnik keine Rolle. Man trifft sie hier und da beim Kontakt mit alten Heimtonbändern und natürlich bei der Audiocassette. Doch wie ergibt sich aus der Geschwindigkeit ei-

gentlich der Zusammenhang zur Klangqualität? Zum einen werden Unregelmäßigkeiten im Band bei höheren Geschwindigkeiten besser ausgemittelt. Das heißt, dass sich die subjektive Qualität verbessert. Absolut gesehen verbessert sich die Höhenwiedergabe, da die obere Grenzfrequenz deutlich verschoben wird (siehe Abschnitt Spaltbreite). Aber es gibt auch einen Nachteil, der erst mit sehr hoher Bandgeschwindigkeit an Einfluss gewinnt. Die untere Grenzfrequenz wird bei hohen Bandgeschwindigkeiten in einen Bereich verschoben, in dem ihr akustischer Einfluss nicht zu unterschätzen ist.

Kopfspiegelresonanz

Ein wichtiger Effekt in diesem Zusammenhang ist die sogenannte Kopfspiegelresonanz, wobei es sich nicht um eine Resonanz im eigentlichen Sinne handelt. Dieser Kopfspiegeleffekt ist eine Eigenschaft des Wiedergabekopfes selbst und wird in seinen Parametern zum Beispiel durch den Aufbau der Spule, die Dimensionen der blanken Kopfoberfläche (Kopfspiegel) und die Abschirmung bestimmt. Das resultierende Phänomen äußert sich in einer Pegelanhebung der tiefen Frequenzen direkt oberhalb der unteren Grenzfrequenz.



when audio matters

natural sound – on the go

jünger
www.jungeraudio.com

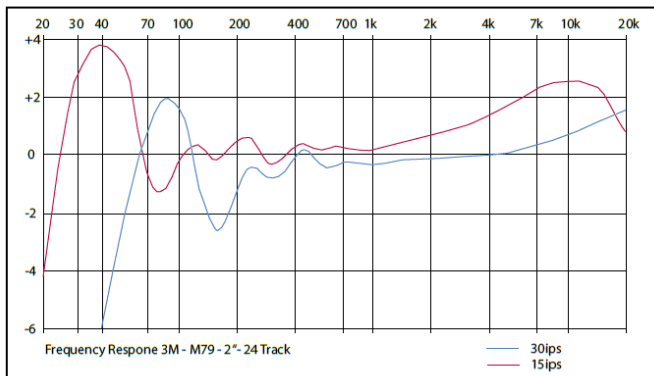
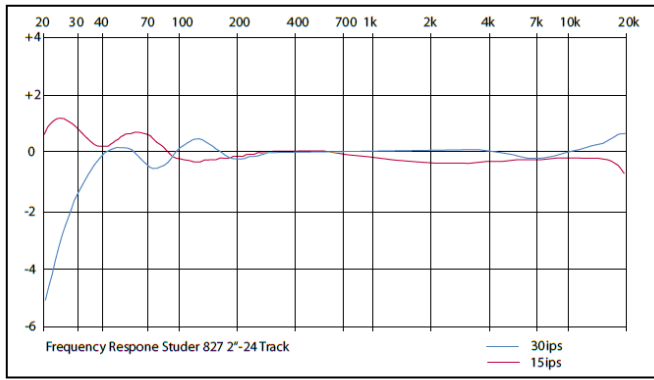


Abbildung 4: Kopfspiegelresonanzen bei 15 ips (rot) und 30 ips (blau) zweier bekannter Bandmaschinen. Quelle: adt-audio

Die Oktave dieser Überhöhung weist eine absolute Absenkung auf, deren Oktave wiederum eine Überhöhung und so weiter (Abbildung 4). Die Stärke der Ausprägung der Überhöhungen und Senken nimmt dabei drastisch nach oben hin ab. Welligkeiten oberhalb der ersten Senke spielen in der Praxis kaum noch eine Rolle. Die verschiedenen Hersteller von Bandmaschinen hatten diese Welligkeiten unterschiedlich stark im Griff. Während Telefunken/AEG und Studer eher ein neutraleres Verhalten an den Tag legten, waren manche Köpfe von Otari und 3M eher mit ausgeprägten Frequenzgangeffekten ausgestattet. Nun ist der Kopf aber nicht ganz allein verantwortlich, das Band hat auch noch seinen Anteil an diesem Effekt. Die einzige Variable jedoch, die in der Ausprägung des Kopfspiegeleffektes eine Rolle spielt, ist die Bandgeschwindigkeit. Sie verschiebt die absolute Lage der Senken und Überhöhungen auf der Frequenzachse. Liegt die Grundüberhöhung bei 38 cm/s bei 40 Hz, so schiebt sie sich bei 76 cm/s auf 80 Hz. Die untere Grenzfrequenz wird dabei ebenfalls nach oben verschoben. Die Basswiedergabe verschlechtert sich also mit steigender Geschwindigkeit.

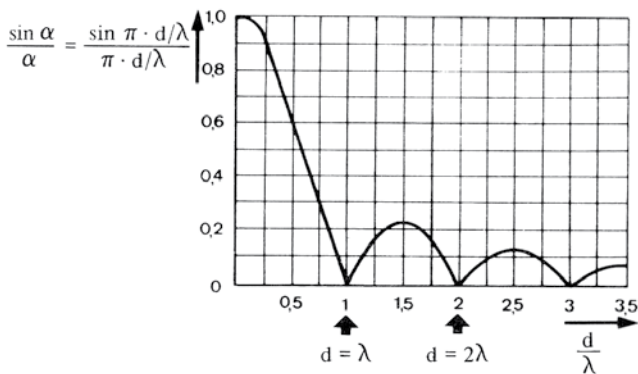
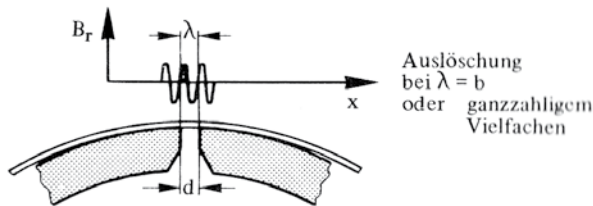


Abbildung 5: Spaltfunktion, wenn die Wellenlänge klein gegenüber der Spaltbreite wird. Quelle: Handbuch der Tonstudietechnik, 5. Auflage, Seite 29

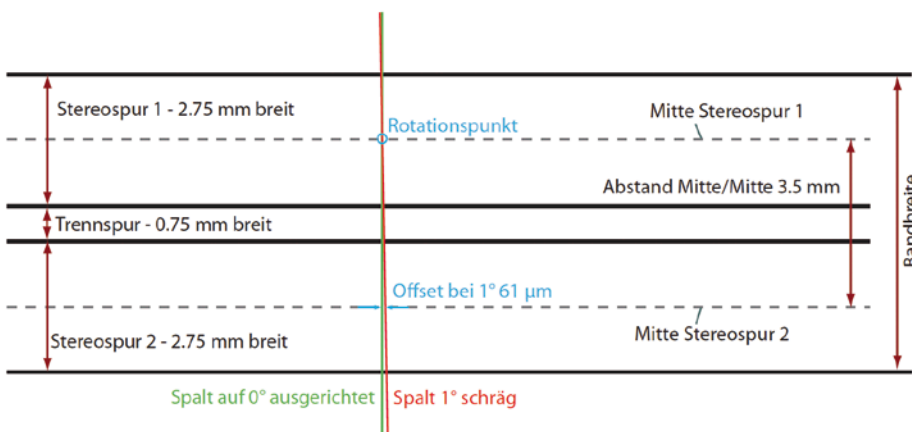


Abbildung 6: Bereits kleinste Abweichungen in der Ausrichtung zwischen Spalt und Band, verursachen starke Phasenfehler zwischen den beiden Kanälen. Quelle: adt-audio

Spaltbreite

Alle Tonköpfe haben vorne, in der Mitte des Kopfspiegels einen senkrechten Spalt. Hier tritt das magnetische Nutzfeld aus, welches entweder das Band magnetisiert (Sprechkopf) oder das Bandmagnetfeld 'abtastet' (Hörkopf). Die Breite dieses Spaltes liegt im Bereich weniger μm . Während der Sprechkopf großzügige 20 μm

2 Recording Performance Specifications

The table below presents the main parameters in the recommended bias setting. All figures given represent nominal values.

MOL _{1/3}	Maximum output level at 1 kHz, THD = 3 %	+13.0 dB	+12.5 dB	+10.0 dB
MOL _{1/1}	Maximum output level at 1 kHz, THD = 1 %	+10.0 dB	+9.0 dB	+6.0 dB
SOL ₁₀	Saturation output level at 10 kHz	+11.5 dB	+10.5 dB	+0.5 dB
SOL _{12.5}	Saturation output level at 12.5 kHz			-3.5 dB
SOL ₁₆	Saturation output level at 16 kHz	+9.0 dB	+7.5 dB	

Abbildung 7: Höhenaussteuerbarkeit SOL₁₀ (bei 10 kHz) und SOL₁₆ (bei 16 kHz) des SM911 bei Bandgeschwindigkeit 30 ips (linke Spalte), 15 ips (mittlere Spalte) und 7,5 ips (rechte Spalte)

Spaltbreite haben kann, damit das magnetische Feld stark genug wird, so ist die Spaltbreite des Wiedergabekopfes im Verhältnis kritischer und liegt oft deutlich unter 8 µm. Der Grund dafür liegt in der Beziehung zwischen Spaltbreite und Wellenlänge des Nutzsignals. Bei steigender Frequenz sinkt die Wellenlänge immer weiter ab und nähert sich der Spaltbreite immer stärker an. Dabei wird die Welle immer stärker gedämpft. Erreicht die Wellenlänge die Spaltbreite, so wird sie theoretisch unendlich stark unterdrückt. In der Praxis liegt die Dämpfung in einem Bereich von 30 bis 40 dB. Bei noch kürzeren Wellenlängen sinkt das Dämpfungsmaß zunächst wieder ab, steigt jedoch zur Oktave der ersten Nullstelle wieder an und erreicht dort wiederum die maximale Dämpfung (Abbildung 5). Diese Reihe lässt sich fortführen, spielt jedoch in der Praxis keine Rolle mehr, da sie weit außerhalb des Hörbereichs liegt. Entscheidend ist, dass der Pegelabfall zur ersten Nullstelle die Grenzfrequenz des Systems darstellt. Je schmaler der Spalt, desto höher liegt die erste Nullstelle. Nun ist die Wellenlänge jedoch von einem wichtigen Faktor abhängig und das ist die Bandgeschwindigkeit. Eine Frequenz X weist bei doppelter Bandgeschwindigkeit auch die doppelte Wellenlänge auf. Logisch, denn in derselben Zeit wird die doppelte Bandlänge magnetisiert. Damit verschiebt sich die Problematik der ersten Nullstelle bei doppelter Bandgeschwindigkeit um eine Oktave nach oben und die Höhenwiedergabe wird signifikant verbessert.

Effektive Spaltbreite und Kopflagefehler

Die effektive Spaltbreite ist nicht allein die physikalische Breite des Spaltes. Auch die Abrundung der Spaltkanten hat einen Einfluss. Und auch Lagefehler des Spaltes gegenüber dem Band können sich in gleicher Weise auswirken. Das bedeutet, dass der Winkel eines Lagefehlers mit der Spaltbreite verrechnet werden kann. Schlecht ausgerichtete (oder getaumelte) Köpfe weisen also eine schlechtere Höhenwiedergabe auf. Die Größe dieses Effektes hält sich absolut gesehen jedoch im Rahmen und tritt hinter eine andere Störung zurück, den Phasenfehler zwischen linkem und rechtem Ka-

nal durch Lagefehler des Kopfes. In einer idealen Welt liegt das Band vollständig am Kopfspiegel an und steht im perfekten 90 Grad Winkel zum Kopfspalt. Diese Verhältnisse sind in der Realität schon deshalb nicht zu erreichen, da das Band von Unregelmäßigkeiten der Oberfläche und mitgerissener Luft immer wieder minimal vom Kopf abgehoben wird. Dadurch entstehende Verluste werden als Bandflussdämpfung bezeichnet. Steht der Kopf jedoch noch zusätzlich schief, so werden die Informationen des linken und rechten Kanals nicht zum gleichen Zeitpunkt in die Spuren geschrieben, sondern mit einem zeitlichen Versatz, der sich aus dem Stellungsfehler ergibt. Zwar liegt ihr Absolutwert bei nur wenigen µm, bezogen auf die Wellenlänge bekommen wir hier jedoch Probleme. Bei hohen Frequenzen äußert sich die Störung als Phasenversatz zwischen linkem und rechtem Kanal (Abbildung 6). Darunter leidet die Stereolokalisation und Impulstreue des Signals.

Phasengang

Der Phasenfrequenzgang ist in den Höhen unter anderem also von der mechanischen Präzision des Gerätes abhängig. Die Justage eines Tonkopfes in allen Richtungsebenen (Taufmelung) ist extrem zeitaufwändig und erfordert viel Erfahrung. Doch auch die Tiefen sind Veränderungen des Phasenfrequenzgangs unterworfen. Einen wichtigen Anteil daran haben natürlich die induktiven Bauteile selbst, inklusive der in vielen Maschinen vorhandenen Audioübertrager. Allerdings äußern sich hier Phasenveränderungen vor allem zwischen Ein- und Ausgang, nicht zwischen den Kanälen. Die Wellenlängen sind für eine relevante Verschiebung einfach zu groß.

Wow und Flutter

Einen nicht zu unterschätzenden Einfluss hat der sogenannte Bandtransport. Dieser Begriff fasst mehrere Komponenten zusammen, die dafür verantwortlich sind, das Band mit möglichst hohem Gleichlauf am Kopfträger vorbei zu ziehen. Hauptverantwortlich ist hierfür der Capstan. Diese Welle sitzt



Unsere hauseigene Referenzmaschine Telefunken/AEG M15A

direkt auf dem Tonmotor und übernimmt die wichtigste Aufgabe beim Bandzug. Eine passive Andruckrolle wird mechanisch gegen den Capstan gedrückt. Das Band wird zwischen den beiden Oberflächen eingeklemmt und nach vorn gezogen. Das Ab- und Wiederaufwickeln des Bandes übernehmen zwei Wickelmotoren. Ihre Aufgabe ist es in erster Linie, das Band straff zu halten und sauber zu wickeln. Beim Spulen übernehmen sie den Bandtransport allein. Das Band wird in den seltensten Fällen direkt vom Wickelteller auf den Kopfräger, über den Capstan und wieder auf den Wickelteller geführt. Bei professionellen Maschinen liegen dazwischen noch sogenannte Bandberuhigungsrollen und verschiedene Umlenkpunkte und Bandfühlheber. Über sie lässt sich der Bandzug anpassen. Ist der Bandzug nicht absolut konstant, so kommt es zu Veränderungen der Bandgeschwindigkeit, die sich in direkten Klangveränderungen äußert. Langsame Geschwindigkeitsänderungen werden als Jaulen oder Vibrato wahrgenommen. Schnelle Geschwindigkeitsänderungen können vom Gehörsinn nicht mehr direkt verfolgt werden und äußern sich eher durch Rauheit des Tons. Durch den Schlupf des Bandes verändert sich die absolute Bandgeschwindigkeit in sehr geringem Maße über die gesamte Spielzeit eines Bandwickels. Dies kann zu Problemen führen, wenn Bandstücke aus den beiden Randbereichen aneinandergeschnitten werden müssen. Ein weiteres Problem ist relativ unbekannt. Das gespannte Band gerät vor dem Kopfräger, durch die Reibung an den feststehenden Köpfen und Umlenkpunkten, in eine hochfrequente (bis zu einige Kilohertz) mechanische Schwingung. Diese kann zu Intermodulationen mit den Audiofrequenzen führen und muss deshalb, da sie sich nicht verhindern lässt, möglichst weit in den nicht hörbaren Bereich verschoben werden. Dies geschieht zum Beispiel durch eine weitere Beruhigungsrolle zwischen den Köpfen, so dass sich der schwingungsaktive Bandabschnitt verkürzt und seine Resonanz nach oben versetzt wird.



Satin - Tape-Simulation Plug-In von U-HE

Schichtlage und Kopiereffekte

Die Welt des Bandes ist eine katastrophale Umgebung von potentiellen Störquellen. Rufen wir uns nochmals kurz ins Gedächtnis, wie die magnetischen Teilchen ursprünglich ausgerichtet wurden. Sie durchlaufen ein starkes Wechselfeld, welches ihr Schicksal für immer bestimmen wird. Aber was, wenn erneut magnetische Felder oder gar Wechselfelder auf die gespeicherte Information einwirken? Natürlich kommt es zu einem Qualitätsverlust. Dumm ist, dass auch die magnetische Schicht selber natürlich ein Feld um sich herum aufbaut und dadurch angrenzende Schichten mit beeinflusst. Ein Bandwickel ist also tatsächlich ein gigantischer Kopierapparat, dessen einzelne Schichten sich langfristig gegenseitig mit ihrer magnetischen Signatur beeinflussen. Sie kopieren sich.



Ampex ATR-102 Plug-In von Universal Audio

Wärme und Bewegung fördern diesen Vorgang und auch die Lage der Magnetschicht (die sogenannte Schichtlage) spielt eine Rolle. Es gibt prinzipiell zwei Arten ein Band zu lagern. Mit nach außen (deutsche Schichtlage) oder innen (internationale Schichtlage) zeigender Magnetschicht. Auf den ganzen Wickel gesehen gibt es keinen Unterschied in der Stärke des Kopiereffektes zwischen den beiden Lagerungsvarianten. Durch die Lage wirkt sich der Effekt jedoch stärker in die eine Richtung aus, als in die andere. Bei deutscher Schichtlage entstehen die stärkeren Echos im darunter liegenden, also nachfolgenden Bandabschnitt. Solche Echos sind weniger störend, als Vorechos, also Kopiereffekte, die vor dem eigentlichen Schallereignis auftreten. Bei internationaler Schichtlage wird daher oftmals die Lagerung ‚Tail out‘ empfohlen. Das heißt, dass das Band so gelagert wird, dass man es vor dem Abspielen erst zurückspulen muss. Unter dieser Bedingung wirkt sich der Kopiereffekt auch bei dieser Schichtlage hauptsächlich in Nachechorichtung aus. Wer die passenden Bedingungen für seine Bandmaschine und die Bänder kennt, wird also nur wenige Probleme mit Kopiereffekten bekommen. Zumal moderne Bänder davon ohnehin weniger stark als historische betroffen sind.

Störungsfazit

Wer es bis hier hin geschafft hat und sich bisher noch nicht mit den Problemen der analogen Bandaufzeichnung beschäftigt hatte, sollte spätestens jetzt eine tüchtige Portion Desillusionierung eingefahren haben. Wie kann das alles überhaupt funktionieren, wenn wirklich an jeder ‚Ecke‘ physikalische Widrigkeiten auf uns warten? Dass es dennoch geht, muss wohl nicht extra wiederholt werden. Aber man sollte sich eben nicht der Illusion hingeben, dass früher alles besser war. Dieses Zwischenfazit soll jedoch noch einen weiteren Zweck erfüllen. Denn viele der genannten Probleme müssen in gewissem Maße relativiert werden. Die Arbeit mit Band ist heute in den meisten Fällen eine völlig andere. Eine wichtige Anwendung für die Bandmaschine im modernen DAW-Studio liegt zum Beispiel im sogenannten Layback. Dabei wird ein

Signal, beispielsweise die Stereosumme, auf das Band aufgespielt und direkt vom Wiedergabekopf wieder abgenommen. In dieser Anwendung reduzieren sich die Auswirkungen von Kopiereffekten, Magnetisierungsverlust, aber auch mechanische Probleme auf ein Minimum oder verschwinden ganz. Wir erreichen hier also die positiven Klangeigenschaften des Bandes, ohne uns mit einem Teil der Nachteile überhaupt auch nur beschäftigen zu müssen. Wir müssen sie nur im Kopf behalten, wenn es darum geht eine realistische Simulation zu erzeugen. Mit einem Ausblick auf die ersten Kandidaten des folgenden Tests verabschieden wir uns für diese Ausgabe, wir hatten am Anfang nicht mit einem solchen Umfang gerechnet, aber letztendlich soll sich ja immer auch ein Mehrwert ergeben. In der nächsten Ausgabe schauen wir dann, was die ‚Simulanten‘ an unseren Problemen so umsetzen können.

Die Kandidaten

An die Aufgabe der Simulation der magnetischen Bandaufzeichnung haben sich schon viele gewagt. Sowohl analoge, als auch digitale Umsetzungen jeglicher Couleur finden sich in den Studios dieser Welt. In den einfachsten Fällen werden typische Frequenzgänge mit Hilfe von Filtern, ein bisschen Klirr mit Verzerrern und Kompressionseffekte mit gekrümmten Kennlinien nachgebildet. Wenn das Geheimnis hier bereits läge, so würde sich heute wohl kaum noch jemand mit der aufwändigen Wartung und Pflege der großen Maschinen auseinandersetzen. Wer den Vergleich jedoch gehört hat, der erkennt den Unterschied zwischen solchen Effekten und der Auswirkung, die ‚echtes Band‘ hat. Wir haben uns daher nur auf Kandidaten eingelassen, deren Ruf über diese einfachen Umsetzungen deutlich hinaus geht. Für den Moment sind mit U-HEs Satin ein natives Plug-In, mit Universal Audios Ampex ATR-102 und Studer A800 für die UAD-2 Plattform zwei DSP-basierte Plug-Ins und mit TM233 von ADT Audio ein vollständig analoges Plug-In (in einen ToolMod-Rahmen eingeploggt) im Ring mit dem Titelverteidiger. Letzterer ist unser hauseigenes Telefunken/AEG Magnetophon 15 A. Ring frei!



Der Tape-Simulator TM233 von adt-audio



Am goldenen Bande

BANDAUFZEICHNUNGSSIMULATIONEN IM VERGLEICH ZU EINEM ORIGINAL – TEIL 2

Können Computer inzwischen das nachbilden, was wir in der analogen Welt mit viel Aufwand zu erreichen versuchen? Können sie uns damit die tägliche Arbeit leichter machen, ohne einen Strauß neuer Probleme auf den Tisch zu stellen? Auf vielen Gebieten können sie das. Und in vielen anderen haben sie uns Möglichkeiten gegeben, die wir in der analogen Domäne niemals gehabt hätten. Wer dies verneint, ist ein Ignorant, wer es auf alle Bereiche überträgt ebenfalls. Und so wird diese Diskussion an vielen Punkten wohl noch sehr lange mit großen Emotionen geführt werden. Sich dabei zu positionieren ist immer ein Risiko. Gerät man doch allzu schnell zwischen Fronten von Puristen beider Seiten. Das Studio Magazin hat sich seit jeher als Instanz verstanden, die zwischen diesen Lagern vermittelt. Aufklären, hinterfragen, richtige Argumente liefern. So sehen wir unseren Auftrag. Und auch mit dieser Artikelreihe, die nun nach einer kleinen Pause weitergeht, versuchen wir diese Linie fort zu führen. Konkret geht es um Bandmaschinen, wie bereits die Überschrift verrät. Können Plug-Ins inzwischen das liefern, was wir am Band vermissen, ohne zwangsweise dessen Nachteile in Kauf nehmen zu müssen? Und was macht die analoge Welt?

Im ersten Teil dieser Serie haben wir versucht zu beleuchten, was denn eigentlich den schönen Klang von Band und den dazugehörigen Bandmaschinen ausmacht. Gestoßen sind wir dabei auf eine umfangreiche Sammlung an Eigenheiten, die zum Teil ausschließlich in dieser speziellen Anwendung auftreten. Diesmal soll es nun darum gehen zu schauen und zu hören, welche davon tatsächlich einen ausreichend großen Einfluss auf das Resultat haben, um es wert zu sein, auch in eine Simulation einzufließen. Ob unserer Liste abschließend ist, sei in dieser Stelle bereits einmal bestritten. Denn je mehr Experimente wir gemacht haben, und das waren einige, umso deutlicher wurde uns, dass das ganze Thema ‚Tapesound‘ viel tiefer geht, als wir es erwartet hätten.

Die Kandidaten

Da der Aufwand nicht zu stemmen war, können wir diesmal nicht die Ergebnisse für alle vier beim letzten Mal angekündigten Produkte präsentieren. Da es aber über unsere Auswahl hinaus noch weitere potentielle Kandidaten gibt, wird diese Serie in der Zukunft einfach weiter geführt und erweitert. Für diese Ausgabe haben wir nun ein analoges und ein digitales System ausgewählt. Die analoge Fahne hält ADT-Audio mit seinem Toolmod Modul TM233 hoch, während sich Satin von U-HE anschickt, die Ehre der Plug-Ins zu verteidigen.

Das Original – Telefunken Magnetophon 15A

Mit dieser Maschine steht uns ein Referenzgerät der ehemaligen Oberklasse zur Verfügung. Gebaut von Telefunken und AEG ab Mitte der 1970er Jahre, waren diese Maschinen eines der Standardwerkzeuge des öffentlichen Rundfunks und des Fernsehens. Ein echtes Arbeitstier, welches sich durch ausgeklügelte und ausgereifte Technik auszeichnet, dabei aber auf zu viele aufwändige, und damit oftmals leider auch anfällige Elektronikfunktionen verzichtet. Unsere Maschine befand sich in Obhut und Wartung bei unserem geschätzten Kollegen Uli Apel, fand also in einwandfrei gepflegtem Zustand ihren Weg in unser Berliner Studio. Die Maschine arbeitet mit 1/2 Zoll Band in den Geschwindigkeiten 19 oder 38 cm/s (7,5 und 15 ips) und ist mit Stereoköpfen (0,75 mm Trennspur) in deutscher Schichtlage ausgestattet. Eingemessen ist die Maschine auf den Bandtyp RMG SM911. Die optionale Umschaltung zwischen Mono- und Stereoaufzeichnung befindet sich auf zusätzlichen Steckplatinen und wurde aus



Gründen der Ausfallsicherheit außer Betrieb genommen. Entzerrt ist die Maschine nach CCIR (IEC), wie es in Europa fast ausschließlich üblich war. Übrigens sei an dieser Stelle auf eine missverständliche Formulierung im ersten Teil des Berichtes hingewiesen. Der Capstan sitzt bei der M15A durchaus nicht direkt auf der Welle des Tonmotors, sondern wird mit einem Riemen auf eine riesige Schwungmasse übersetzt, deren Achse der Capstan ist. Frühere Maschinen (zum Beispiel Telefunken M10) nutzten hierfür auch ein Reibrad, welches sich als wenig zuverlässig erwies und bald nur noch im Hifi-Bereich zum Einsatz kam.

ADT-Audio Toolmod TM233

Der, im Moment, einzige analoge Kandidat in unserem Vergleich, ist das Toolmod Modul TM233 von ADT-Audio. Das zwei Steckplätze einnehmende Modul ist vollgepackt mit Funktionen, so dass sich die Bedienelemente dicht auf der Frontplatte drängen müssen. Das verwundert auch nicht, denn sieht man sich das Innenleben an, so fragt man sich, wie der Entwickler Gerd Jüngling es überhaupt geschafft hat, all die benötigten Komponenten auf dem zur Verfügung stehenden Platz unterzubringen. Man muss dabei bedenken, dass ADT-Audio vollständig auf platzsparende SMD-Bauteile verzichtet. Neben der beeindruckenden Ingenieurleistung zeichnet sich das TM233 durch eine besonders umfangreiche Bedienungsanleitung mit ausführlicher Beschreibung der Funktionsblöcke und den zugrunde liegenden Eigenschaften der Bandmaschine aus. Über die Potentiometer hat man Zugriff auf die folgenden Funktionen. Ganz links beginnt man mit der Einstellung des Hochpassfilters, welches den Frequenzgang nach unten



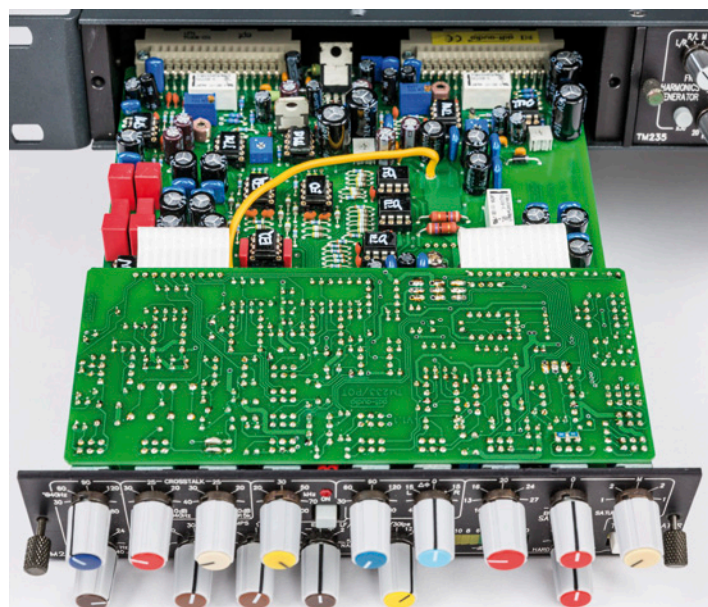
hin begrenzt. Diese Grenze ist bei Band von der Geschwindigkeit abhängig. Darüber kann die Phasenlage (zwischen Eingang und Ausgang, nicht zwischen den Kanälen) in den Tiefen eingestellt werden. Daneben befinden sich zwei Potis, über die das Übersprechen in den Höhen und Tiefen separat eingestellt werden kann. Die Kopfspiegelresonanz ist über zwei Potentiometer in der Stärke der Überhöhung regel- und in der Lage der ersten Überhöhung im Spektrum stimmbar. Das Head-Gap Filter simuliert die durch den Kopfspalt entstehende Höhenbegrenzung. Crosstalk und Head-Gap Filter lassen sich als einzige separat abschalten. Die Höhen können über je ein Poti zur Veränderung der Phasenlage (wieder zwischen Ein- und Ausgang) und eines zur Steuerung des Azimuth-Fehlers beeinflusst werden. Er verändert die Phasenlage zwischen den beiden Kanälen in den Höhen, ebenso wie es eine schlechte Kopftaunelung verursachen würde. Die Entzerrung erfolgt ebenfalls getrennt für die Tiefen und die Höhen. Entzerrung bedeutet in diesem Fall jedoch nicht den Einsatz eines Equalizers im Signalweg. Es handelt sich hier viel mehr um eine Emphase-Regelung. Die entsprechenden Frequenzen werden vor der Sättigungsstufe angehoben und dahinter in gleichem Maße wieder abgesenkt. Damit kann der Anwender separat Einfluss auf die entsprechende Verzerrung der beiden Frequenzbereiche nehmen. Bei einer Bandmaschine ist dieses Verhalten mit der Entzerrung, meist nach CCIR oder NAB, festgelegt. Einige wenige Studer unterstützten einen Wechsel zweier Entzerrungen (und Bandsorten). Auf der Frontplatte folgen die drei Potentiometer zur Steuerung der eigentlichen Bandsättigung. Die Threshold wird anhand des Eingangspegels bestimmt und richtet sich nach dem Einmesspegel. Unser System ist immer auf 0 dBr (entsprechend +6 dBu) eingemessen, die Wandler bieten entsprechenden Headroom, um nicht in ‚den Weg‘ zu geraten. Über den Regler Balance Saturation kann das Spektrum der erzeugten Obertöne beeinflusst werden. Wie bereits im ersten Teil erläutert, produzieren Bandmaschinen zum größten Teil dritte Harmonische (k₃). Dies ist auch bei der Simulation der Fall, so lange das Po-

ti in der Mittelstellung verweilt. Über Balance Saturation können geradzahlige Harmonische hinzugefügt werden. Die Drehrichtung bestimmt dabei die Phasenlage der erzeugten Obertöne. Der mit Curve beschriftete Regler beeinflusst den Anstieg des Klirrfaktors über den Pegel. In Richtung ‚Hard‘ steigt das Klirr deutlich an, auch wenn der Eingangspegel nur wenige Dezibel größer wird. Dieses Verhalten ist bei einer Bandmaschine ebenfalls durch die Einmessung und die Bandsorte fest vorgegeben. Zu guter Letzt steht ein Mix-Regler (Dry-Wet-Regler) zur Verfügung, über den der ganze Effekt entweder komplett oder anteilig beigemischt werden kann.

U-HE Satin

Bei Satin von U-HE handelt es sich um ein Plug-In in den Formaten VST2, VST3 und AAX für Mac und PC, außerdem Audio Units für Mac. VST und AU sind jeweils als 32 und 64 Bit Varianten erhältlich, AAX natürlich nur als 64 Bit Version. Neben der Bandmaschinensimulation als subtilerem Klangeffekt, kann Satin auch für die Simulation von Bandechoeffekten und als Flanger genutzt werden. Diese beiden, so viel sei angemerkt, hervorragend klingenden Anwendungen sollen für diesen Bericht jedoch keine Rolle spielen. Ruft man das Plug-In in der DAW auf, so befindet es sich zunächst im für uns relevanten Simulationsbetrieb ‚Studio‘. Die Oberfläche teilt sich dabei in drei Bereiche auf, wobei der als ‚Service‘ bezeichnete untere Abschnitt hinter einer virtuellen Klappe verborgen ist. Dies geschieht nicht ganz ohne Absicht, denn die Systemlast ist bei offener Klappe durch den laufenden Echtzeitanalyseur signifikant größer. Über zwei große Drehregler hat der Anwender Zugriff auf die Ein- und Ausgangspegel. Weiterhin klanglich relevant kann die Bandsorte zwischen einem ‚Vintage‘-Typen mit drastischem, etwas mittenlastigem Charakter und deutlicherem Sättigungsverhalten, sowie einer moderneren Bandsorte mit weitgehend ‚neutralem‘ Frequenzgang umgeschaltet werden. Mit der Soft-Clip Funktion haben wir uns absichtlich nicht auseinander

gesetzt, die anderen Funktionen im oberen Bereich haben keinen direkten Einfluss auf den Klang. Etwas weiter unten, farblich abgesetzt, finden sich zwei Regler zur Beeinflussung der Bandgeschwindigkeit und damit indirekt dem grundsätzlichen Frequenzgang der simulierten Maschine. Ebenfalls hier befindet sich ein Regler für die Pre-Emphasis, über den der Sättigungscharakter für die Höhen bestimmt wird. Satin ist als einziger uns bekannter Simulator mit einem Rauschunterdrückungssystem ausgestattet. Hier kann zum Beispiel zwischen verschiedenen Dolby Typen gewählt werden. Rauschunterdrückungssysteme arbeiten meist als sogenannte Kompander (ein Kofferwort aus Kompressor und Expander). Das Signal wird vor der Aufzeichnung über eine spezielle Kennlinie, meist aufgeteilt in mehrere Spektralbereiche, komprimiert. Bei der Wiedergabe erfolgt eine Expansion mit der exakt inversen Kennlinie. Im besten Fall klingt das Ausgangssignal genauso wie das Eingangssignal, während das von der Bandmaschine verursachte Rauschen um Größenordnungen unterdrückt wurde. Da unsere Telefunken Maschine (noch) nicht mit einem Kompander ausgestattet ist, haben wir auch diesen Teil des Plug-Ins außen vor gelassen. Möchte man Satin als Mehrspurmaschine nutzen, so muss man es natürlich in mehreren Instanzen in die entsprechenden Kanäle laden. Damit die Bedienung dann nicht für jedes Modul separat erfolgen muss, können Bediengruppen gebildet werden. Wir haben damit experimentiert und können die Bedienphilosophie wirklich sehr loben. Gemeinsame Instanzen landen in einer Bediengruppe und können bequem zusammen parametrierbar werden. Kommen wir nun zum ‚Service‘ Bereich, denn hier verbergen sich die eigentlich spannenden Parameter. Links be-



Die Bedienoberfläche von U-He Satin im Studio Modus, als Bandmaschinenemulator

gonnen mit zwei Rauschgeneratoren, die sowohl das allgemeine ‚Stromrauschen‘, als auch das durch Unebenheiten der Magnetschicht des Bandes verursachte Oberflächengeräusch (Asperity) erzeugen. Letzteres äußert sich sowohl als echtes Geräusch, als auch als subtiler Seiteneffekt bei hochfrequenten Signalen. Es folgt ein Crosstalk-Regler mit dem der Wert für das Übersprechen in den Höhen angepasst werden kann. Die beiden Gleichlaufstörungen Wow und Flutter lassen sich ebenso, über einen gemeinsamen Regler, hinzufügen. Der Regler Bias dient der Anpassung der Vormagnetisierung und hat somit Einfluss auf die Aussteuerbarkeit und die Höhenwiedergabe. Wiedergabekopfseitig kann die Breite des Kopfspaltes und damit die obere Grenzfrequenz verändert werden. Die Kopfspiegelresonanz mit ihrem charakteristisch welligen Signalverlauf in den Tiefen kann nur über einen Regler in der Stärke der Über- und Unterschwinger, nicht aber in der Position im Frequenzspektrum beeinflusst (gestimmt) werden. Die Aufnahme- und Wiedergabeentzerrung lässt sich spannenweise separat verändern, auch wenn dies zumindest für realistische Simulationen nicht viel Sinn hat. Eine Spektrumsdarstellung (FFT) zeigt den resultierenden Frequenzgang der gesamten Simulation an. Wie erwähnt, ‚frisst‘ diese Darstellung einiges an Ressourcen und sollte daher nur für die Einstellphase genutzt werden. Den Abschluss macht der Regler ‚Headroom‘, über den die Verzerrungsgrenze der simulierten Elektronik verschoben werden kann. So können die Effekte des Bandes mit den Effekten der Verstärkertechnik ausbalanciert werden.



Messungen

Dem Hörtest gingen wie immer umfangreiche Messungen mit unserem Audio Precision voraus. Zunächst wurden Referenzmessungen von der Telefunken angefertigt. Diese dienten nicht nur der Bestimmung der technischen Daten, sondern auch zum Abgleich der Einstellungen unserer Testkandidaten. Die erste Erkenntnis daraus war eindeutig; wir hatten unsere eigene Maschine unterschätzt. Ein gutes Beispiel dafür ist die Messung des Übersprechens. Mit einem Wert von über -35 dB bei 30 Hz liegt die Maschine gar nicht schlecht. Zu den Mitten hin sinkt das Übersprechen auf unter -50 dB ab und verbleibt unter -45 dB bis in die Höhen (Diagramm 1). Damit erreicht unsere Maschine die Anforderungen der Rundfunkpflichtenhefte. Weniger überraschend, dafür aber sehr beruhigend, war das Ergebnis der Phasenmessung zwischen den Kanälen über die Frequenz. Wie im ersten Teil erklärt, wird die Phasenlage in den Höhen von der sogenannten Kopftaumelung, also der möglichst exakt senkrechten Ausrichtung der Tonköpfe zum Band, beeinflusst. Unsere von Uli Apel eingemessene Maschine weist hier einen Fehler, den sogenannten Azimuth, von gerade einmal -0,5 bis +3 Grad zwischen 5 und 20 kHz auf (Diagramm 2). Wobei hier Messfehler nicht mehr ganz auszuschließen sind. Im selben Diagramm findet sich auch der Amplitudenfrequenzgang des Magnetophons.

Die Bandbreite ist oben und unten steil begrenzt. Deutlich zu erkennen ist die Welligkeit des Frequenzgangs, verursacht durch die Kopfspiegelresonanz. Allerdings wurde die erste Überhöhung in ihrem Pegel, vermutlich elektronisch, reduziert und ist daher nicht so ausgeprägt sichtbar, wie bei anderen Maschinen. Man beachte auch die Skalierung; die Welligkeit des Amplitudenfrequenzgangs bleibt vergleichsweise subtil. Weiter geht es mit den Verzerrungswerten. THD+N liegt unter Arbeitspegel +6 dBu bei 1,08 %. Erhöht man den Eingangspegel um sechs Dezibel auf +12 dBu, so steigt THD+N auf 4,55 % an. Die Messung erfolgt wie immer mit einem Mess-Stimulus bei 1 kHz, höhere Frequenzen würden etwas höhere Werte ergeben. Entschei-

dender als der Absolutwert ist die spektrale Verteilung der Harmonischen. In Diagramm 3 zeigte sich, dass die Maschine, abermals wie erwartet, einen hohen Anteil an k_3 aufweist. Der Pegel von k_2 spielt nur eine geringe Rolle und auch die höheren Obertöne fallen sehr schnell ab. Auch akustisch ergibt sich so bereits bei Sinustönen ein charakteristischer Klang, der von keiner anderen Quelle für Verzerrungen in gleicher Weise verursacht wird. Eine wichtige Eigenschaft des Bandes ist die einsetzende Sättigung im Bereich der Höhen bei steigenden Pegeln. Dies ist in der Kennlinie deutlich zu erkennen, wenn man sie bei verschiedenen Frequenzen betrachtet. Das Diagramm 4 illustriert exemplarisch die vier Frequenzen 1 kHz, 6 kHz, 12 kHz und 15 kHz als Kennlinie bis hinauf zu +20 dBu. Die Reduktion bei zunehmender Frequenz ist deutlich zu erkennen, die Absolutverschiebung ergibt sich durch den welligen Frequenzgang.

Diagramm 5 zeigt das Spektrum des Rauschens bei laufendem Band. Leider gibt es eine kleine Brummstörung, deren Ursache wir kurzfristig nicht finden konnten. Dennoch ist ein leichter Anstieg im Pegel zu den tieferen Frequenzen gut zu erkennen, verursacht durch mechanische Vibrationen und Bandunebenheiten. Das gemessene Rauschniveau liegt mit frischem Band bei -61,9 dBu. Um die Löscheigenschaften zu prüfen, haben wir einen Vergleichswert mit einem bereits mehrfach bespielten Band ermittelt. Mit einem nur 1,5 dB schlechteren Wert hatten wir nicht gerechnet. Eine tolle Maschine.

Den ersten Messvergleich haben wir mit dem TM233 von ADT-Audio gezogen. Dabei wurde der Arbeitspunkt so eingestellt, dass die Pegel von Stimulus und der dritten Harmonischen nahezu identisch waren. Die Messungen für THD+N ergaben 0,67 % bei +6 dBu und 6,54 % bei +12 dBu, der Anstieg lässt sich über den Curve-Regler beeinflussen. Anschließend versuchten wir das Spektrum über die weiteren Funktionen an das der Bandmaschine anzunähern, was nicht ideal gelang. Das Klirrspektrum des TM233 weist in jeder Variante einen recht gleichmäßigen Abfall der höheren, ungradzahligen Obertöne auf. Die Eta-

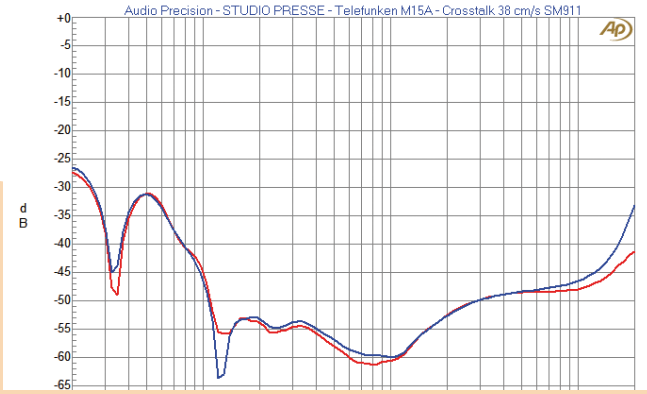


Diagramm 1: M15A – Das Übersprechen zwischen linkem und rechtem Kanal ist besser als von uns angenommen

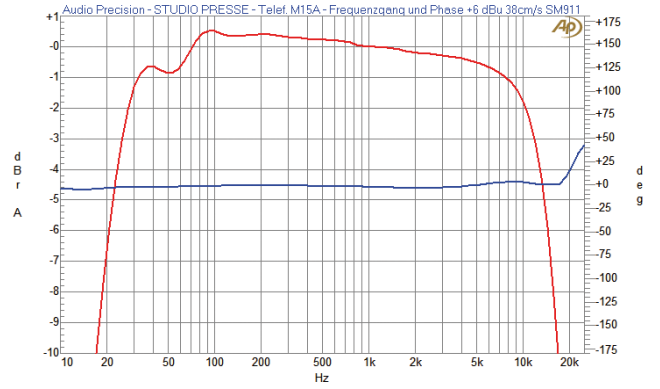


Diagramm 2: M15A – Amplitudenfrequenzgang (rot) und Phase zwischen den Kanälen (blau)

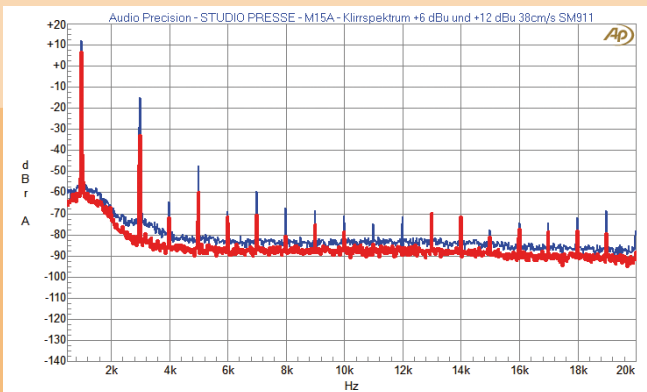


Diagramm 3: M15A – Klirrspektrum bei +6 dBu (rot) und +12 dBu (blau) Eingangspegel

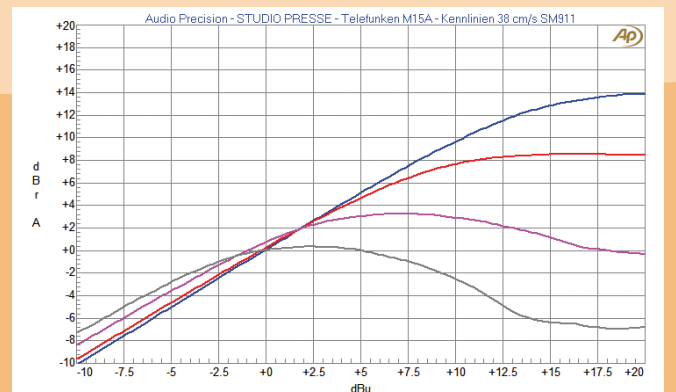


Diagramm 4: M15A – Kennlinien bei 1 kHz (blau), 6 kHz (rot), 12 kHz (magenta) und 15 kHz (grau)

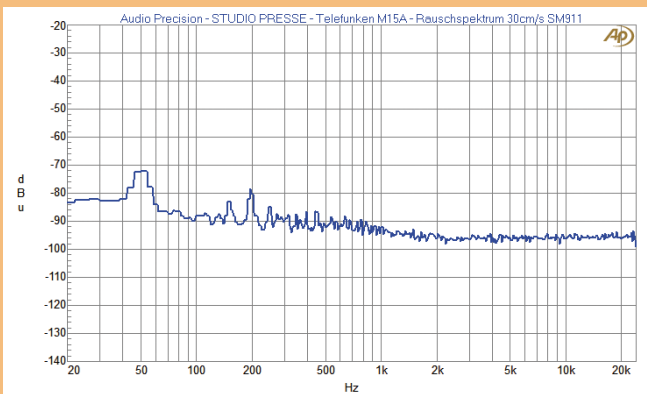


Diagramm 5: M15A – Rauschspektrum mit leichter Brummstörung

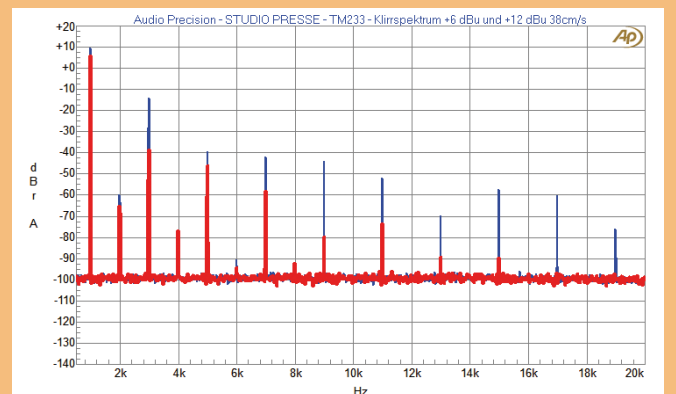


Diagramm 6: TM233 – Klirrspektrum bei +6 dBu (rot) und +12 dBu (blau) Eingangspegel

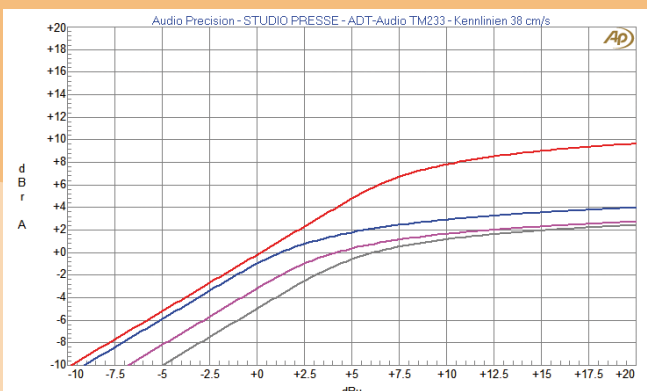


Diagramm 7: TM233 – Kennlinien bei 1 kHz (rot), 6 kHz (blau), 12 kHz (magenta) und 15 kHz (grau)

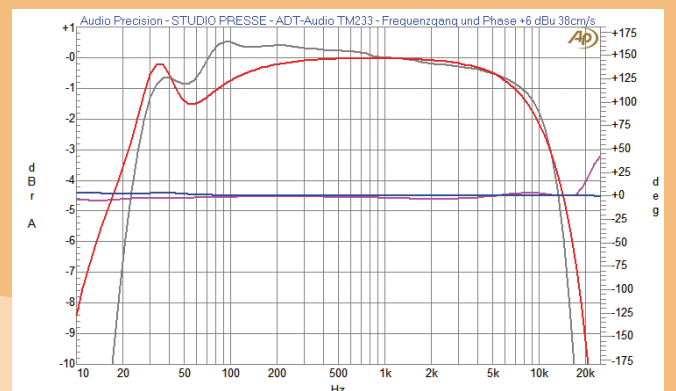


Diagramm 8: TM233 – Amplitudenfrequenzgang (rot) und Phase zwischen den Kanälen (blau), M15A zum Vergleich



Alternativ kann Satin als Flanger (nicht gezeigt) und Tape-Delay (hier zu sehen) genutzt werden

blierung der geradzahigen Verzerrungen verschiebt das Klangergebnis drastisch, aber nicht in die gewünschte Richtung. Diagramm 6 zeigt die beiden Messungen (Balance Saturation Regler in Mittelstellung) bei +6 dBu, +12 dBu. Das Verzerrungsspektrum ist damit ein wenig die Achillesferse des TM233, denn in den anderen Disziplinen erreicht das Modul zum Teil beachtliche Ähnlichkeit zum Original. Die Gestaltung der Höhengättigung ist gut gelungen. Die in Diagramm 7 illustrierte Entwicklung der Kennlinie zu höheren Frequenzen ist jedoch nicht ganz so drastisch, wie sie sich beim Original einstellt, obwohl der Curve Regler bereits auf Hard stand. Ich möchte an dieser Stelle nochmals in Gedächtnis rufen, dass wir es hier nicht mit einem M15A-, sondern einem allgemeinen Bandsimulator zu tun haben. Eine völlige Gleichheit wird sich niemals erreichen lassen; die Ergebnisse sind erstaunlich gut, vor allem unter dem Gesichtspunkt, dass es sich um ein Analoggerät handelt. Betrachten wir den Amplitudenfrequenzgang und die Phasenlage zwischen den Kanälen in Diagramm 8. Auch hier wurde versucht, die beiden Kurven so nah es geht einander anzunähern. Die Unterdrückung der ersten Überhöhung gelang nicht ganz, so dass sich in den Tiefen eine etwas abweichende Welligkeit ergibt. Der weitere Verlauf mit dem Abfall durch die Spaltfunktion ist sensationell nah am Original. Da die Phase durch den Azimuth-Fehler bei unserer Maschine kaum verdreht wird, haben wir auch beim TM233 die Finger von den entsprechenden Potis gelassen. Das Übersprechen kann dosiert werden und so wurden die beiden Werte für die hohen und tiefen Frequenzen an den gewonnenen Messwert angeglichen. Das Ergebnis zeigt sich in Diagramm 9. Der Verlauf des Übersprechens ist natürlich deutlich glatter, weist aber eine charakteristische

Senke an der richtigen Stelle auf. Den Abschluss macht das Rauschen, wobei dessen absolutes Niveau natürlich weit von dem entfernt liegt, was die Bandmaschine leisten kann. Da der TM233 auf die Erzeugung von Rauschartefakten verzichtet, verläuft das eigene Rauschspektrum auch etwas glatter, als bei der ‚Konkurrenz‘ (Diagramm 10). Damit kommen wir zum digitalen Kandidaten Satin von U-HE und beginnen mit den Frequenzgängen. Da sich die absolute Position der Kopfspiegelresonanz nicht stimmen lässt, ergibt sich auch hier in den Tiefen ein leicht abweichendes Bild. Der prinzipielle Verlauf des Originalfrequenzgangs kann jedoch ausreichend gut nachgebildet werden (Diagramm 11). Auch hier wurde der Azimuth fast in Neutralstellung belassen, damit die Phase zwischen den Kanälen stabil bleibt. Das Obertonspektrum von Satin ist extrem auf die Generierung der dritten harmonischen reduziert (Diagramm 12). Es liegt damit sehr nah am Original, auch wenn die Unterdrückung höherwertiger Obertöne etwas drastisch erscheint. Die betonte Erzeugung bestimmter Obertöne ist in der digitalen Welt natürlich unvergleichbar leichter, als in der analogen. Den größten Unterschied zum Vorbild fanden wir in der Betrachtung der Höhengättigung. Um die Vergleichbarkeit mit der Telefunken Bandmaschine zu gewährleisten, haben wir auf die Entzerrung nach IEC (CCIR) für 38 cm/s zurückgegriffen. Mit dieser Einstellung lässt sich der Höhenbereich jedoch nicht in vergleichbarem Maße sättigen, wie dies M15A und TM233 schaffen. Die in Diagramm 13 gezeigten Kennlinien zeigen eine Kompression, die jedoch keine starke Frequenzabhängigkeit aufweist. Betrachtet man die Simulation des Frequenzgangs im Analyser von Satin und dreht am Eingangspegelsteller, so wird der Kompressionseffekt auch sichtbar. Die Frequenzabhängigkeit beschränkt sich hier viel stärker auf den Bereich der Bässe, wohingegen der Abschnitt bis hinunter zu 1 kHz relativ linear sättigt. Ein Gespräch mit dem Entwickler Sascha Eversmeier brachte den Schluss, dass dieses Verhalten mit einem weiteren Bandtypenmodell zukünftig sicher noch stärker betont werden könnte. Tatsächlich ist das Verhalten der Höhengättigung eine essentielle Eigenschaft des Bandtyps, wie im ersten Teil bereits erläutert wurde. Die absoluten Werte für THD+N spiegeln die Ergebnisse ebenfalls wieder; bei einem Pegel von 0 dBr (entsprechend +6 dBu in der analogen Welt) liegt THD+N bei 0,45 % und steigt bei einem Pegelanstieg um 6 dB nur auf 0,64 %. Satin verzerrt in dieser Betriebsart damit deutlich subtiler, als es unsere analogen Maschinen tun. Das Übersprechen zwischen den beiden Kanälen (Diagramm 14) verhält sich in den Höhen ähnlich, verzichtet jedoch auf den Effekt in den Tiefen. Nach unten hin fällt die Auswir-

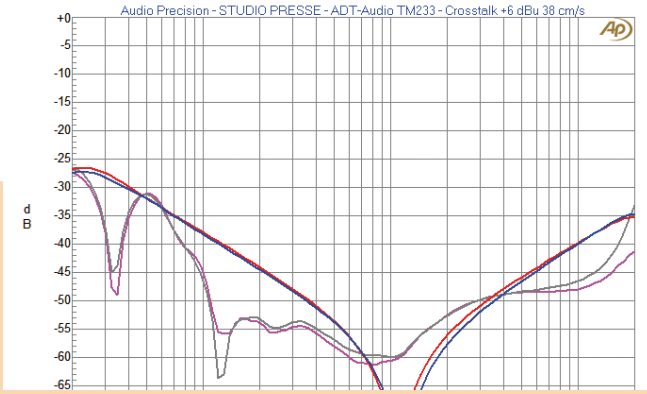


Diagramm 9: TM233 – Übersprechen (rot und blau) im Vergleich zur M15A (grau und magenta)

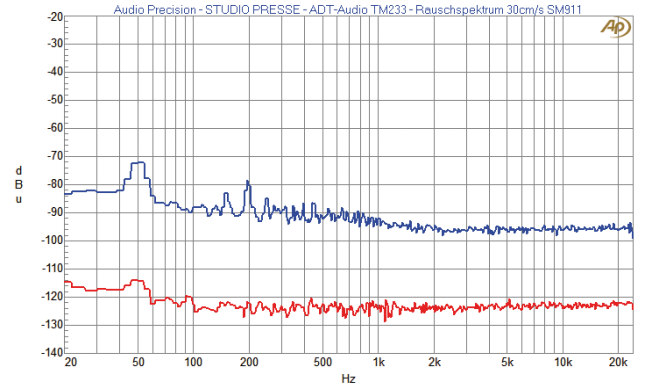


Diagramm 10: TM233 – Rauschspektrum (rot) im Vergleich zur M15A (blau)

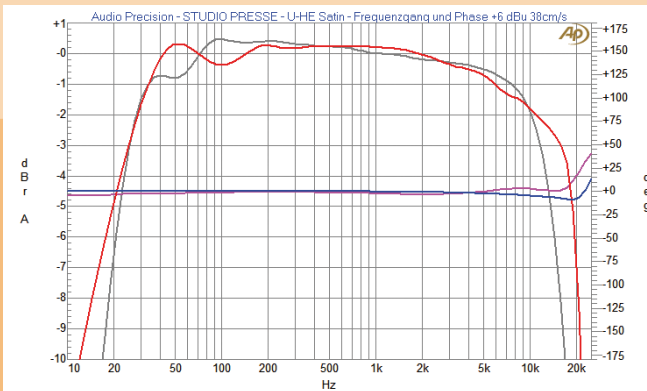


Diagramm 11: Satin – Amplitudenfrequenzgang (rot) und Phase zwischen den Kanälen (blau), M15A zum Vergleich

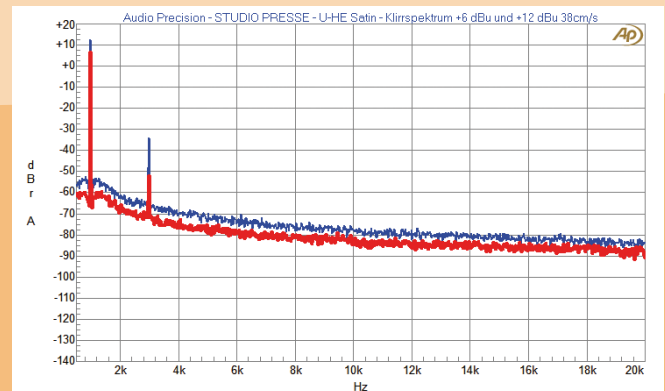


Diagramm 12: Satin – Klirrspektrum bei +6 dBu äquiv. (rot) und +12 dBu äquiv. (blau) Eingangspiegel

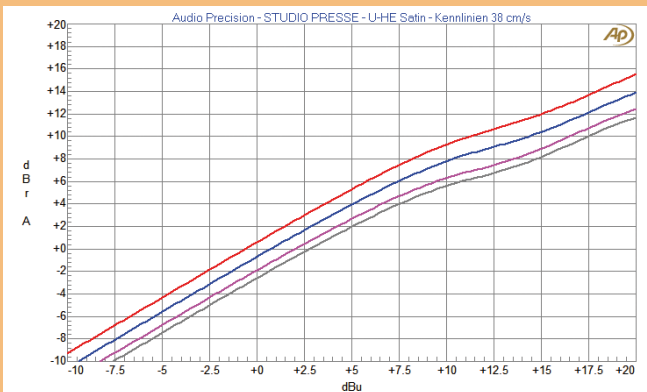


Diagramm 13: Satin – Kennlinien bei 1 kHz (rot), 6 kHz (blau), 12 kHz (magenta) und 15 kHz (grau)

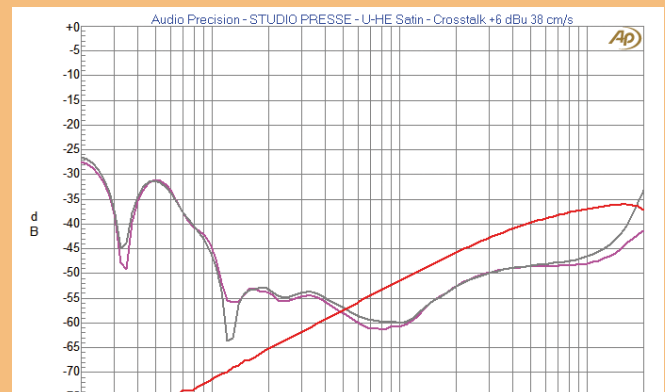


Diagramm 14: Satin – Übersprechen (rot) im Vergleich zur M15A (grau und magenta)

kung nahezu weg. Da das Plug-In andere Ressourcen als ein analoges Gerät zur Verfügung hat, kann Satin auch das Rauschen, besonders das Asperity-Geräusch des Bandes, nachbilden. Über zwei Regler konnten wir das Störgeräusch sehr nah an unsere Maschine heranbringen (Diagramm 15). Auch Störungen in der Zeitebene, wie Wow und Flutter, werden von Satin nachgebildet. Allerdings sind diese Störungen bei guten Maschinen so stark reduziert, dass es hier mehr als Klangvariante einsetzbar ist. Für eine realistische Simulation kann der Regler nahezu auf seinem Minimalwert verweilen.

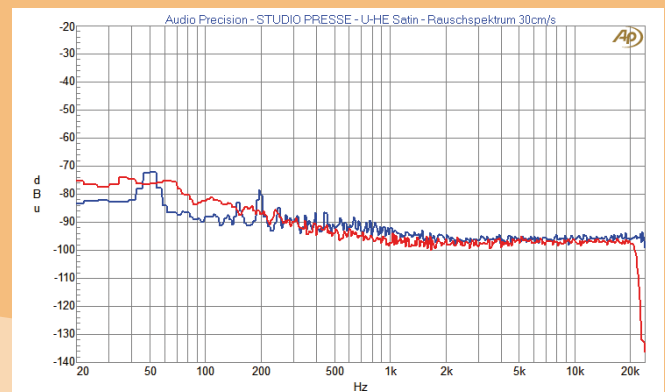


Diagramm 15: Satin – Rauschspektrum (rot) im Vergleich zur M15A (blau)



Durchführung

Bei der Umsetzung unseres Hörtests haben wir versucht, jedwede Qualitätsveränderung auszuschließen, die nicht von den getesteten Softwarekandidaten oder der Bandmaschine selbst verursacht werden. Als Bandmaterial kam neues RMG SM911 zum Einsatz; natürlich haben wir ausschließlich Frischband verwendet.

Da die Signalkette für die Bandmaschine eine D/A- und eine A/D-Wandlung umfasst, haben wir uns entschlossen, sämtliche Signale über diese Kette laufen zu lassen. Der Vergleich wird also zwischen Dateien gezogen, die die technischen Rahmenbedingungen weitestgehend teilen und somit tatsächlich auch vergleichbar sind. Als Wandlersystem nutzen wir Hapi von Merging Technologies, wobei unser Gerät mit den Premium-Wandlerkarten ausgestattet ist. Bei aller technischen Genauigkeit bleibt natürlich ein grundlegendes Problem. Keine der beiden getesteten Simulationen bezieht sich explizit auf die uns zur Verfügung stehende Bandmaschine. Einzig die Hardware von ADT-Audio steht unserem Magnetophon in gewisser Weise nahe, da die Firma bis in die 1980er Jahre Verstärker für Telefunken Magnetfilmgeräte hergestellt hat. Der Klang dieser Maschinen war so zumindest indirekt eines der Designziele. Sascha Eversmeier von U-HE verrät uns, dass für die Feinabstimmung zwei Studer Bandmaschinen herangezogen, die grundlegenden Eigenschaften jedoch als absichtliche Verallgemeinerung angelegt wurden. Und, in der analogen Technik klingen unterschiedliche Maschinen deutlich verschieden und selbst Geräte der gleichen Bauart weisen, je nach Alter, nicht zweimal denselben Klang auf. Was soll unser Test also bringen? Nach unserer Meinung und unserer Hörerfahrung lässt sich im direkten Vergleich durchaus bewerten, ob ein Gerät einen vergleichbaren, subjektiven Qualitätsgewinn bieten kann. Steckt das, was wir suchen, wenn wir die Bandmaschine anwerfen, auch in den

„Nachahmern“. Vor allem in der räumlichen Tiefe, der dynamischen Kompaktheit und der subjektiven Vereinigung der Komponenten des Mixes, die im Englischen so wunderbar mit ‚to glue together‘ (zusammenleimen) umschrieben wird, lassen sich Gemeinsamkeiten auch über verschiedene Klangbilder hinaus erkennen. Wir können in diesem Test nicht herausfinden, ob eine simulierte Studer Mehrspurmaschine auch nur im Entferntesten wie ihr Vorbild klingt oder ob eine Software Ampex den Besitzer eines Originals glücklich machen wird. Dies spielt jedoch ohnehin nur für sehr wenige Personen eine Rolle, denn es geht ja nicht darum, etwas zu ersetzen, sondern Nicht-Besitzern etwas zugänglich zu machen, auf dass sie sonst keinen Zugriff haben. Bandmaschinensound für alle.

Hörtest

Und das gelingt auch gar nicht schlecht, wobei beide Systeme durchaus gewisse Ähnlichkeiten aufweisen. Hervorragend gelingt beiden der Verlauf des Frequenzgangs in den Höhen. Die Spaltfunktion ist realistisch nachgebildet und steht dem Originalverlauf nicht nach. Das Zu- und Abschalten dieser Filterung hat einen großen Einfluss auf das Klangbild, auch wenn sich das Spektrum absolut gesehen gar nicht so stark verändert. Wir hatten den Eindruck, dass TM233 hierbei etwas die Nase vorn hat, was damit zusammenhängen kann, dass die Filterfunktion nach oben hin anders begrenzt wird. Nebenbei war es eine interessante Erkenntnis, wie sich eine drastische Bandbegrenzung positiv auf den Klang auswirken kann. Die Kopfspiegelresonanz resultiert in einer deutlichen Welligkeit im Bassbereich, die sich in der subjektiven Wahrnehmung als eine Art ‚Aufräumen‘ äußert. Diese lässt sich durch die Möglichkeit der Stimmung beim TM233 noch gezielter einsetzen, als bei M15A und Satin. Trotz der dort statischen Funktion tritt ein Effekt ein, der sich fast immer positiv bemerkbar macht. Wahrscheinlich ist die Reduzierung im Bereich zwischen 80 und 150 Hz hier der entscheidende Faktor, denn hier sitzen oftmals Signalanteile, die eine gewisse Wolkigkeit des Grundtonbereichs zur Folge haben. Unsere Bandmaschine verläuft in diesem Bereich etwas betonender, was sich bei manchen Signalen tatsächlich nicht unbedingt vorteilhafter auswirkt. Den größten Einfluss hat die Behandlung der Verzerrungen und der Höhenkompression, also die Sättigung und hier unterscheiden sich alle drei Kandidaten deutlich. Die Bandmaschine kommt bei hohen Pegeln in einen Bereich, der sich als heftiger Effekt äußert. Transienten verlieren ihren herausstechenden Charakter, werden zurückgenommen und besser in den Mix integriert. Der Vor-

teil der Bandsättigung liegt darin, dass das Gesamtsignal trotzdem nicht dumpf wird. Es bleibt ein sauberer Mix, der in sich kompakter wirkt, feine Details aufweist und einen großen Schritt räumlich nach vorne rückt. Die Snare einer Schlagzeugspur bekommt deutlich Kontur und wird als ‚anfassbares‘ Objekt zum Hörer gezogen. Das Signal wirkt plastisch und in der Lokalisation sortierter. Das TM233 schafft es, diese Kompression sehr gut nachzubilden. Es kommt zu einem schönen runden Klangbild mit einer vergleichbaren Transientenbehandlung. Diesen Effekt, den man mit keinem klassischen Kompressor erreichen kann, ist den Einsatz des TM233 bereits wert. Allerdings schafft es TM233 nicht, diese enorme Plastizität in die Lokalisation hinein zu bringen. Einzelne Signalteile bleiben differenziert, aber werden nicht in ihrer stereophonen Abbildung herausgearbeitet. Satin reagiert hier anders. Basierend auf den Werten, die wir zur Angleichung an die M15A gewählt haben, bleibt das Plug-In deutlich subtiler, weniger drastisch. Die Kompressionswirkung ist deutlich geringer, was sich auch in der Messung gezeigt hat. Interessanterweise ist diese Subtilität ein großer Vorteil für das Anwendungsgebiet von Satin. Denn so lassen sich viele Instanzen in die einzelnen Kanäle einer Mischung einbinden, ohne dass eine sprichwörtliche ‚Übersättigung‘ beim Hörer eintritt. Außer der Reihe haben wir in einem Mehrkanalversuch ein sehr angenehmes Klangbild generieren können. Tatsächlich zeigt sich hier, warum das Plug-In Satin heißt. Die Summe der bearbeiteten Spuren wirkt wie mit einem feinen Satin-Schleier überzogen. Sehr subtil, sehr angenehm, sehr feinfühlig. Satin scheint für die Mehrkanalanwendung prädestiniert.

Beide Testkandidaten spielen ihre große Stärke aus, sobald man sich vom Ziel der Nachbildung löst und beginnt mit den Parametern zu spielen. Mit drastischen Eingriffen kann man sich durch eine ganze Welt von verschiedenen Effekten drehen, die alle immer tatsächlich an Band erinnern, obwohl dies schnell keine Rolle mehr spielt. Drastische Curve-Werte im TM233 schieben aggressive Rockdrums zusammen, verschiedene Entzerrungskurven in Satin (vor allem bei der Variation zwischen Ein- und Ausgangsfilterung) geben elektronischen Beats Charakter und beleben sterile Synthesizerklänge. Es gibt tausende Möglichkeiten. Man liest vielleicht, dass wir viel Spaß hatten.

Preise und Verfügbarkeit

Das ADT-Audio Toolmod TM233 benötigt zum Betrieb natürlich einen Toolmod-Rahmen mit entsprechendem Netzteil. Alle Produkte sind direkt über den Hersteller, via dessen Website www.adt-audio.com und den dortigen Online-Shop

erhältlich. Das Modul TM233 kostet 1.850 Euro plus Mehrwertsteuer. Der kleinste 1HE-Trägerrahmen mit Netzteil liegt bei 380 Euro plus Steuer. Das Plug-In von U-HE steht ebenfalls direkt über den Online-Shop der Website www.u-he.com zum Download bereit und kostet 119 Euro, ebenfalls zuzüglich der Umsatzsteuer.

Fazit

Das Fazit am Ende ist eindeutig, aber in keiner Weise unbefriedigend. Unser Aufwand bei der Untersuchung des Tapesound war enorm. Wir haben uns viele Tage und Nächte theoretisch, praktisch und emotional mit dem Thema auseinandergesetzt. Am Ende stehe ich als Autor etwas verwirrt und doch erfreut da. Können Bandmaschinensimulationen meine geliebte Telefunken M15A ersetzen? Nein. Das können sie nicht. Egal ob analog oder digital, beide Konzepte sind unglaublich spannend, bieten klanglich hoch ansprechende Ergebnisse, sind in fast allen Fällen eine klare Bereicherung für das Signal. Aber sie können am Ende doch nicht das Gleiche, das ein paar hundert Meter Band liefert. Überraschend für uns ist dabei - wir wissen eigentlich nicht warum. Die Messungen beweisen, dass die Parameter dicht beieinander liegen. Sie beweisen, dass entscheidende Punkte beachtet wurden. Aber am Ende klingt ‚der Senkel‘ eben doch anders; und das nicht, weil er mehr oder weniger zerrt. Es ist davon auszugehen, dass sich solche Unterschiede im Mehrspurbetrieb potenzieren und daher auch manchmal zu viel werden können. Eine Bandmaschine wird weiterhin einen Effekt liefern, den wir nicht vollständig im Computer nachbilden können. Nicht umsonst sind Produkte wie Clasp, die eine direkte Einbindung einer echten Bandmaschine in eine Workstation erleichtern, beliebte Studiohelfer. Doch damit werden die von uns getesteten Bandmaschinensimulatoren in keiner Weise schlecht. Im Gegenteil, bieten beide Produkte doch eine Flexibilität in der Klanggestaltung, die meiner Telefunken niemals gelingen wird. Man merkt beiden Systemen an, dass sie mit enormem Aufwand und Blick für Details entwickelt wurden. Gerade zu U-HEs Satin vergleichbare Softwareprodukte stehen manchmal im Verdacht, hinter der schön gestalteten Grafikfront nur Verzerrer mit Equalizer zu sein. Davon können beide Kandidaten wirklich zweifelsfrei frei gesprochen werden. Beide sind spannende Konzepte mit tollem Klang und einem unglaublichen Entwicklungsaufwand. Nur ‚dieses Eine‘ haben beide nicht. Was das Eine ist, wissen wir nicht. Vielleicht liegt es in der Welt der Quanteneffekte, vielleicht auch nur in unseren völlig verkurbelten Gehirnen. Aber wir werden nicht aufhören danach zu forschen.



GÜNTHER THEILE, ABBILDUNGEN: GÜNTHER THEILE

DER KOPFHÖRER ALS ‚LAUTSPRECHER‘

BETRACHTUNGEN ZUR ANWENDUNG VON KOPFHÖRERN
IN DER STUDIO-PRODUKTIONSUMGEBUNG
(GEKÜRZTE FASSUNG EINES BEITRAGS AUS DEM VDT-MAGAZIN 2-2015)

Die Kopfhörerwiedergabe bietet gegenüber der Lautsprechersituation einige Vorteile und stellt hinsichtlich diverser prinzipieller und praktischer Aspekte in vielen Situationen die bessere Alternative dar. Sie wird entsprechend häufig gewählt, trotz einiger praktischer und systembedingter Nachteile – beispielsweise einer gewissen Lästigkeit des Kopfhörertragens, die sich auch mit hohem Tragekomfort und kabelloser Bluetooth-Technologie nicht beheben lässt. Vor allem stört die bekannte Lokalisiertheit des Hörereignisses im oder am Kopf, die sogenannte Im-Kopf-Lokalisation (IKL). Die mit Lautsprechern realisierbare räumliche Wahrnehmung ist nicht möglich, was natürlich für das Abhören von Mehrkanal-Aufnahmen besonders fehlt. Hinzu kommen das Mitwandern des Klangbilds bei Kopfdrehungen und die Kopfbezogenheit des Klangbilds, die ohne geeignete Tracking-Techniken unvermeidbar ist.

Im Abschnitt ‚Binaurale Raumsynthese – virtuelle Lautsprecherwiedergabe‘ wird auf entsprechende Gegenmaßnahmen näher eingegangen und gezeigt, dass die wesentlichen Nachteile der Kopfhörerwiedergabe mittels binauraler Darstellung virtueller Lautsprecher beseitigt werden können, so dass anspruchsvolles räumliches Hören unter ungünstigen Bedingungen möglich ist. Selbst die Lästigkeit des Kopfhörers trägtens könnte zukünftig im Regieraum dank eines virtuellen Kopfhörers vermeidbar sein, der mittels Schallfeldsynthese- und Tracking-Verfahren an den Ohren des Hörers generiert wird.

Vorteile des Kopfhörers

Aber auch ohne die virtuelle Technik hat die Kopfhörerwiedergabe in vielen Fällen entscheidende Vorteile. Das sind nicht nur die frei wählbare Abhörlautstärke ohne Belästigung des Umfeldes, die Schalldämmung geschlossener Kopfhörer (die mit aktiver Störschallunterdrückung stark unterstützt werden kann), oder dass mit Kopfhörern an verschiedenen Orten auch für größere Hörerzahlen absolut gleiche Abhörbedingungen hergestellt werden können. Eine hohe Bedeutung hat die Tatsache, dass die Akustik des Wiedergaberaums keinen Einfluss auf die Wiedergabe hat. Deshalb können bestimmte Störgeräusche oder andere Audioartefakte, wie zum Beispiel Bitfehler oder Codier-Artefakte mit Kopfhörern besser erkannt werden als mit Lautsprechern. Die unmittelbare akustische Ankopplung der Schallwandler an die Ohreingänge gewährleistet vorteilhafte Voraussetzungen für eine hochwertige, definierte Wiedergabe, insbesondere in Hinblick auf Abbildungsschärfe und Klangfarbe.

Abbildungsschärfe

Die Abbildungsschärfe kennzeichnet die maximal erreichbare räumliche Auflösung des Klangbildes. Der Tonmeister weiß, dass bereits Nearfield-Monitoring die Transparenz erhöht, weil der Einfluss des indirekten Schalls im Wiedergaberaum reduziert ist. Dieser Effekt ist natürlich besonders deutlich bei Kopfhörerwiedergabe, wie entsprechende Hörtests auch quantitativ nachgewiesen haben. Verglichen wurden die Hörereignisausdehnungen bei Darbietung eines Rauschsignals A mit einem Rauschsignal B. Abbildung 1 zeigt die relative Anzahl der richtig erkannten Unterschiede für Kopfhörerwiedergabe im Vergleich zur Lautsprecherwiedergabe. Man sieht, in welchem Maße der Kopfhörer eine höhere Abbildungsschärfe als Lautsprecher im Regieraum gewährleisten kann, besonders im Vergleich zur ‚normalen‘ Drei-Meter-Anordnung.

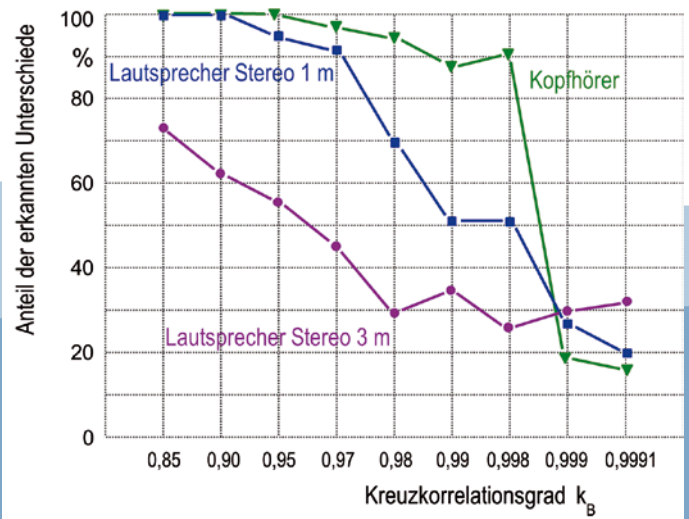


Abb. 1: Abbildungsschärfe bei Wiedergabe mit Kopfhörer und mit Lautsprechern im Regieraum (Nachhallzeit 0,4 s, Stereoanordnung 1 m bzw. 3 m). Erkannte Unterschiede in % beim Vergleich des Referenzsignals A (Kreuzkorrelationsgrad $k_A = 1,0000$) mit einem Vergleichssignal B (Kreuzkorrelationsgrade k_B).

Klangfarbe

Um für Lautsprecherwiedergabe die Wirkung von Raummoden, Reflexionen und Nachhall insbesondere auf die Klangfarbe so gering wie möglich zu halten, müssen aufwändige raumakustische Vorkehrungen getroffen werden. Deshalb sind in Produktionsräumen beispielsweise störende frühe Reflexionen und längere Nachhallzeiten auf physikalischem Weg zu vermeiden, und Standards legen die relevanten physikalischen Parameter mit dem Ziel fest, in unterschiedlichen Räumen einheitliche Bedingungen für eine klangneutrale Lautsprecherwiedergabe zu gewährleisten. In der Praxis gelingt dies jedoch meistens nicht. Selbst teure Abhörräume, die den Mindestanforderungen gemäß EBU Doc. Tech 3276 genügen, garantieren kein einheitliches und neutrales Klangbild, wie beispielsweise Hörvergleichstests an zehn verschiedenen Abhörräumen der EBU gezeigt haben.

Das Gehör verarbeitet die Spektren, Zeitverläufe und Schalleinfallrichtungen von Direktschall und reflektiertem Schall in höchst komplexer Weise, wobei die Phänomene des räumlichen Hörens eine entscheidende Rolle spielen. Abhängig davon entsteht die Klangfarbe des Hörereignisses. Es ist also nicht möglich, die Raumimpulsantwort am Hörort zu messen und daraus eine für den gesamten Raum gültige Entzerrung abzuleiten. Aus dem gleichen Grund kann kein derartiges Messergebnis zur Entzerrung eines Kopfhörers mit dem Ziel einer klangneutralen Wiedergabe

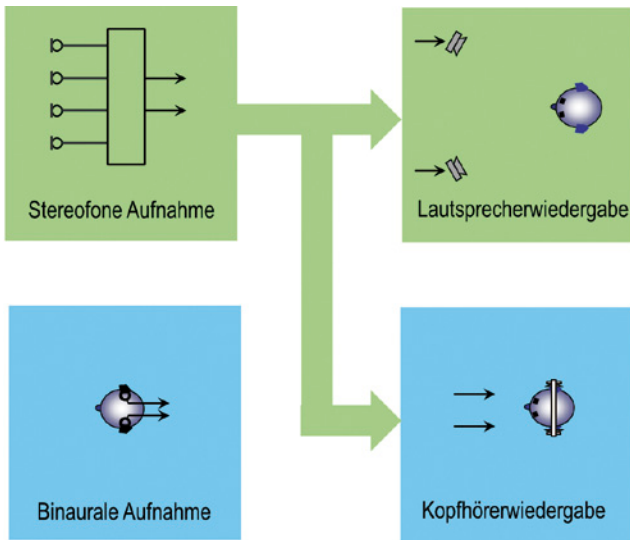


Abb. 2:
Das Kompatibilitätsproblem an der Schnittstelle von raum- und kopfbezogenen Übertragungsverfahren, hier für den Fall der Wiedergabe von stereofonen Signalen mit Kopfhörern. Die Klangfarbe beruht bei Kopfhörerwiedergabe auf anderen Ohrsignalmerkmalen als beim Hören im Wiedergaberaum

be herangezogen werden. Stereofone Aufnahmen werden für Lautsprecher im Raum unter definierten Bedingungen gemischt und enthalten deshalb eine dafür vom Tonmeister hergestellte ‚Entzerrung‘, die für den benutzten Regieraum das optimale Ergebnis liefert. In Abbildung 2 ist die Situation skizziert: Die für binaurale Aufnahmen prädestinierte Kopfhörerwiedergabe ist im Prinzip unverträglich mit stereofonen Aufnahmen, die für Lautsprecherwiedergabe gemacht sind. Dies macht ein Vergleich der Spektren in den Ohrkanälen deutlich. Die Spektren unterscheiden sich für Lautsprecher- und Kopfhörerwiedergabe infolge des Schallfelds im Wiedergaberaum sowie der Wirkung des Außenohrs gewaltig, obwohl in beiden Fällen die gleiche Klangfarbe eines Hörereignisses wahrgenommen wird – dabei allerdings räumlich sehr verschieden, einerseits als Phantomschallquelle zwischen den Lautsprechern und andererseits als ‚Phantomschallquelle im Kopf‘.

Die komplexen Ohrsignaleigenschaften bei Lautsprecherwiedergabe lassen sich für Kopfhörerwiedergabe nur hinreichend genau nachbilden, indem die stereofone Lautsprechereanordnung einschließlich der Wirkung des Wiedergaberaums mit Hilfe der Binauraltechnik virtuell dargestellt und entsprechende Außerkopf-Lokalisation (AKL) erzielt wird. Gelingt dies unzureichend, resultiert daraus Klangfärbung. Diese Lösung fällt natürlich für die elektroakustische Entzerrung der Wandler des Kopfhörers aus. Jedoch ist mit der Spezifikation der sogenannten Diffusfeldentzerrung ein Weg gefunden worden, die linearen Verzerrungen des Kopfhörers zu definieren, so dass sich verfärbungsfreie Kopfhörerwiedergabe stereofoner Signale messtechnisch

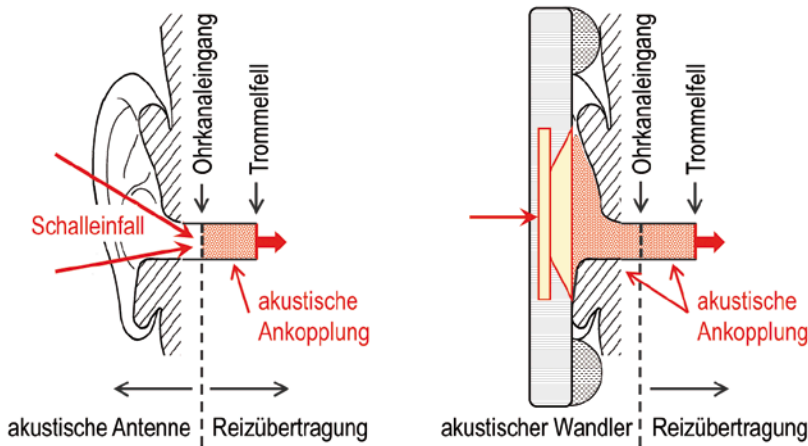


Abb. 3:
Beim Hören mit Kopfhörern (rechtes Bild) wird die richtungsabhängige akustische Antenne vor dem Ohrkanaleingang durch den akustischen Wandler, d. h. durch eine richtungsunabhängige akustische Ankopplung ersetzt. Der Ohrkanaleingang ist die physikalisch definierte Schnittstelle zwischen Außenohr und Gehör

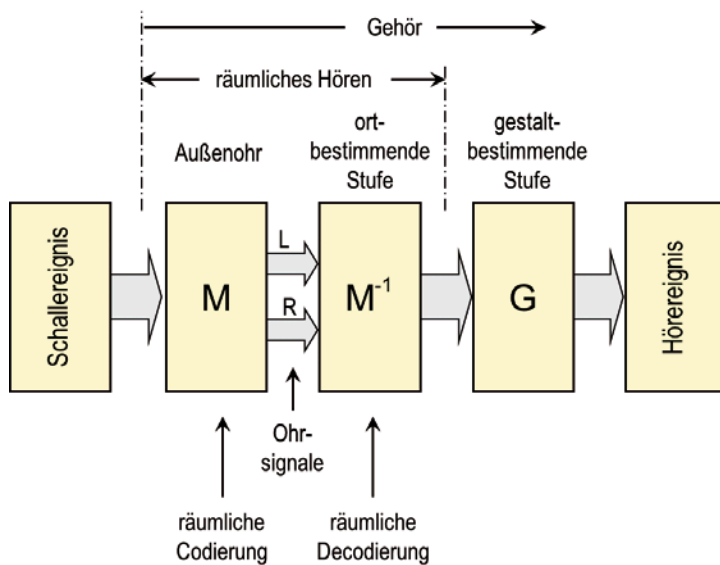


Abb. 4:
Wirkungsweise des Gehörs beim natürlichen Hören. Die Ohrsignale an den Ohrkanaleingängen (s. Abb. 3) gelangen an die ortbestimmende Verarbeitungsstufe M^{-1} , wo die durch die Filterfunktion M des Außenohrs aufgeprägten räumlichen Merkmale ausgewertet und aufgehoben werden. Damit hat das Außenohr prinzipiell keinen Einfluss auf die ‚Gestalt‘ des Hörereignisses, beispielsweise auf die Klangfarbe

gewährleisten lässt. Der Standard ITU-R BS.708 für Studio-Kopfhörer vermeidet sowohl den Bezug auf eine Schallquelle im Freifeld als auch den Bezug auf das Schallfeld im Lautsprecher-Wiedergaberaum. Vielmehr basiert er auf der besonders vorteilhaften Eigenschaft des Kopfhörers, dass die Wirkung des Außenohrs im Schallfeld auf das Ohrsignal vollständig unterdrückt wird (Abb. 3) und deshalb im Prinzip lediglich eine verzerrungsfreie Ankopplung des Kopfhörerwandlers an den Ohrkanal zu fordern ist. Dies wird in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

Weshalb hören wir das Klangerlebnis im Kopf?

Infolge der Wirkung des Außenohrs (der ‚akustischen Antenne‘, Abb. 3 links) im Schallfeld erhält das Gehör über beide Ohren monaurale und binaurale räumliche Informationen, die den Prozess der Lokalisation einzelner Hörereignisse ermöglichen. In den Schallwegen zwischen der Quelle und den Ohrkanaleingängen befinden sich die durch Kopf und Ohrmuscheln gebildeten akustischen Filter, (‘Head Related Transfer Function‘, HRTF). Im Assoziationsmodell wird ihre Funktion als Form der Codierung räumlicher Information aufgefasst, dargestellt als Matrix ‚M‘ in Abbildung 4.

In der ortbestimmenden Stufe des Modells wird die durch M erzeugte räumliche Information ‚erkannt‘ (basierend auf Kreuz- und Autokorrelationen und Vergleich des aktuellen Korrelationsmusters mit gespeicherten Mustern), so dass eine räumliche Decodierung mit Hilfe eines adaptiven Filters M^{-1} erfolgen kann. Hier werden die Signale von den Ortsmerkmalen wieder befreit und danach der höher gelagerten gestaltbestimmenden Stufe zugeführt, getrennt von den gewonnenen Richtungs- und Entfernungsinformationen. Diese Signalauswertung geschieht spontan, sobald die Ohrsignale räumliche Merkmale enthalten. Ein Lausprecher, der hinreichend breitbandige Signale abstrahlt, erzeugt ein Hörereignis außerhalb des Kopfes – die monauralen und binauralen Merkmale prägen den Lokalisationsreiz, der die Lokalisation hinsichtlich Richtung und Entfernung auslöst. Das im Wiedergaberaum vorhandene Reflektionsmuster unterstützt die Ausprägung des Lokalisationsreizes, besonders bei guter Raumakustik, und ermöglicht demzufolge eine stabile Lokalisation auch hinsichtlich der Entfernung.

Befindet sich der Lautsprecher direkt am Ohr, so ist das der Grenzfall ‚Entfernung Null‘: Diese ist definiert mit den Begrenzungsflächen des Empfängers, also des Außenohrs. Die Hörereignisentfernung ‚Null‘ kann sich nicht im Koor-

dinatenursprung in der Mitte des Kopfes befinden, denn einen Lokalisationsreiz im Kopf gibt es nicht, das widerspricht der Hörerfahrung. Demzufolge erklärt sich die Im-Kopf-Lokalisation einfach mit einer ‚Phantomschallquelle im Kopf‘. Wir erleben die stereofone Darbietung über Kopfhörer also im Kopf, weil die stereofonen Signale keine Lokalisationsreize enthalten. Dies ändert sich, sobald binaurale Signale (zum Beispiel Kunstkopfaufnahmen) dargeboten werden.

Konsequenzen für die Kopfhörerentzerrung

Wendet man die oben beschriebene Wirkungsweise auf die Bildung der Klangfarbe an, so erklärt sie ein für uns selbstverständliches, aber trotzdem erstaunliches Phänomen. Verändert man, beispielsweise durch Kopfbewegungen, die Schalleinfallrichtung einer Schallquelle, so verändern sich dadurch die Spektren der Ohrsignale entsprechend der Richtcharakteristik der Ohren. Der Hörer nimmt die spektralen Veränderungen jedoch kaum oder gar nicht als entsprechende Klangfarbenänderungen wahr. Das Gehör verrechnet die Änderungen der Ohrsignale zu Änderungen der Hörereignisrichtung. Vor der Klangfarbenbestimmung erfolgt im Gehör die ortsabhängige Filterung, so dass nicht der Reiz am Ohrkanaleingang die Klangfarbe bestimmt. Vielmehr identifiziert das Gehör die Klangfarbe der (entfernten) Schallquelle.

Diffusfeldentzerrung

Im Fall der Kopfhörerdarbietung ist die ortsabhängige Übertragungsfunktion des Außenohrs durch eine ortsunabhängige, konstante Übertragungsfunktion des Kopfhörers ersetzt. Wenn keine binauralen Signale wiedergegeben werden, erkennt die ortbestimmende Stufe nichts weiter als die beiden Kopfhörerkapseln rechts und links an den Ohren, es ist $M^{-1} = 1$. Gemäß Abbildung 4 können Klangfarbenfehler daher nur vermieden werden, wenn die Entzerrung (das Signalverhältnis zwischen Ohrkanaleingang und Kopfhörereingang, vgl. Abb. 3) des Kopfhörers $M_k = 1$ ist. Doch praktisch gibt es aus zwei Gründen Schwierigkeiten: Der Ohrkanaleingang ist anatomisch nicht genau definierbar und die Messsonde kann nicht rückwirkungsfrei am Ohrkanaleingang platziert werden. Diese Schwierigkeiten lassen sich umgehen: Der Ohrkanaleingang wird nicht anatomisch, sondern physikalisch definiert (Abb. 5 links). Für jede Schalleinfallrichtung setzt sich die im Ohrkanal bis zum Messpunkt S gemessene Übertragungsfunktion aus

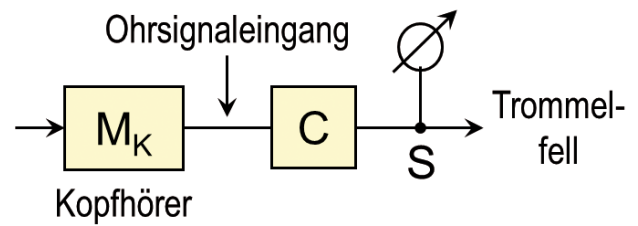
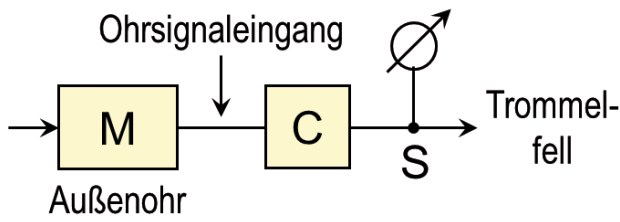


Abb. 5:
Ersatzschaltbild für die Messung der Übertragungsfunktionen (vgl. Abb. 3).
 $M = M(\Omega)$: Übertragungsfunktion des Außenohrs
 M_K : Übertragungsfunktion des Kopfhörers
 C : Übertragungsfunktion zwischen Ohrkanaleingang und Messpunkt S

dem richtungsspezifischen Anteil M und dem konstanten Anteil C zusammen. Bei unendlich vielen Schalleinfallrichtungen (im Diffusfeld) geht daher der richtungsspezifische Anteil M gegen 1.

Im Fall der Kopfhörerbeschallung (Abb. 5 rechts) ist C normalerweise ebenso groß wie im Schallfeld (Abb. 5 links), wenn an derselben Stelle S des Ohrkanals gemessen wird. Deshalb ist die Kopfhörerübertragungsfunktion, gemessen an beliebiger Stelle im Ohrkanal, gleich der Diffusfeldübertragungsfunktion des Ohres, gemessen an der gleichen Stelle im Ohrkanal. So ist das Kopfhörerübertragungsmaß frequenzunabhängig. Damit sind lineare Verzerrungen bei Kopfhörerwiedergabe physikalisch als Abweichung des Kopfhörerübertragungsmaßes vom Außenohrübertragungsmaß im diffusen Schallfeld definiert. Lineare Verzerrungen bei Kopfhörerwiedergabe sind deshalb physikalisch messbar.

Diffusfeld-Übertragungsmaß für Studio-Kopfhörer

Die oben beschriebenen Erkenntnisse sind in den Standard für Studio-Kopfhörer ITU-REC BS.708 eingeflossen. Um lineare Verzerrungen auszuschließen, muss der physikalisch definierte Frequenzgang des Kopfhörer-Übertragungsmaßes mit dem des Außenohr-Übertragungsmaßes im diffusen Schallfeld übereinstimmen. Zur Messung sind Schalldruckmessungen im Gehörgang von Versuchspersonen mit Hilfe eines Sondenmikrofons besonders vorteilhaft. Im Gegensatz zum Übertragungsmaß eines Lautstärke-kalibrierten Kopfhörers stimmt das (mit linearem Frequenzgang gemessene) Übertragungsmaß des Schalldruck-kalibrierten Kopfhörers grundsätzlich mit dem entsprechenden Außenohr-Übertragungsmaß überein, und es lässt sich prinzipiell an Kopfhörer-Messkupplern reproduzieren, sofern diese die

physikalischen Verhältnisse der Kopfhörerankopplung an den Kopf nachbilden (Mess-Kunstköpfe).

Vergleich mit Lautsprecherwiedergabe

Die Reproduzierbarkeit des Klangbildes ist für Lautsprecherwiedergabe wegen der Unterschiedlichkeit der Lautsprecher und der Abhör- und Regieräume unerreichbar. Die mit ITU-R Recommendation BS.1116-1 festgelegten Mindestanforderungen für Hörtest-Abhörräume liegen deshalb weit unter den Möglichkeiten des Kopfhörers. Für die ‚Operational room response curve‘ am Hörort wird hier im Frequenzbereich 250 Hz bis 2 kHz ein Toleranzschlauch von ± 3 dB zugelassen, doppelt so breit wie für Kopfhörer (Abb. 6), und daher nicht geeignet, um Klangfärbung auszuschließen. Hinzu kommen notwendige Toleranzen für die Raumgröße und -geometrie, Nachhallzeit, frühe Reflexionen, die in der Praxis nur schwer einzuhalten sind. Aus diesem Grund wird in diesem Standard alternativ die Kopfhörerwiedergabe empfohlen gemäß ITU-Rec.BS.708.

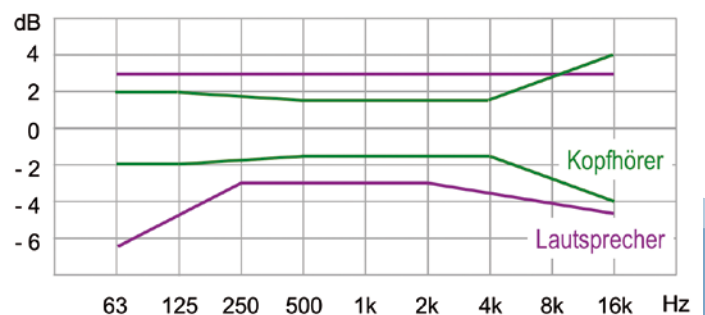


Abb. 6:
Frequenzgang-Toleranzen im Vergleich:
 Violett: Für den Schallpegel am Referenzpunkt in einem Abhörraum gemäß ITU-Rec.BS.1116
 Grün: Für das Diffusfeld-Übertragungsmaß eines Studio-Kopfhörers nach ITU-Rec.BS.708



Abb. 7: Prinzip des ‚Binaural Room Synthesis‘ (BRS) Verfahrens. Der Prozessor faltet gespeicherte binaurale Raumimpulsantworten, die Auswahl geschieht in Abhängigkeit von der Kopfausrichtung. Die Wiedergabe kann bei Bedarf mit einem Subwoofer für Tieftoneffekte (< 60 Hz) ergänzt werden

Ergebnis

Das mit ITU-Rec.BS.708 definierte ebene Diffusfeld-Übertragungsmaß gewährleistet die neutrale Wiedergabe stereofoner Signale und ein verfärbungsfreies, überall reproduzierbares Klangbild. In dieser Eigenschaft – verbunden mit den relativ geringen Kosten im Vergleich zum standardisierten Abhörraum – liegt der besondere Wert eines Studio-Kopfhörers. Gleichzeitig entspricht diese Kopfhörerentzerrung einer Anforderung, die im übertragenen Sinne für die Binauraltechnik gilt, sofern die binauralen Signale (zum Beispiel Kunstkopf-Aufnahmen) mit der Lautsprecherwiedergabe kompatibel sein müssen (vgl. Abb. 2). Auch der Kunstkopf muss entsprechend im Diffusfeld ein ebenes Übertragungsmaß aufweisen. Die Diffusfeldentzerrung definiert die universelle Schnittstelle zwischen stereofonen und binauralen Aufnahme- oder Wiedergabeverfahren. Die normgemäß gemessenen Übertragungsmaße machen verschiedene Kopfhörermodelle hinsichtlich ihrer Klangfarbenneutralität vergleichbar. Leider sind entsprechende Messergebnisse für die Mehrzahl der Modelle nicht vorhanden oder zumindest nicht veröffentlicht. Auch hochwertige Kopfhörer, die als ‚Diffusfeld-entzerrt‘ vermarktet werden, erfüllen diesen Anspruch zum großen Teil unbefriedigend. Offenbar ist Herstellern in vielen Fällen nicht unbedingt daran gelegen, die klanglich neutrale Entzerrung zu realisieren, sondern einen besonderen, attraktiven, gut verkäuflichen Klang.

Binaurale Raumsynthese – virtuelle Lautsprecherwiedergabe

Die verfärbungsfreie Wiedergabe stereofoner Signale, ein überall reproduzierbares Klangbild und die hohe Abbildungsschärfe eines Studio-Kopfhörers sind in vielen Situationen unverzichtbare Eigenschaften, die, wie wir inzwischen gelernt haben, insbesondere auf die direkte Ankopplung der Wandler an die Ohren zurückzuführen sind. Der re-

flektierte Schall im Abhörraum ist komplett ausgeblendet, ebenso das sogenannte ‚Übersprechen‘ des rechten Lautsprechersignals auf das linke Ohr und umgekehrt. Dies ermöglicht zwar eine ‚störungsfreie‘ und definierte Wiedergabe, jedoch als Kehrseite bei stereofonen Lautsprechersignalen nur ein kopfbezogenes und durch IKL (Im-Kopf-Lokalisation) geprägtes Klangbild. Die räumliche Wahrnehmung ist unvollständig bezüglich diverser Attribute wie Entfernung, Tiefe, Raumeindruck, Umhüllung. Der Kopfhörer ist im Prinzip untauglich für die vollständige Beurteilung einer stereofonen Mischung, auch hinsichtlich Lautstärke- und Hallbalance. Der Mangel ist natürlich besonders gravierend, wenn nur der einfache Downmix einer Mehrkanal-Aufnahme beurteilt werden kann, denn die technischen und künstlerischen Probleme für den Downmix verfälschen das Klangbild zusätzlich.

Diverse Verfahren wurden entwickelt und getestet, um diese Nachteile der Kopfhörerwiedergabe zu mildern oder zu beseitigen. Theoretisch naheliegend ist der Ansatz, die Entzerrung des Kopfhörers exakt auf eine bestimmte Lautsprecherposition abzustimmen, so dass an den Ohrkanaleingängen dieselben Signale gemessen werden wie bei entsprechender Lautsprecherdarbietung. Diese binaurale Synthese der Lautsprecher im Abhörraum erlaubt prinzipiell die fehlerfreie virtuelle Nachbildung der realen Lautsprecherwiedergabe und ist das Prinzip der ‚Binaural Room Synthesis‘ (BRS) Verfahren. Der erste praxistaugliche Prototyp eines BRS-Prozessors für binaurale 3/2-Stereo Kopfhörerwiedergabe wurde 1998 auf der 20. Tonmeistertagung vorgestellt (Abb. 7). Das Verfahren basiert auf einem speziellen Faltungsalgorithmus, und berücksichtigt Kopfdrehungen des Hörers durch Einbeziehung eines Head-Tracking Systems. Sämtliche relevanten Außenohr-Übertragungsfunktionen werden in einem gewünschten realen Abhörraum am Referenzort einer realen 3/2-Stereo Lautsprecheranordnung gemessen und stehen in einer Datenbank für die Faltung zur Verfügung.

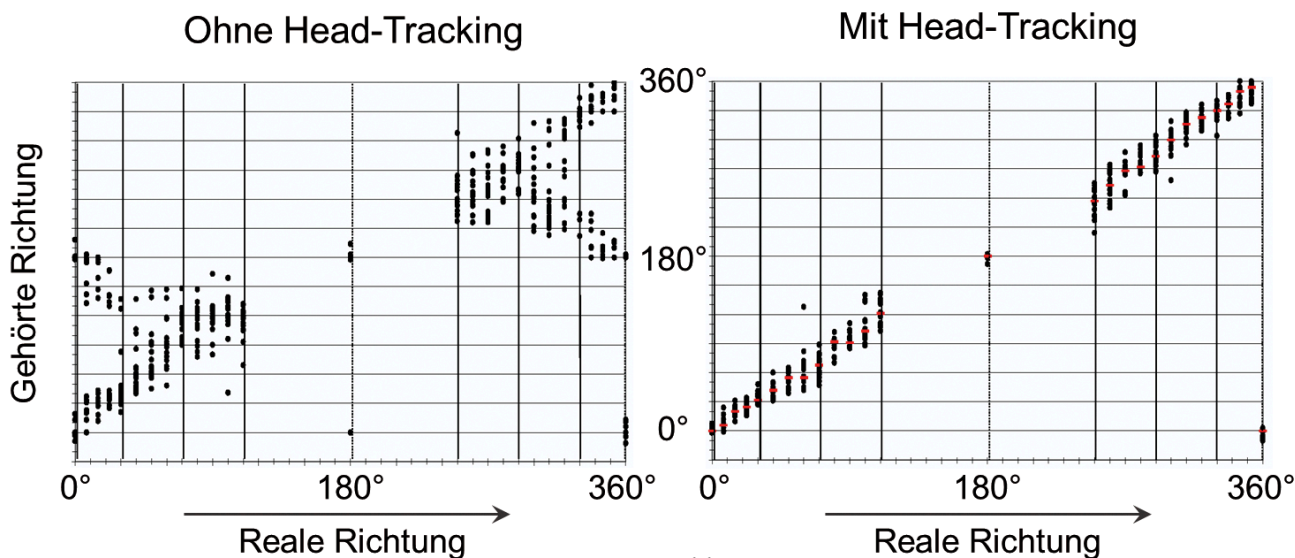


Abb. 8: Richtungswahrnehmung in der Horizontalebene für binaurale Signale ohne und mit Head-Tracking

Der Kern des BRS-Verfahrens ist eine Datenbank von binauralen Raumimpulsantworten (BRIR), die vorab am linken und rechten Ohr eines Kunstkopfs (oder einer Person) gemessen und katalogisiert werden. Die Messung erfolgt für jeden der Lautsprecher im Abhörraum und für verschiedene Kopfausrichtungen. Der Head-Tracker am Kopfhörer detektiert den Drehwinkel des Kopfes, so dass abhängig davon auf die aktuell relevanten BRIR-Datensätze zugegriffen und daraus die Faltungen berechnet werden können. Dieser Prozess muss ausreichend genau, schnell und störgeräuschfrei erfolgen, um eine realitätsgetreue Wiedergabe zu gewährleisten.

Im Verlauf der BRS-Entwicklung ist klar geworden, dass der Einsatz des Head-Trackers für die korrekte Lokalisation besonders in der Medianebene unverzichtbar ist. Die Abkehr von der kopfbezogenen zugunsten der raumbezogenen Wiedergabe erzielt nicht nur den (wünschenswerten) Erlebnis-Effekt, dass trotz der Kopfhörerwiedergabe der Center-Lautsprecher bei Kopfdrehung vorne bleibt. Vielmehr benötigt das Gehör die feinen dynamischen Ohrsignalmerkmale, die beim natürlichen Hören durch kleine spontane Drehbewegungen des Kopfes vorhanden sind. Ausgewertet werden sowohl für den Direktschall als auch für die frühen Reflexionen die monauralen Veränderungen im Frequenzspektrum der Ohrsignale, besonders aber die Veränderungen der interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen. Das Gehör benötigt Übereinstimmung der binauralen Informationen mit der taktilen Information über die Kopfbewegung. Bei herkömmlichen Kunstkopfaufnahmen mit starrem Kunstkopf sind derartige Peil- oder Korrekturbewegungen des Kopfes nicht

möglich. Daher können Phänomene wie Im-Kopf-Lokalisation oder – beim Fehlen passender interauraler Merkmale – Vorn-hinten-Vertauschung auftreten. Abb. 8 zeigt entsprechende Untersuchungsergebnisse. Die Lokalisation ist ohne Head-Tracking stark beeinträchtigt, die Streuung der Urteile wesentlich höher. Im Bereich der Medianebene (0 Grad) sind die Unsicherheit und die hohe Zahl an Vorn-hinten-Vertauschungen besonders groß.

Der mit Head-Tracking verbundene Rechenaufwand lässt sich beachtlich reduzieren, wenn die Toleranz des Gehörs gegenüber verschiedenen Vereinfachungen bekannt ist. So ist der Grenzwert für die maximale Latenzzeit eine wichtige Größe. Bei der Wiedergabe von stationären Schallquellen hätte eine zu langsame Berechnung der binauralen Signale und eine schnelle Kopfdrehung ein ‚Nachschleppen‘ des Hörereignisorts zur Folge. In einer speziellen Testreihe wurde die Wahrnehmbarkeitsschwelle für diesen Effekt ermittelt, sie liegt bei etwa 85 ms. Ferner muss nicht die gesamte Länge der Raumimpulsantwort dynamisch gefaltet werden, sondern lediglich der erste Zeitabschnitt von circa 30 bis 40 ms, der den Direktschall und die frühen Reflexionen enthält. Für den Nachhall reicht die statische Faltung. Die BRS-Technologie erweitert den praktischen Anwendungsbereich der (Studio)-Kopfhörer gewaltig. Die wesentlichen der eingangs erwähnten Nachteile sind beseitigt. Das Klangbild eines beliebigen Abhörraums lässt sich mit hoher Präzision virtuell darstellen. Damit eröffnet sich sogar die Möglichkeit, einen kostengünstigen Abhörstandard zu definieren, der auch in akustisch und geometrisch un-

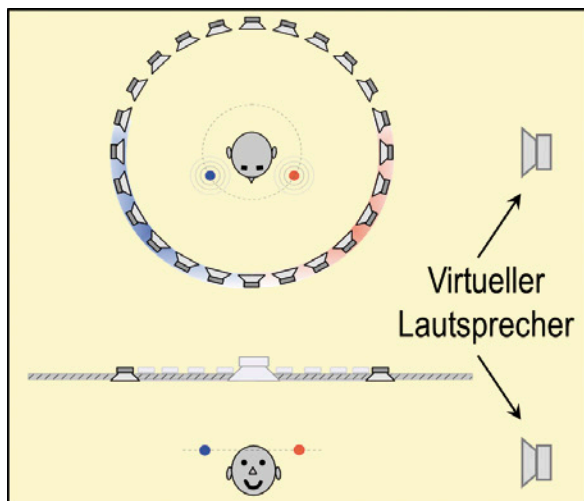


Abb. 9:
Prinzip des Binaural Sky (links). Ein WFS-Array über dem Hörer erzeugt vor den Ohren fokussierte Quellen (roter und blauer Punkt), die anstelle des Kopfhörers die BRS-Signale wiedergeben. Damit gelingt unter der Scheibe (rechts) die binaurale Auralisation eines Abhörraums ohne das Tragen eines Kopfhörers.

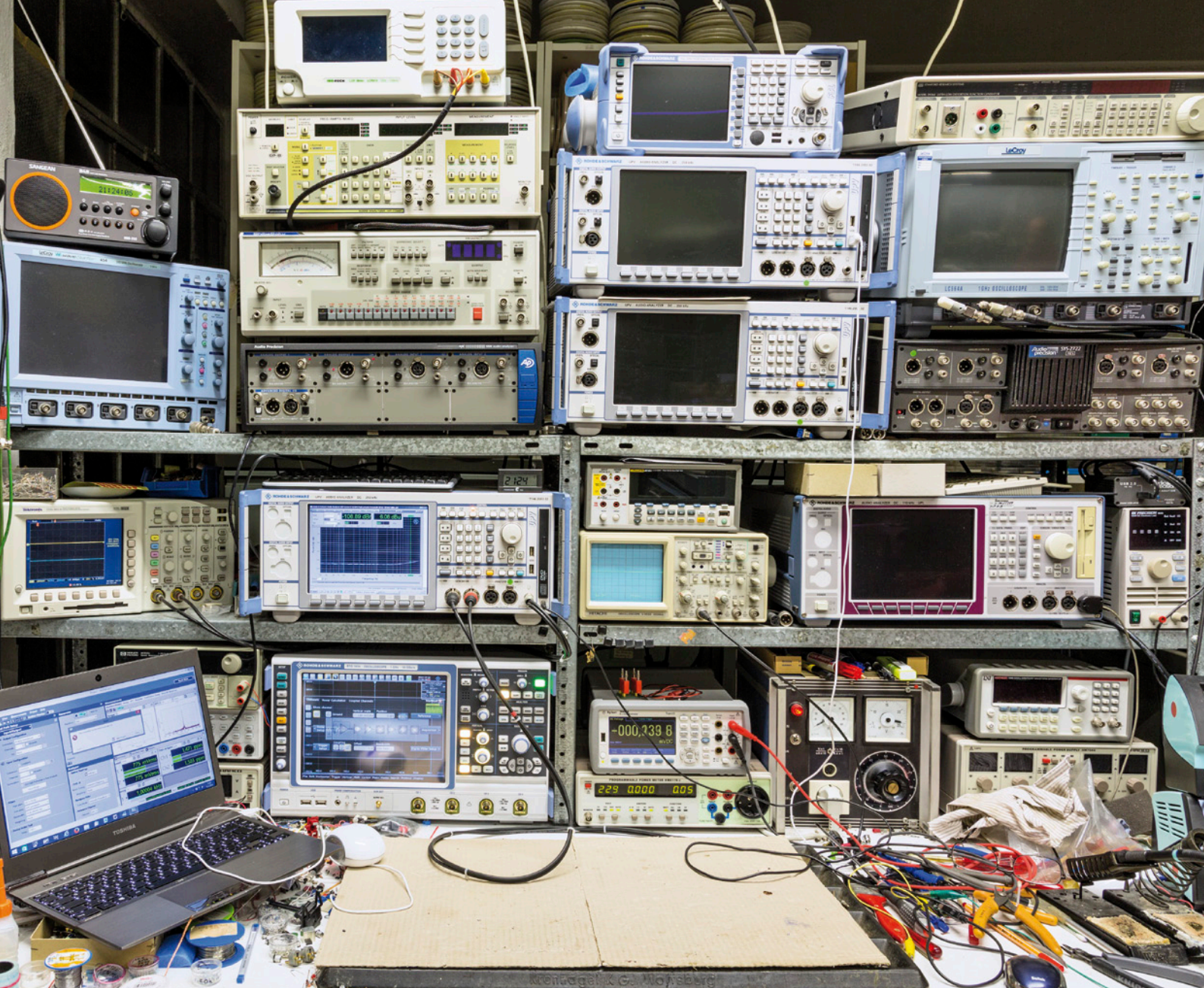
günstigen Räumen die Wiedergabequalität eines aufwändig gestalteten Referenzraums gewährleistet. Die Reproduzierbarkeit ist mit der Standardisierung von Lautsprechern und Abhörräumen höher als zurzeit möglich. Dieser Aspekt hat vor dem Hintergrund der heute existierenden Mehrkanal-Tonformate ein besonderes Gewicht.

Virtuelle Abhörräume erlauben zudem eine hohe Flexibilität in der Wahl der Tonformate. Deren Anzahl ist im Prinzip unbegrenzt, alle Lautsprecherkonfigurationen können gespeichert und benutzt werden. Verschiedene Ausgestaltungen der BRS-Technologie sind inzwischen auf dem Markt. Einfache Geräte arbeiten ohne Head-Tracker, so dass das kopfbezogene Klangbild erhalten bleibt, die spontane stabile Vorne-Lokalisation aber nicht möglich ist. Die im IRT entwickelte professionelle VST-Plug-In Lösung für Windows PC erfordert einen präzisen Head-Tracker und einen hochwertigen Studiokopfhörer mit Diffusfeld-Entzerrung gemäß ITU-R BS 708. Die Messung der Raumimpulsantworten erfolgt mit einem Diffusfeld-entzerrten Kunstkopf. Die damit erreichbare Wiedergabequalität entspricht nahezu eins zu eins der Wiedergabe im 5.1 Original-Abhörraum. Eine ähnlich hervorragende Wiedergabequalität erzielt der ‚Smyth SVS Realizer‘. Diese Lösung basiert auf einer personalisierten Messung der Raumimpulsantworten und der Kopfhörerübertragungsfunktionen, so dass nicht mit den Ohren des Kunstkopfs gehört wird, sondern mit den eigenen Ohren. Der Kopfhörer muss hier daher auch nicht exakt Diffusfeld-entzerrt sein. Vorteilhaft ist auch die einfache Messprozedur. Der Anwender kann den Abhörraum mit wenig Aufwand selbst ‚scannen und mitnehmen‘.

Science Fiction – der virtuelle Kopfhörer

In manchen Anwendungen ist das Tragen eines Kopfhörers hinderlich, nicht möglich oder nicht gewollt, und deshalb erscheint ein BRS-System ohne Kopfhörer wünschenswert. Das Ziel ist erreichbar mit einer speziellen Ausgestaltung der Wellenfeldsynthese (WFS). Die realen Kopfhörerwandler an den Ohren des Hörers werden durch ‚fokussierte Quellen‘ ersetzt, die mit Hilfe eines über dem Hörer befindlichen WFS-Arrays gerendert werden. Der Schall lässt sich direkt vor den Ohren in einem Punkt konzentrieren, so dass ein ‚virtueller Kopfhörer‘ entsteht. Da die Richtung des Kopfes mit Hilfe des Trackers dynamisch ausgewertet und davon abhängig der passende WFS Renderingfilter verwendet wird, halten die fokussierten Quellen auch bei Kopfbewegungen immer eine stabile Position dicht an den Ohren des Hörers ein. Der virtuelle Kopfhörer ist wie der reale Kopfhörer Diffusfeld-entzerrt, passend zum Kunstkopf-basierten System gemäß IRT.

Die Kombination BRS-Technologie plus virtueller Kopfhörer wurde 2005 unter anderem von Helmut Wittek (Schoeps) vorgestellt. Mit dem so genannten ‚Binaural Sky‘ lassen sich stabile dreidimensionale Abhörsituationen mit beliebigen Quellenkonstellationen generieren, und zwar ohne störende Kopfhörer oder im Sichtfeld befindliche Lautsprecher. Der Hörer kann damit in eine virtuelle akustische Umgebung versetzt werden.



FRIEDEMANN KOOTZ, ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ, DIVERSE

M E S S W A H L

Vorstellung des Audio Precision APx555 Audio-Analyzers & Hintergrundbetrachtung zum Messen analoger und digitaler Audioparameter – Teil 1

Haben Sie schon einmal ein Gerät nicht gekauft, weil es in einem Studio Magazin Testbericht schlechte Messwerte attestiert bekommen hat? Je nach technischem Anspruch und der allgemeinen Herangehensweise an eine Neuerwerbung werden wahrscheinlich genauso viele Leser diese Frage mit Ja, wie mit Nein beantworten. Die Bereitstellung objektiv gemessener Audiowerte hat in unserem Heft eine inzwischen jahrzehntelange Tradition, die in den letzten Jahren von unserem Kollegen und Freund Dieter Kahlen und inzwischen von mir in jeder Ausgabe gepflegt wird. Dabei ist es immer wieder spannend zu sehen, wie manche Hersteller in ihrer Dokumentation ‚unliebsame‘ Werte mit Hilfe von etwas Interpretation gesund aussehen lassen oder sie schlicht unter den Teppich kehren. Selten ist es hingegen geworden, dass Werte tatsächlich sachlich falsch angegeben werden. Eine gute Entwicklung. Ebenso kann es vorkommen, dass nach unseren Tests Änderungen von Seiten des Entwicklerteams vorgenommen werden. Aber bevor das Ganze hier zu einer Selbstbeweihräucherung wird, erkläre ich Ihnen lieber, warum ich Sie eigentlich darauf hinweise.



Seit vielen Jahren nutzen wir für unsere Untersuchungen ein System Two Cascade des US-Amerikanischen Herstellers Audio Precision (AP). Dieses Gerät ist nicht mehr ganz neu, zählt aber bis heute von seinen technischen Werte zur Oberklasse dieser Systeme und die Serie des System Two wird bis heute weiter gepflegt und entwickelt. Dabei zielt die System Two Baureihe (inzwischen 2700-Serie) eher auf die Messtechnik in der Entwicklung ab. Für die Qualitätssicherung in der Fertigung bietet der Hersteller die APx-Serie, die eine einfachere Bedienung und eine deutlich umfangreichere Automatisierbarkeit bietet. Die Idee hinter APx ist, das Testgerät anzuschließen, eine automatische Testserie zu starten und am Ende ein grünes oder rotes Licht, für bestandenen oder durchgefallenen Test, zu erhalten. Nun hat der Hersteller vor einigen Wochen ein neues Messgerät vorgestellt, welches diese beiden Welten miteinander in Verbindung bringen soll. Ein System, welches die technischen Anforderungen eines Entwicklermessplatzes erfüllt und gleichzeitig die einfache Durchführung der Serienprüfung erlaubt. Dieses kleine Meisterwerk der Messtechnologie hört auf den Namen APx555.

Nun ist es für die meisten unserer Leser natürlich eine interessante Randinformation, dass es auf diesem Gebiet etwas Neues gibt, mangels Budget und Kontakt zur Materie, aber sicher nicht interessant, hier einen klassischen Testbericht zu lesen. Und, ganz nebenbei, sind wir mal ehrlich, wie würden wir ein Messgerät testen? Das neue mit dem alten untersuchen? Also war es klar, dass wir unsere persönliche Neugier (können Sie sich vorstellen, dass ich Gänsehaut bekam, als ich zum ersten Mal mit den technischen Fähigkeiten des APx555 konfrontiert wurde?) nur sinnvoll zu Papier bekommen würden, wenn sich ein Mehrwert für den Leser ergibt. Diese Artikelreihe soll nun der Mehrwert sein. Im Folgenden werden wir also mal einen Blick darauf werfen, was wir im Studio Magazin eigentlich immer messen. Welche Rolle bestimmte Messwerte spielen und wo ei-

gentlich die Grenzwerte liegen, die ein gutes von einem schlechten Gerät trennen. Zusätzlich sei dann erwähnt, wie genau und tief das neue APx555 den entsprechenden Messwert bestimmen kann, dazu aber konkret im nächsten Heft mehr. Auf diese Weise bekommen Sie einen Einblick in unsere technischen Kriterien, lernen etwas über gute und schlechte Audiotechnik und bekommen ganz nebenbei einen Eindruck davon, was AP da eigentlich veröffentlicht hat. Los geht es mit einer Erklärung der wichtigsten Messwerte.

Vom Messen

Sie kennen sicher den Spruch ‚wer viel misst, misst Mist‘. So oft man ihn gehört hat, so sehr weist er doch einen gewissen Wahrheitsgehalt auf. Jede einzelne Messung muss umfangreiche Randbedingungen erfüllen, da sie ansonsten verfälscht wird. Hinzu kommt, dass für die meisten Messungen gilt, dass sie auf verschiedene Art und unter verschiedenen Voraussetzungen genommen werden können. In Konsequenz muss der Messingenieur dafür sorgen, dass die herangezogenen Kriterien immer gleich und transparent sind, damit eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den Geräten gegeben ist. Das gelingt nicht immer, auch uns nicht, aber wir versuchen dabei unser Bestes. Ein Beispiel dafür ist die Angabe des Rauschpegels. So lange nicht dabei steht, wie groß die Bandbreite der Messung war, welches Pegelmessverfahren und welche zusätzlichen Bewertungskriterien zum Einsatz kamen, nützt die Messung nichts. ‚Das Gerät ist mit -97 dB sehr rauscharm‘ ist also keine sinnvolle Aussage. Stattdessen lautet die vollständige Beschreibung ‚der Rauschpegel liegt bei -97 dBu RMS unbewertet (22 Hz bis 22 kHz Bandbreite)‘. Nimmt man es ganz genau, so muss der Abschlusswiderstand am Eingang zusätzlich benannt werden. In Europa werden Mikrofoneingänge standardmäßig mit 200 Ohm abgeschlossen, deshalb verzichten wir meist auf diese Angabe. Vor allem in den USA ist hingegen der Abschluss mit 150 Ohm weit verbreitet, wodurch zum Beispiel die Werte für das äquivalente Eingangsrauschen unter ansonsten gleichen Rahmenbedingungen um bis zu 1,3 dB besser sein können. Wir können nicht immer jeden Wert angeben, denn manchmal weisen Geräte Besonderheiten auf, die nicht alle Messungen erlauben oder einen direkten Vergleich nicht sinnvoll möglich machen. Und natürlich ist es auch aus Platzgründen nicht denkbar, in jeder Ausgabe den vollständigen Satz an Messungen zu veröffentlichen. Zumal sich die Kriterien bei manchen Parametern in ihrer Bewertung durchaus verändert haben. Als der Rundfunk hierzulande noch

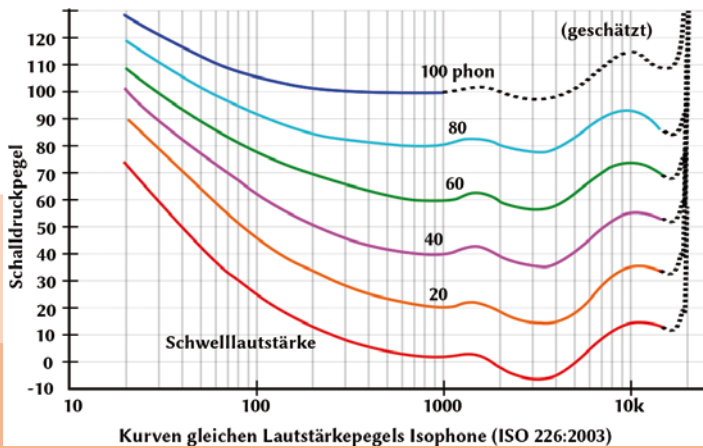


Abbildung 1: Kurven gleicher Lautstärkepegel nach aktueller ISO-Norm (Quelle: Wikipedia)

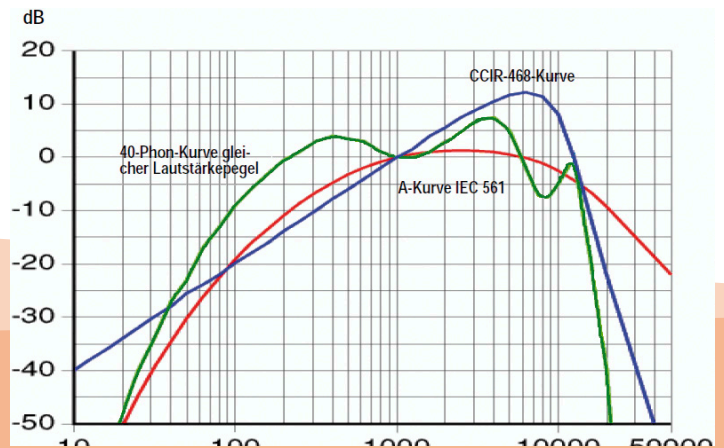


Abbildung 2: Die inverse Kurve gleicher Lautstärkepegel bei 40 Phon (grün), Filterkurven der A-Bewertung (rot) und CCIR-468-Bewertung (blau) (Quelle: www.sengpielaudio.com)

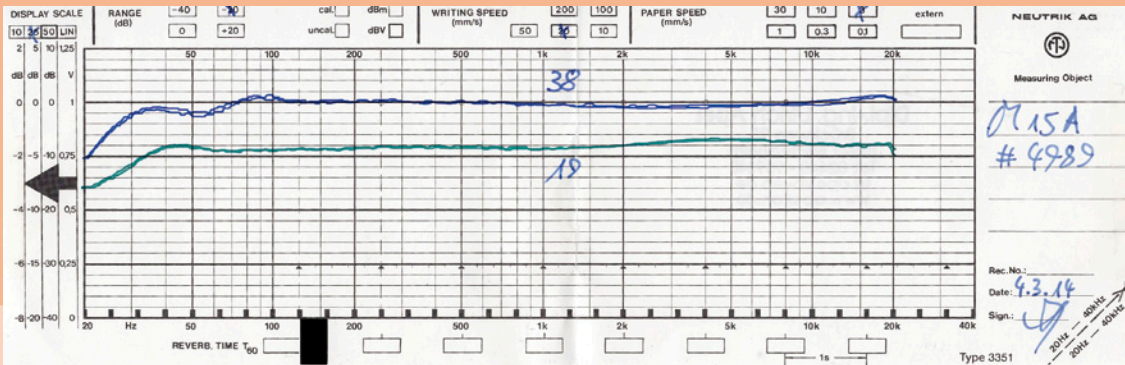


Abbildung 3: Amplitudenfrequenzgang unserer Hausbandmaschine M15A. Gut zu sehen sind die Über- und Unterschwinger im unteren Frequenzbereich, verursacht durch Tonköpfe und Band

der größte Abnehmer für tontechnische Geräte war, waren die Anforderungen des IRT-Pflichtenhefts beispielsweise noch die Referenz für jeden Hersteller. Heutzutage interessiert sich kaum noch jemand für zum Beispiel eine Hörsperre gegen HF-Störungen. Im Gegenteil erscheint ein offener Frequenzgang bis in die hunderte Kilohertz eher erstrebenswert. Ob dies immer so sinnvoll ist, lassen wir an dieser Stelle als völlig provokationsfrei gemeinte Frage einfach im Raum stehen.

Bewertungsfilter

Die meisten unserer Messungen erfolgen linear innerhalb der angegebenen Frequenzbandbreite. Das bedeutet, dass alle auftretenden Frequenzbereiche gleich stark auf das Gesamtergebn einwirken. Dies ist oft, aber nicht immer sinnvoll. Für verschiedene Anwendungen gibt es daher eine Vielzahl an Filterkurven, die den eingehenden, zunächst linearen Frequenzgang verändern. In die eigentliche Bewertung fließen damit von der Filterung unterdrückte Frequenzbänder nur mit geringerer Auswirkung ein. Das bekannteste Beispiel einer solchen Bewertungsfilterfunktion ist die sogenannte A-Bewertung. Sie stellt eine Annäherung

an die inverse Kurve gleicher Lautstärkepegel bei 20 bis 40 Phon dar (Abbildung 1). Ein Schritt zurück. Der menschliche Gehörsinn ist nicht für jede Frequenz gleich empfindlich. Vor allem der Bereich der Tiefen (unterhalb von 100 Hz) wird deutlich schlechter wahrgenommen, als zum Beispiel der Hauptfrequenzbereich der Sprache. Dies hat entwicklungsbiologisch sicher seine Ursachen im evolutionären Vorteil hoher Sprachverständlichkeit und Wahrnehmbarkeit der Laute anderer Gattungsgenossen (zum Beispiel der eigenen Babys). Zu allem Übel verändert sich die frequenzbezogene Wahrnehmungsempfindlichkeit auch noch mit dem Absolutpegel, aber dies sei hier nur am Rande erwähnt. Nimmt man nun ein Rauschsignal als Beispiel, so ist es schon die Frage, ob es sinnvoll ist, seine Energie breitbandig zu bewerten, wenn die tiefen Anteile gar nicht so stark wahrgenommen werden können. Aus diesem Grunde nimmt man die A-Bewertung zur Hilfe, bei der die Signalanteile an die Hörkurve angenähert reduziert werden. Für die geringen Pegel bei der Rauschmessung ist die A-Bewertung durchaus legitim. Der schöne Nebeneffekt dabei ist, dass der Messwert natürlich gegenüber der unbewerteten Variante etwas absinkt. Eine Umrechnung ist hier nicht möglich, aber bei einem störungsfreien Rauschspek-

trum liegt der Gewinn im Bereich von 1 bis 2 dB gegenüber der unbewerteten Messung. Problematisch wird die bewertete Messung, wenn sie nicht eindeutig gekennzeichnet ist. Der Anwender wird so von einem tollen Messwert an der Nase herum geführt. Die Bewertungskurven B, C und D folgen übrigens demselben Schema und stellen die inversen Filterfunktionen zu höheren Lautstärkepegeln dar. In der tontechnischen Praxis finden sie nur selten Anwendung, in der Rauschmessung am Gerät nie. Es gibt jedoch noch eine andere Frequenzbewertungskurve, die hierfür eine wichtige Rolle spielt, die CCIR 468(-3) Bewertung. Auch hier lag die 20 bis 40 Phon Kurve gleicher Lautstärkepegel zu Grunde, für die Rauschmessung gut geeignet (Abbildung 2). Sie ist in ihrem Verlauf vor allem im Bereich der höchsten Empfindlichkeit des Gehörsinns etwas genauer. Der große Unterschied liegt im angewandten Pegelmessverfahren. Im Studio Magazin werden alle Rauschmessungen stets unbewertet durchgeführt. Allerdings ziehen wir immer auch die CCIR-Bewertung zum Vergleich heran, da sie einen guten Indikator liefert, ob das Rauschspektrum linear ist oder tonale Störungen oder Betonungen eines Frequenzbereichs aufweist. Da wir das Rauschspektrum jedoch separat dokumentieren, ist seine Relevanz im Heft nicht so hoch, wie bei einer Messwertetabelle ohne spektrale Darstellung.

Pegel und ihre Messverfahren

Bei allen pegelbezogenen Messungen ist es wichtig anzugeben, unter welchen Bedingungen sie erfasst wurden. Das Thema True Peak Pegel hatte in den letzten Jahren eine hohe Relevanz (manche sagen, eine etwas übertriebene) und führte dem Anwender vor Augen, dass es immer mehr als eine Betrachtungsweise für Pegel gibt. Entscheidend ist dabei zum Beispiel die Trägheit des Messgerätes. Daher gibt es schnelle Messungen, wie etwa True Peak oder Sample Peak, mittlere wie Quasi-Peak und langsame Messungen wie RMS und VU. Bei der Rauschmessung werden vor allem Quasi-Peak und RMS verwendet. Der Vorteil von RMS liegt in seiner Annäherung an den Energiegehalt des Signals, der auch für die Wahrnehmung eine große Rolle spielt. Unbewertete und A-bewertete Messungen werden immer mit RMS-Pegeln angegeben. Die Messung unter CCIR-468(-3) hingegen setzt Quasi-Peak als Messmethode voraus. Da hier die Signalspitzen des Rauschens einen stärkeren Einfluss haben, wird der Messwert nach CCIR auch immer oberhalb (also vermeintlich schlechter) dem der A-Bewertung liegen. Der Abstand kann hier bis zu 12 dB betragen. Kein Wunder, dass viele Hersteller ihn nicht so gern angeben mögen. Die Quasi-Peak Messung hat den

Vorteil, dass Spitzen im Spektrum stärker einfließen und eventuelle Störungen so schneller auffallen. Als Daumenregel gilt, liegt der Quasi-Peak Pegel nach CCIR-468(-3) nicht im Abstand von rund 10 bis 12 dB zur unbewerteten RMS Messung, so sollte genauer nachgeforscht werden, was diese Abweichung verursacht. Brummstörungen oder ungewöhnliche spektrale Verteilung des Rauschens können hier die Ursache sein.

Frequenzgänge – Amplitudenfrequenzgang

Der Begriff Frequenzgang ist an und für sich etwas allgemein gefasst. Denn prinzipiell lassen sich verschiedene Parameter über die Frequenz betrachten. Die beiden wichtigsten sind dabei die Amplitude und die Phasenlage. Der Amplitudenfrequenzgang (auch Amplitudengang oder auch vereinfacht nur Frequenzgang) definiert, mit welcher Verstärkungsänderung ein System auf verschiedene Frequenzen, relativ zueinander reagiert. Der Bezug ist dabei immer 1 kHz; hier wird die Null-Linie aufgetragen. Man spricht von einem linearen Amplitudenfrequenzgang, wenn das System mit der gleichen Änderung auf alle Frequenzen reagiert. In der Darstellung ergibt sich eine gerade Linie von den tiefsten zu den höchsten Messfrequenzen. Jegliche Abweichung vom linearen Frequenzgang wird als lineare Verzerrung bezeichnet. Analoge Systeme weisen immer ein gewisses Maß an linearer Verzerrung auf. Meist wird sie zum unteren Ende des Frequenzgangs deutlich, wo es zu einem mehr oder weniger starken Abfall der Kurve kommen kann. Moderne elektronische Ein- und Ausgangsstufen können zum unteren Ende hin deutlich länger linear verlaufen, als zum Beispiel Übertragerstufen. Auch Koppelkondensatoren im Signalweg haben einen Einfluss auf die Linearität im Bassbereich. Oftmals ist eine Dämpfung unter 20 Hz gewünscht und wird sogar durch entsprechende Filter forciert. Das obere Ende des Frequenzgangs kann im gewissen Rahmen nach den Wünschen des Entwicklers gestaltet werden. Manche Geräte haben einen sehr offenen Frequenzgang, andere werden absichtlich (IRT-Pflichtenheft) in den Höhen begrenzt. Durch bestimmte Schaltungsformen und -komponenten (etwa Übertrager, Magnettonköpfe und Band, Röhrenschaltungen und so weiter) ergeben sich Überhöhungen und Absenkungen im Frequenzgang (Abbildung 3). Die qualitative Bewertung des Amplitudenfrequenzgangs einer Anologschaltung kann also niemals ohne Einbeziehung der physikalischen und schaltungstechnischen Rahmenbedingungen, sowie dem anvisierten Einsatzgebiet des Gerätes vorgenommen werden.



Einen Eindruck von den Fähigkeiten des APx555 konnten wir bereits in einer Telefonkonferenz vorab der Veröffentlichung und anschließend auf dem Tonmeistertagungs-Messestand des deutschen Vertriebs Admess, sozusagen am lebenden Objekt, bekommen. Außerdem haben wir die Gelegenheit genutzt und wieder einmal Thomas Funk von Funk Tonstudioteknik besucht, der zu den ersten Käufern in Deutschland gehört. Sein Urteil ist uns einiges wert, denn erstens ist er wohl einer von den wenigen, die ein Messgerät mit ihren Anforderungen an seine Grenzen bringen können und zweitens steht er nicht im Verdacht eine Marke oder ein Gerät zu präferieren, nur weil er es gekauft hat. Thomas Funk besitzt eine schier unüberschaubare Sammlung hochwertigster Messsysteme jeglicher Art und kann sich für jede Aufgabe das am besten geeignete aussuchen. Der Artikel-Aufmacher zeigt eine Auswahl seiner Geräte mit dem APx555 in der Mitte. Und auch wenn das APx555 nicht alle seiner Anforderungen abdecken kann (was vermutlich auch unmöglich ist), so verriet er doch, dass auch er von den technischen Fähigkeiten beeindruckt ist.

Das APx555 entstammt vom Gehäuse und der modernen Architektur aus der APx-Serie. Wie erwähnt, war diese Produktreihe eher für die Produktionsmessung und Qualitätssicherung gedacht, während die Enkel des System Two, die 2700-Serie, den Entwickler am offenen Gerät, oder eben den Fachredakteur, ins Visier nehmen. Diese Trennung wird von Audio Precision nun nach und nach aufgehoben. Das APx555 soll als Flaggschiff des Gesamtportfolios beide Bereiche miteinander verbinden, ohne dass die Software dabei an Übersichtlichkeit verliert. Diesen Spagat turnt AP mit einem kleinen Trick. Die Steuerungssoftware lässt sich in zwei verschiedenen Modi laden. Der sogenannte Sequence-Mode (Abbildung 6) dient der Serienprüfung und ist darauf ausgelegt, vorgefertigte Tests in einem kompletten Messablauf abzuarbeiten. Am Ende eines Durchgangs meldet das System, ob die Gesamtprüfung bestanden wurde oder nicht. Die eigentlichen Messergebnisse der einzelnen Untersuchungen werden natürlich ebenso zur Verfügung gestellt, treten jedoch in den Hintergrund. Auch wenn die einzelnen Messungen natürlich komplex parametrisiert werden können, ist es

hier relativ unübersichtlich in einem sich permanent verändernden Prozess wie der Geräteentwicklung spontan Änderungen an einem Test vorzunehmen. In diese Bresche springt der sogenannte Bench-Mode (Abbildung 7). Seine Arbeitsweise richtet sich an den Techniker im Forschungslabor, der einen spontanen und tiefen Zugriff auf die Mess-Parameter haben will. Die Herangehensweise gegenüber der 2700-Software hat sich dabei nicht grundsätzlich, jedoch in vielen Details verändert. Wunderbar gelungen ist die Steigerung der Übersichtlichkeit der Graphen und Ergebnisanzeigen. So können verschiedene Messungen gleichzeitig dargestellt werden, so lange sie mit demselben Stimulus aus dem Generator arbeiten. Beispielsweise die FFT-Analyse zusammen mit Klirrfaktor, Frequenz und der Wellenformansicht (Oszilloskop). Die Generator- und Analyser-Einstellungen sind nun unabhängig davon, ob sie analog oder digital ausgegeben oder aufgezeichnet werden. So lässt sich beispielsweise ohne Neukonfiguration zwischen der A/D- und D/A-Wandlermessung umschalten. Einen entscheidenden Unterschied zur Serie 2700 hat AP in der Realisierung der Filterfunktionen gewählt. Anstatt teure und aufwändige Analogfilter als Steckkartenoption anzubieten, werden die meisten Filter in der Software nach der Wandlung berechnet. Dies hat in erster Linie den Vorteil, dass mehr Funktionalität zu einem geringeren Preis angeboten werden kann. Auf der anderen Seite lassen sich so jedoch auch viel mehr parallele Filterungen und Varianten bereithalten. Das Geheimnis liegt hier in neu entwickelten A/D- und D/A-Wandlern, sowie deren analoger Vorverarbeitung oder der Aufbereitung, die das Signal mit mehreren Stufen in die jeweils andere Domäne übertragen. Natürlich bleibt die Eingangsstufe noch immer ein Spezialkonzept mit analogen Filterstufen, die zum Beispiel für die THD-Messung weiterhin nötig sind. Und auch der Präzisionsgenerator ist eine rein analoge Schaltung. Die analogen Eingänge weisen eine Impedanz von 100 kOhm auf. Davon werden zwar selbst sehr hochohmige Ausgänge nicht belastet und somit sauber analysierbar, allerdings hat AP damit auch den minimalen Rauschpegel erreicht (weniger geht wahrscheinlich nur noch mit geringerer Eingangsimpedanz) und konnte hier keine Verbesserung gegenüber der 2700-Serie mehr erreichen. Nahezu

alle anderen Parameter haben sich hingegen, zum Teil drastisch, zum Besseren verschoben. Die Bandbreite des Systems liegt bei 1 MHz, womit es für alle audiorelevanten Messungen über die Maßen gut aufgestellt ist. Die Grundtöne für eine THD-Messung können bis 200 kHz hinauf reichen, damit noch genug Platz für die entstehenden Obertonstrukturen bleibt. Besonders spannend sind auch die Verbesserungen auf der Seite des Generators. Der analoge Präzisions-Sinus-Generator des APx555 kann nun Pegel bis zu 30 dBu bei 200 kHz erzeugen. Ein Wert, der die Vorgänger noch gnadenlos in die Knie gezwungen hätte. Die extreme ‚Reinheit‘ des erzeugten Sinus ist zum Beispiel für die THD-Messung notwendig. Sein THD+N erreicht bei 1 kHz Minimalwerte von -120 dB (0,0001 %). Nur damit ist es dann auch möglich, dass der Analyser seine THD+N Messung bis hinab zu -117 dB (0,00014 %) überhaupt sinnvoll nutzen kann. Alternativ können die Stimuli auch digital erzeugt (oder als Wav-Dateien vom Rechner geholt) und über einen D/A-Wandler ausgegeben werden. Eine kleine Überraschung ist die hohe Gleichheit der beiden Kanäle. Thomas Funk kennt alle seine Messgeräte wie die eigene Westentasche und hat den jeweils besseren Kanal an jedem Gerät mit einem kleinen Klebepunkt markiert. Das APx555 hat keinen solchen Punkt bekommen. Wenn man überhaupt etwas kritisieren möchte, dann ist das sicher auf sehr hohem Niveau und wurde von ihm mehr als Anregung formuliert. Er würde sich eine freie Gestaltung des Signalwegs mit platzierbaren Filterstufen, Signalgeneratoren und Analysen wünschen. Allerdings lässt sich davon sicher einiges mit der Bediensoftware in Zukunft noch nachrüsten. Die Software APx500 in Version 4.0 steht übrigens allen Nutzern eines Gerätes der APx-Serie kostenlos zur Verfügung. Die tolle Nachricht ist, dass damit auch fast alle kleineren Geräte (Ausnahme APx511) in den Genuss des neuen Bench-Mode kommen. Für Umsteiger von einem System Two oder seinen Nachfolgern gibt es eine kleine Kröte zu schlucken, denn die bisherige Makro-Sprache kann von Geräten der APx-Serie nicht interpretiert werden. Und auch die mit einem 2700 erstellten Messdateien (*.at27 oder älter) lassen sich nicht direkt importieren. Zum Glück kann die AP2700-Software im Demo-Modus betrieben werden, so dass auch ältere Messungen nach einem Umstieg (ohne Gerät) weiterhin geöffnet werden können. Vielleicht veröffentlicht AP ja noch ein Konvertierungs-Werkzeug. Für Umsteiger werden in der Knowledge-Base auf der Website die beiden Tech Notes 109 und 110 angeboten, die bei der Migration etwas helfen. Wer neugierig geworden ist, kann die APx-Software ebenfalls ohne Gerät im Demo-Modus ausprobieren. An dieser Stelle soll dieser kleine Einblick zunächst einmal beendet werden, bevor sich wirklich nur noch die Nerds unter unseren Lesern angesprochen fühlen.

In der digitalen Domäne gibt es prinzipiell zunächst keine Verzerrung des Amplitudenfrequenzgangs, wenn sie nicht gewollt ist. Die untere Grenze liegt bei 0 Hz, wobei dies aus anderen Gründen nicht sinnvoll ist. Die obere Grenze wird durch die sogenannte Nyquist-Frequenz definiert. Diese liegt bei der halben Abtastrate. Auch hier ist es meist nicht sinnvoll, bis zur Grenze zu gehen, doch auch die Beweggründe dafür sind etwas zu individuell für eine Verallgemeinerung. Bei einer Messung des digitalen Frequenzgangs kann oft ein steiler Abfall zur Nyquist-Frequenz hin beobachtet werden. Die Verhältnisse ändern sich, wenn die A/D-Wandlung mit betrachtet wird. Hier wird der untere Grenzwert weitestgehend durch die analoge Stufe vor dem Wandler bestimmt. Ein möglichst weit nach unten reichender linearer Bereich ist wünschenswert. Nach oben hin muss durch Filterung verhindert werden, dass Eingangsfrequenzen oberhalb der halben Abtastrate die Wandlerstufe erreichen können. Bei Nichtbeachtung dieser Bedingung entstehen Spiegelfrequenzen im Signal, das sogenannte Aliasing (die Aussprache ist übrigens etwa Ey-Li-Ä-ßing), welches eine sehr auffällige und unangenehme Störung darstellt. Bei modernen Wandlern besteht diese Filterung aus einer analogen und einer digitalen Stufe. Solche Filter sind sehr ausgereift, so dass Aliasing kaum noch eine relevante Rolle spielt. Auch am anderen Ende der Kette, dem D/A-Wandler muss der Frequenzgang durch Filter begrenzt werden. Hier spricht man von sogenannten Rekonstruktionsfiltern, die ungewollte Frequenzkomponenten oberhalb des Nutzsignals entfernen. Auch diese Filterung ist notwendig, entfernt jedoch keine Störungen im eigentlichen Sinne, sondern prinzipbedingt bei der D/A-Wandlung entstehende Signalstrukturen.

Frequenzgänge – Phasenfrequenzgang

Analoge Systeme weisen eine frequenzabhängige Signalverzögerung auf. Oftmals wünschenswert wäre, dass ein komplexes Signal beim Durchlauf durch ein System keine Veränderung erfährt. In der analogen Praxis ist dies jedoch fast niemals der Fall, da unterschiedliche Frequenzen immer auch unterschiedliche Durchlaufzeiten aufweisen. Vor allem Induktivitäten und Kapazitäten verursachen dieses Verhalten. Darstellen lässt sich diese Verzögerung über die sogenannte Phasenverschiebung. Die Messung vergleicht die Phasenlage jeder Messfrequenz zwischen dem Generator (also dem Eingang) und dem Ausgang des Testgerätes. Tritt eine Verzögerung auf, so verschiebt sich die Phasenlage zwischen den beiden Signalen. Bei der Messung mit Hil-

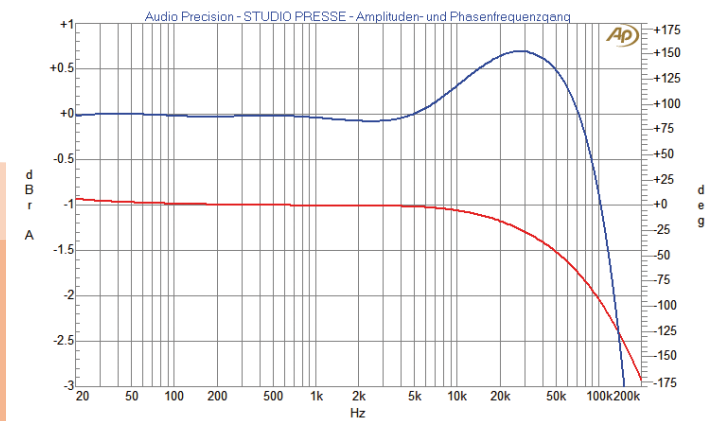


Abbildung 4: Amplituden- (blau) und Phasenfrequenzgang (rot) eines Analoggerätes. Die Phase driftet erst signifikant ab, wenn sich der Amplitudenfrequenzgang den Bandgrenzen nähert

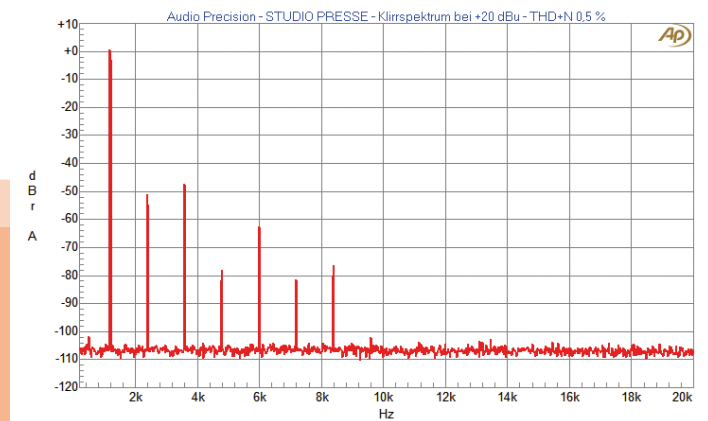


Abbildung 5: Klirrspektrum eines Analoggerätes bei 0,5 % THD+N

fe von Sinussignalen kann die Verschiebung nur in einem Bereich von ± 180 Grad bestimmt werden, was jedoch für praktische Messungen oft ausreichend ist. Die Verschiebung der Phase über die Frequenz lässt sich ebenso in ein Diagramm übertragen, wie die Verstärkung. Man spricht dann vom sogenannten Phasenfrequenzgang oder auch kurz vom Phasengang. Veränderungen im Phasengang treten fast immer auf, zum Beispiel auch bei gewollten linearen Verzerrungen des Amplitudenfrequenzgangs. So bedingt eine analoge Filterung eine Veränderung des Phasengangs. Sie ist inhärent für die Filterung; ohne Phasengangverzerrung keine Veränderung im Amplitudenfrequenzgang und umgekehrt (Abbildung 4). Digital lässt sich diese starke Verbindung aufbrechen, dieses Thema würde den Rahmen dieses Artikels jedoch unnötigerweise sprengen. Verzerrungen im Phasengang können sich auf die Impulsübertragungsfähigkeit eines Systems auswirken. Die Wahrnehmbarkeit dieser Effekte ist jedoch stark signal- und systemabhängig. Treten unterschiedliche Phasengangverzerrungen zwischen korrelierten Kanälen auf, so kann es zu Klangveränderungen oder Störungen in der Stereo-Lokalisation kommen. Stereogeräte sollten also immer ein möglichst hohes Maß an Gleichheit aller Frequenzgänge zwischen den beiden Kanälen aufweisen.

Harmonische, nichtlineare Verzerrungen – THD

Mathematisch betrachtet repräsentiert eine Sinusschwingung genau eine einzige Frequenz. Wird der Signalverlauf dieser Sinusschwingung auch nur einen Hauch verändert, so lässt sich in der Frequenzanalyse beobachten, dass zusätzliche Frequenzen auftreten. Komplexe Signale beste-

hen immer aus einer Vielzahl unterschiedlicher Frequenzkomponenten. Eine verzerrte Sinusschwingung ist also ein komplexes Signal, welches aus verschiedenen Frequenzkomponenten zusammengesetzt ist. Die entstehenden Frequenzen werden als Oberschwingungen bezeichnet. Sie stehen in einem mehr oder weniger harmonischen Verhältnis zur Grundschwingung. Deshalb spricht man auch von harmonischen Verzerrungen. In ihrer Gesamtheit werden sie im sogenannten THD (Total Harmonic Distortion – Gesamtheit der harmonischen Verzerrungen) erfasst. Praktisch gesehen sind Messgeräte für THD in der Anzahl der erfassten Oberschwingungen begrenzt. Meist werden nur Schwingungen bis zum neunten oder zehnten Oberton erfasst. Die Wahrnehmbarkeit von Verzerrungen ist frequenzabhängig. Im Bassbereich darf es bereits tüchtig zerren, während im Bereich um 1 kHz schon geringe Obertonanteile ausreichen um hörbar zu werden. Der THD trifft also per se erst mal keine qualitative Aussage und muss immer mit Vorsicht betrachtet werden. Die Messung im Studio Magazin erfolgt immer mit einem Stimulus bei 1 kHz. Die Begriffe THD und Klirrfaktor sind übrigens nicht exakt gleich definiert, ähneln sich jedoch so sehr, dass sich bei Werten unter 1 % kaum ein signifikanter Unterschied ergibt. Im Gegensatz zum THD, werden im THD+N (THD plus Rauschen (Noise)) alle im betrachteten Frequenzband auftretenden Verzerrungen und das Rauschen in einem gemeinsamem Wert erfasst (Abbildung 5). Eine Begrenzung auf den neunten oder zehnten Oberton findet nicht statt. Zusätzlich auftretende Störungen durch Übernahmeverzerrungen, Intermodulationsverzerrungen oder sonstiges, sind in diesem Messwert ebenfalls enthalten. Damit ist THD+N der interessantere Wert, wenn es um die allgemeine Bewertung der Störungsfreiheit eines Systems geht.

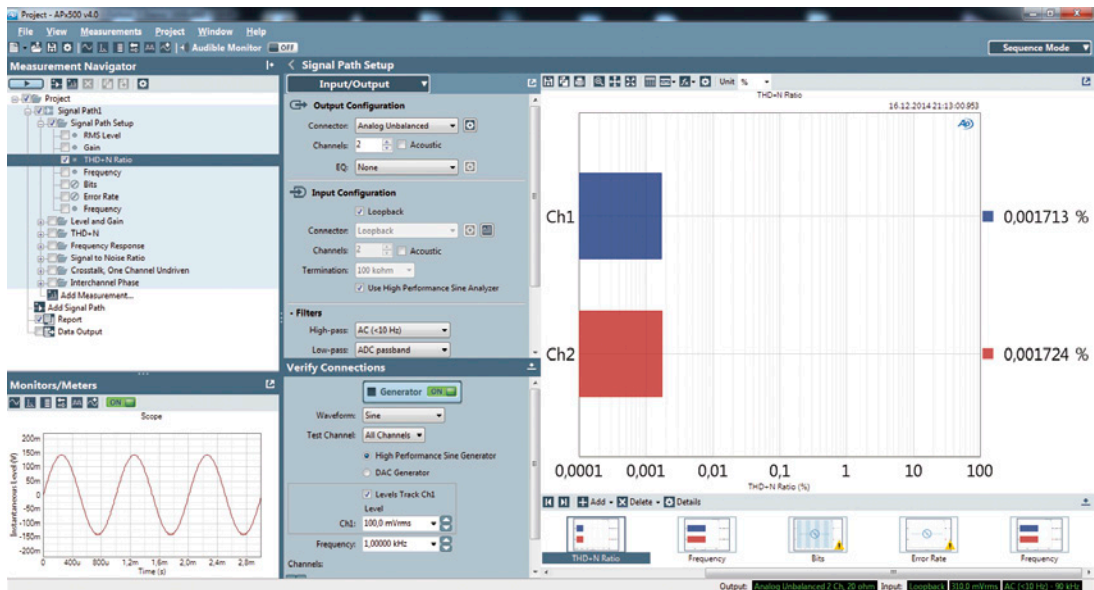


Abbildung 6: Die APx-Software im Sequence-Mode

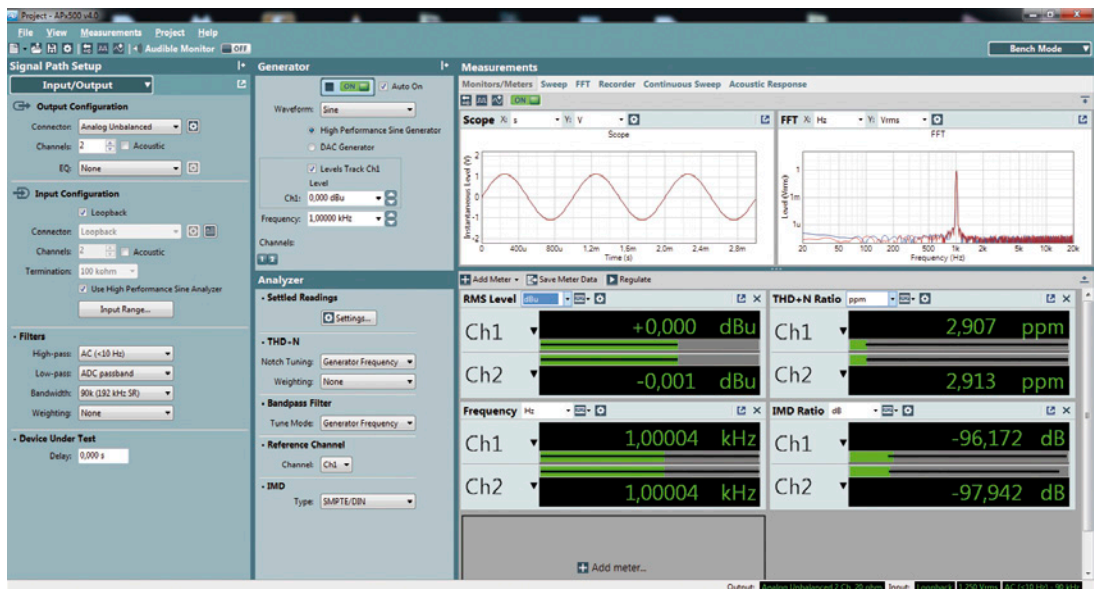
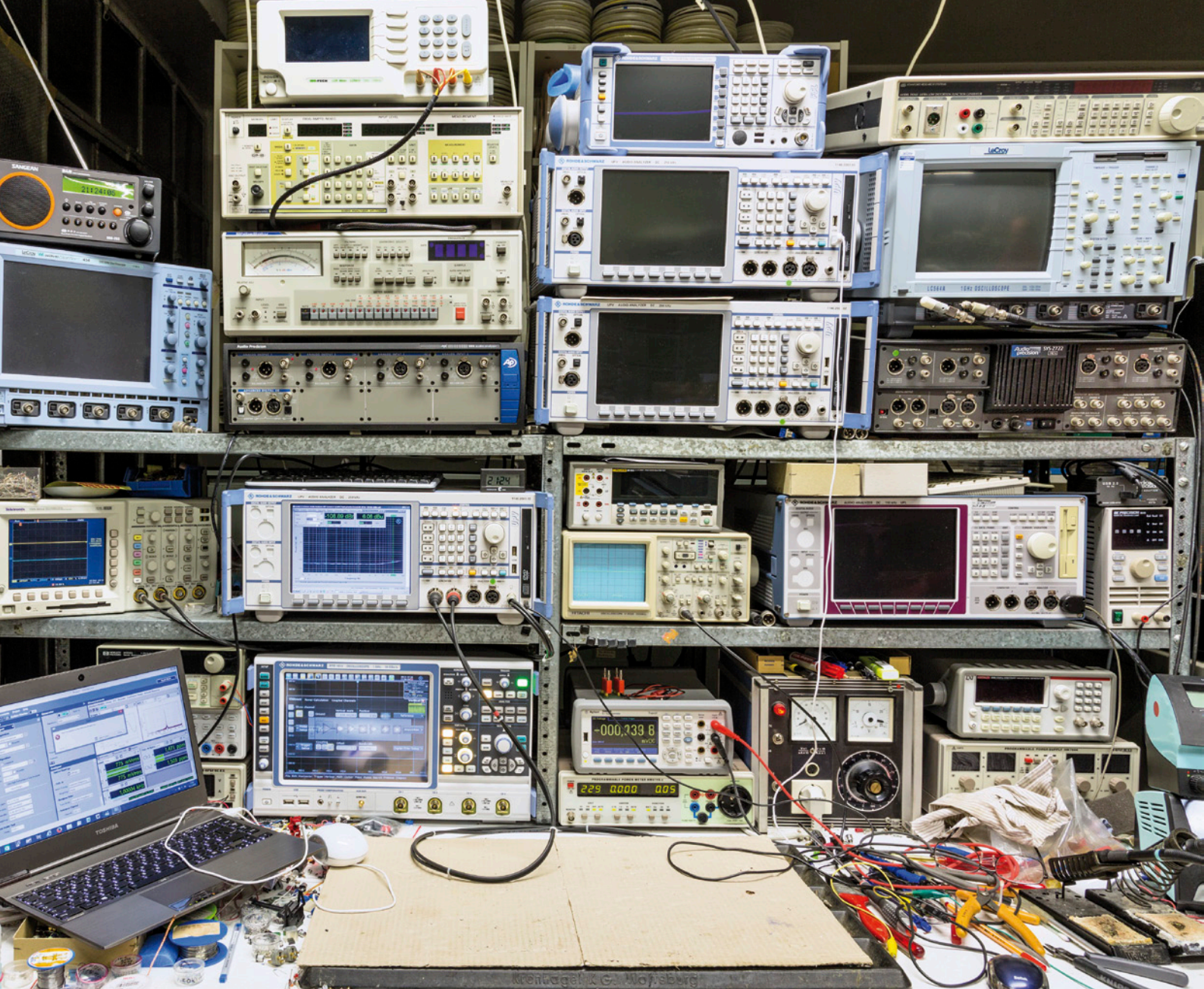


Abbildung 7: Die APx-Software im Bench-Mode

Schlussbetrachtung zum ersten Teil

Betrachtet man die allgemeine Entwicklung der Tontechnik über die letzten 15 Jahre, fällt auf, dass immer mehr Nischenhersteller aufgetaucht sind, deren Klanganspruch nur sehr schwer in objektiven Messdaten zu erfassen ist. Im Gegenteil wird hier oftmals mit ‚Störungen‘ gespielt, um eine gewisse Individualität zu gewinnen. Ein gutes Beispiel dafür ist der in dieser Ausgabe getestete Kompressor, dessen Klirrvverhalten nach ‚der reinen Lehre‘ nicht besonders gut ist. Auf der anderen Seite verbreitert sich der Massenmarkt, gefühlt, jeden Monat. Diese Produkte werden, vor allem durch bessere Bauteile, immer leistungsfähiger, auch wenn sie oft einem Standardschema folgen und wenig Mut zu außergewöhnlichen Entwicklungen zeigen. Es ist heu-

te zum Beispiel schwer geworden, einen wirklich schlechten A/D-Wandler zu kaufen. High-End hat oft nur noch zehn Prozent Abstand. Aber um ihn zu halten, braucht man eine Menge Know-how, Erfahrung und Mut. Diese letzten zehn Prozent lassen sich aber auch nicht ganz so einfach messen. Wir haben uns für 2015 den Vorsatz genommen, unsere Messmethoden nach und nach auf den Prüfstand zu stellen und zu revidieren. An einigen Stellen werden sich also Veränderungen und Erweiterungen ergeben, die unsere Untersuchungen noch aussagekräftiger und leichter verständlich machen sollen. Manche Messwerte müssen gehen, andere kommen hinzu, Rahmenbedingungen sollen besser erläutert und übersichtlicher dargestellt werden. Nächstes Mal geht es weiter.

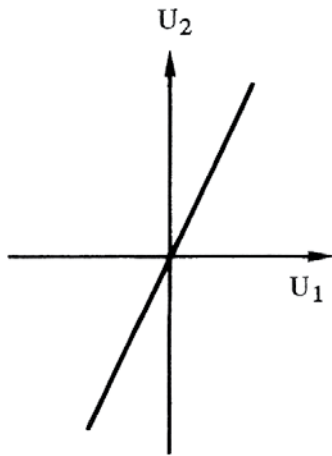


FRIEDEMANN KOOTZ, ABBILDUNGEN: FRIEDEMANN KOOTZ, DIVERSE

M E S S W A H L

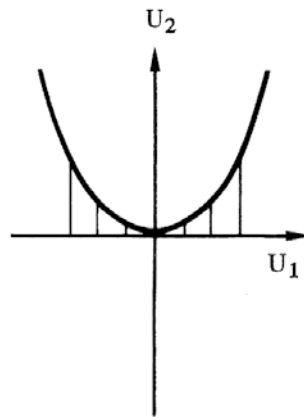
Hintergrundbetrachtung zum Messen analoger und digitaler Audioparameter – Teil 2

Seit dem ersten Teil dieser kleinen Serie ist leider etwas Zeit verstrichen. Die redaktionellen Inhalte sind manchmal nicht exakt planbar und so haben wir uns inzwischen entschieden, mit der Serie nach und nach fortzufahren und sie nicht mit einem zweiten Teil bereits zu Ende zu führen. Vielleicht auch mal als Informationskasten, wenn es darum geht, einen konkreten Messwert zu erläutern; vielleicht als eigenständiger Artikel. Auf jeden Fall werden alle Teile immer in der Freizone (der Bereich mit kostenlosen Leseproben auf unserer Website www.studio-magazin.de) zusammengefasst zur Verfügung stehen. Sozusagen als schnelle Referenz zum Nachschlagen.



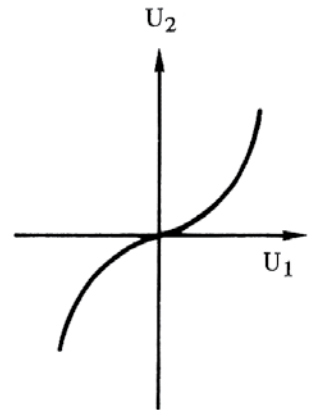
linear

Abbildung 1: Lineare Kennlinie mit Verstärkung (Quelle: Handbuch der Tonstudioteknik, 8.Auflage, Band 1)



quadratisch

Abbildung 2: Quadratische Kennlinie (Quelle: Handbuch der Tonstudioteknik, 8.Auflage, Band 1)



kubisch

Abbildung 3: Kubische Kennlinie (Quelle: Handbuch der Tonstudioteknik, 8.Auflage, Band 1)

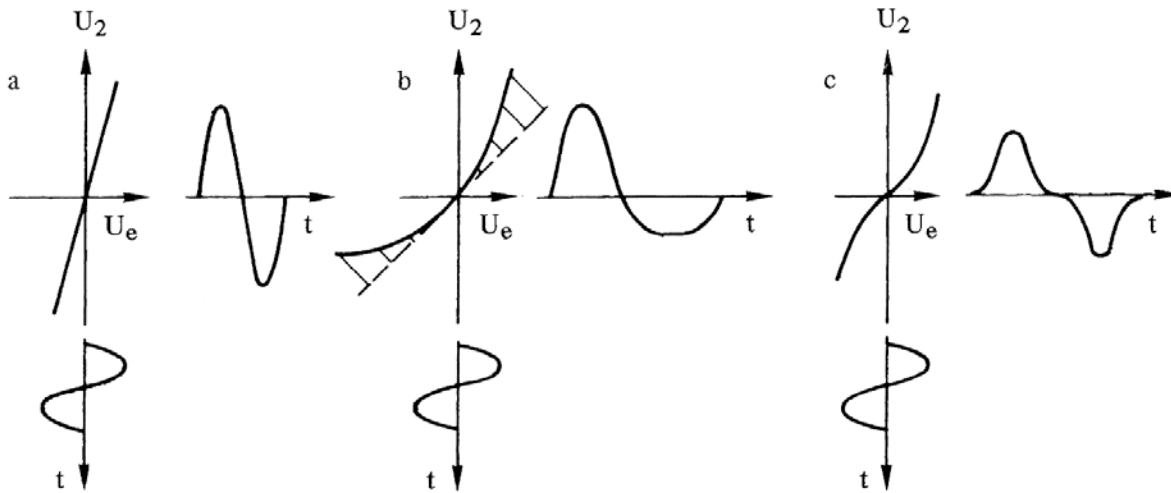
Diesmal soll es in erster Linie um Verzerrungen gehen. Ein Thema, welches vielleicht zu den wichtigsten Qualitätskriterien bei der Messung von Studioteknik überhaupt gehört.

Neben dem Verständnis der Messwerte selbst, ist es dabei immer auch wichtig, dass man weiß, welche Messwerte sich vergleichen lassen und welche nicht.

Nichtlineare Verzerrungen

Dass es lineare Verzerrungen, zum Beispiel des Amplitudenfrequenzgangs gibt, wissen wir spätestens seit der letzten Folge dieser Serie. Spricht man im allgemeinen Sprachgebrauch von Verzerrungen, so meint man eigentlich eher eine andere ‚Sorte‘. Nämlich die, wo es kracht und klirrt. In der Fachsprache ist hier von nichtlinearen Verzerrungen die Rede. Um den Begriff zu verstehen, müssen wir uns zunächst kurz mit der sogenannten Kennlinie auseinandersetzen. Als Beispiel nehmen wir einen Verstärker, dessen Verstärkung fest auf den Wert eins eingestellt ist. Das bedeutet, dass der Eingangswert am Ausgang unverändert wieder erscheint. Tragen wir die Eingangspegel auf der X-Achse und die Ausgangspegel auf der Y-Achse (beide mit gleichem Wertebereich) eines Diagramms auf und vergleichen Ein- und Ausgangspegel bei verschiedenen Werten, so würde sich im Diagramm eine gerade Linie von links unten nach rechts oben ergeben. Da wir es bei Audio jedoch immer mit einer Wechselgröße zu tun haben, müssen wir die beiden Achsen auch in den negativen Bereich verlä-

gern. Dies ist die lineare Kennlinie. Egal wie groß der absolute Momentanwert des Eingangssignals ist, sein zugehöriger Ausgangswert ist identisch. Eine Sinusschwingung bleibt eine Sinusschwingung und auch jede andere Signalform bleibt unverändert. Dies gilt auch, wenn ein größerer Verstärkungsfaktor angenommen wird. Wenn der Verstärker also wirklich verstärkt. Außer der Änderung der Amplitude, bleiben die Signalverhältnisse gleich (Abbildung 1). Nun gibt es in der Realität keine Systeme mit ideal linearer Kennlinie; schon gar nicht in der Analogtechnik. Stattdessen nähern sich die meisten Kennlinien mehr oder weniger stark zwei extremen Kurvenformen an – der quadratischen Form (Abbildung 2), bei der sich nicht nur die Form der Halbwellen verändert, sondern auch eine gewisse Unsymmetrie auftritt, und der kubischen Form (Abbildung 3), bei der das Vorzeichen der Halbwellen zwar unangetastet bleibt, die Form der Wellenberge und -täler jedoch stark verändert wird. Natürlich sind diese beiden Formen Extreme und kommen nur selten vor. Stattdessen kommt es zu Mischformen mit der linearen Kennlinie, bei der die Auswirkungen nicht ganz so drastisch sind. Allerdings lassen sich zwei Charakteristika herausarbeiten, die für den Klang entscheidend sind. Kennlinien, bei denen die beiden Halbwellen unterschiedlich verzerrt werden (asymmetrisch) und Kennlinien, bei denen sich die Verzerrung symmetrisch verhält (Abbildung 4). Betrachtet man eine Sinusschwingung in der Frequenzebene, so wird sich, je nach Auflösung des Messgerätes, nur eine einzige Frequenzlinie finden. Beginnt man die Sinusschwingung in ihrer Form zu verändern, also



- a. lineare Kennlinie
- b. quadratische Kennlinie, einer linearen Kennlinie überlagert
- c. kubische Kennlinie

Abbildung 4: Kennlinien und typische Signalverzerrungen (Quelle: Handbuch der Tonstudioteknik, 8.Auflage, Band 1)

Abb. 10/6. Kurvenformen der Kennlinien und der nichtlinear verzerrten Signale.

zu verzerren, so treten zusätzliche Spektrallinien auf.

Harmonische Verzerrungen

Diese zusätzlichen Frequenzen, stehen in einem bestimmten Verhältnis zum Originalton. Im einfachsten Fall handelt es sich um ganzzahlige Vielfache der Grundschwingung. Also die doppelte Frequenz, die dreifache Frequenz und so weiter. Sie werden einfach durchnummeriert. Der Grundton hört bei dieser Nummerierung auf den Namen k_1 , es folgen $k_2, k_3, k_4...$ Liegt k_1 bei 440 Hz, so ist k_2 bei 880 Hz und k_3 bei 1.320 Hz (Abbildung 5). Betrachten wir das Ganze nun musikalisch, so fällt uns sofort auf, dass k_2 die Okta-

ve von k_1 ist. Die nächste Oktave liegt jedoch bei k_4 und nicht bei k_3 . Stattdessen liegt k_3 dazwischen, nämlich auf der reinen Quinte (Abbildung 6). Noch eine Harmonische darüber ist die Terz über der zweiten Oktave, also k_5 bei 2.200 Hz. Die Harmonischen oberhalb von k_5 spielen bei geringen Verzerrungswerten keine nennenswerte Rolle. Damit teilen sich die Harmonischen in zwei Gruppen, die geradzahlig und die ungeradzahlig. Die geraden Harmonischen k_2 und k_4 stehen in einem direkten Teilungsverhältnis zum Grundton, k_3 und k_5 in einem komplexeren Verhältnis. Beide sind musikalisch durchaus direkt be-

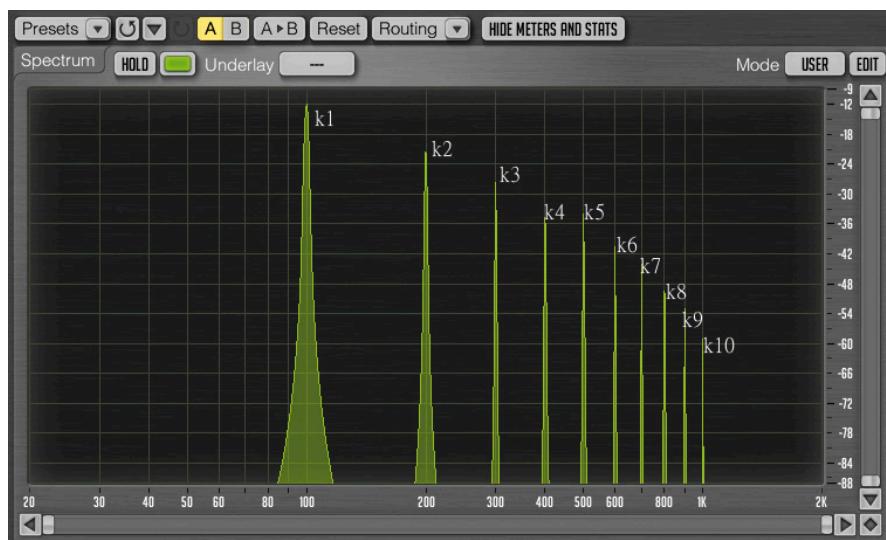


Abbildung 5: Harmonische von 1 bis 10. Der Grundton selbst ist k_1 , die erste Harmonische

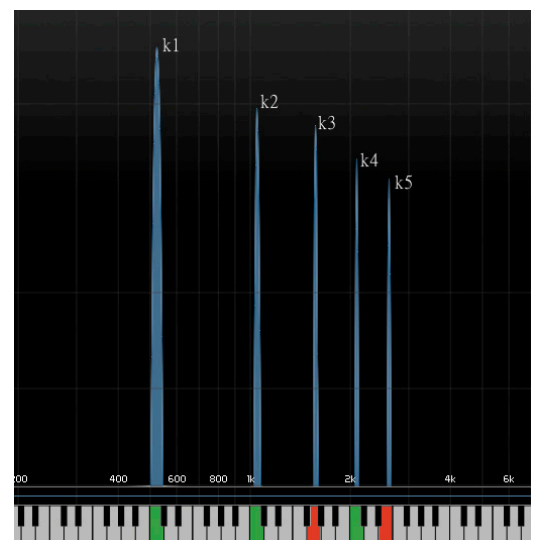


Abbildung 6: Die ersten fünf Harmonischen mit ihrer Lage im musikalischen Kontext

gründbar und finden sich auch in der Naturtonreihe. In ihrer Bewertung der musikalischen Konsonanz liegen die beiden Oktaven jedoch vor der Quinte und vor der Terz. Hinzu kommt, dass Quinte und Terz hier in der ‚natürlichen Stimmung‘ vorliegen und nicht in der ‚temperierten Stimmung‘, der die meisten Normalhörer täglich hundertfach begegnen. Werden die Obertonstrukturen einer Verzerrung also von den geraden Harmonischen dominiert, so empfinden die meisten den Klang als angenehmer, als bei Dominanz der ungeraden. Hinzu kommt, dass eine spezifische Obertonstruktur den wahrgenommenen Klang charakterisieren kann. Sie lässt uns Klänge als dumpf, flach, hohl, spitz oder eben warm oder kratzig empfinden. Doch zurück zur Technik. Die Entstehung von Obertönen ist natürlich nicht zufällig. Sie hängt direkt mit der verursachenden Verzerrung der Signalform zusammen. Mit anderen Worten, eine bestimmte Verformung der Sinusschwingung produziert immer die exakt selbe Zusammensetzung von Obertönen. Damit wird auch klar, dass sich eine kubische Verzerrung der Kennlinie in einer bestimmten Weise auf die Obertöne auswirkt, genau wie die quadratische Form. Kubische Verzerrungen, bei denen beide Halbwellen der Schwingung gleich betroffen sind, lassen dominante ungerade Harmonische entstehen. Quadratische Verzerrungen haben ihre Betonung in den geraden Obertönen. Wenn man sich nun noch anschaut, welche Kennlinien bei welchen technischen Komponenten vorherrschen, sind Musik, Empfinden und Technik wieder um ein interessantes Detail mehr verknüpft. Röhrenverstärker produzieren bevorzugt quadratische Kennlinienverzerrungen, Transistorverstärker eher kubisch geprägte Kennlinien. Diese Aussagen klingen etwas pauschal und das sind sie auch, wie erwartet sind die Verzerrungsverhältnisse an realen Geräten komplexer. Tatsächlich ist es relativ schwierig das Klirrverhalten eines Gerätes in einer bestimmten Situation spektral qualitativ zu bewerten. Die empfundene Veränderung bleibt eine subjektive Auswertung der Messwerte. Dies ist auch der Hauptgrund, warum wir fast immer versuchen zumindest exemplarisch ein Klirrspektrum darzustellen.

Klirrfaktor und seine Verwandten

Liest man in technischer Literatur, dem Studio Magazin oder Datenblättern nach, so entdeckt man dort verschiedene Begriffe, die sich alle im Dunstkreis der Verzerrungen bewegen. Die drei am häufigsten genannten Begriffe sind der Klirrfaktor, die Total Harmonic Distortion – THD und Total Harmonic Distortion Plus Noise – THD+N. Alle drei meinen weitestgehend das gleiche, unterscheiden sich jedoch

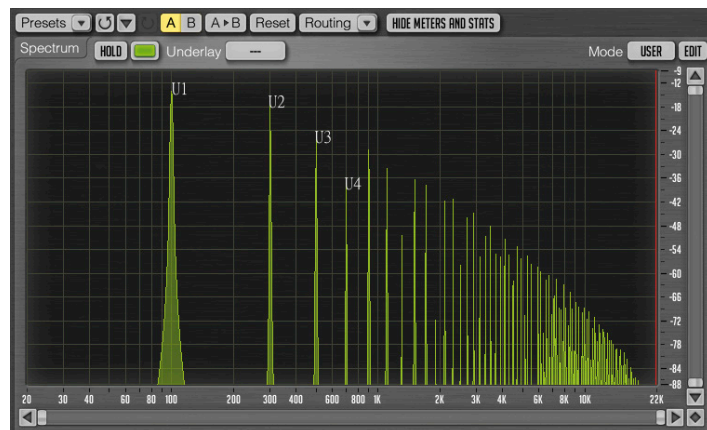


Abbildung 7: Starke Verzerrung, die Harmonischen sind für die Berechnung des Klirrfaktors markiert

$$k = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 \dots}}$$

Abbildung 8: Formel Klirrfaktor

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + U_5^2 \dots}}{U_1}$$

Abbildung 9: Formel THD

in entscheidenden Details. Es ist also wichtig, den Unterschied einmal zu betrachten. Alle drei Messungen bewerten das nichtlineare Verzerrungsverhalten eines Systems. Also, wie viele zusätzliche Obertöne werden dem Originalsignal hinzugefügt. Der Klirrfaktor gibt an, wie groß der Anteil der hinzugefügten Obertöne am Gesamtsignal, also der Summe aus Stimulus und Obertönen, ist. Abbildung 7 zeigt ein deutlich verzerrtes Signal im Spektrum. U₁ stellt hier den Grundton, also den Stimulus dar, die Obertöne sind mit U₂ bis U₅ durchnummeriert. Da die harmonische Zusammensetzung für den Klirrfaktor irrelevant ist, heißt die erste vorhandene Oberschwingung U₂, obwohl es sich eigentlich um die dritte Harmonische handelt. Die entsprechende Formel zeigt die Abbildung 8. Genau da liegt der Unterschied zum THD. Hier wird nämlich das Verhältnis der Summe der Obertöne mit dem Grundton in ein Verhältnis gesetzt. Je geringer die Klirrprodukte absolut gesehen sind, desto stärker nähern sich Klirrfaktor und THD einander an. Die entsprechende Formel für den THD findet sich in Abbildung 9. Die direkteste Messung ist die des THD+N, denn

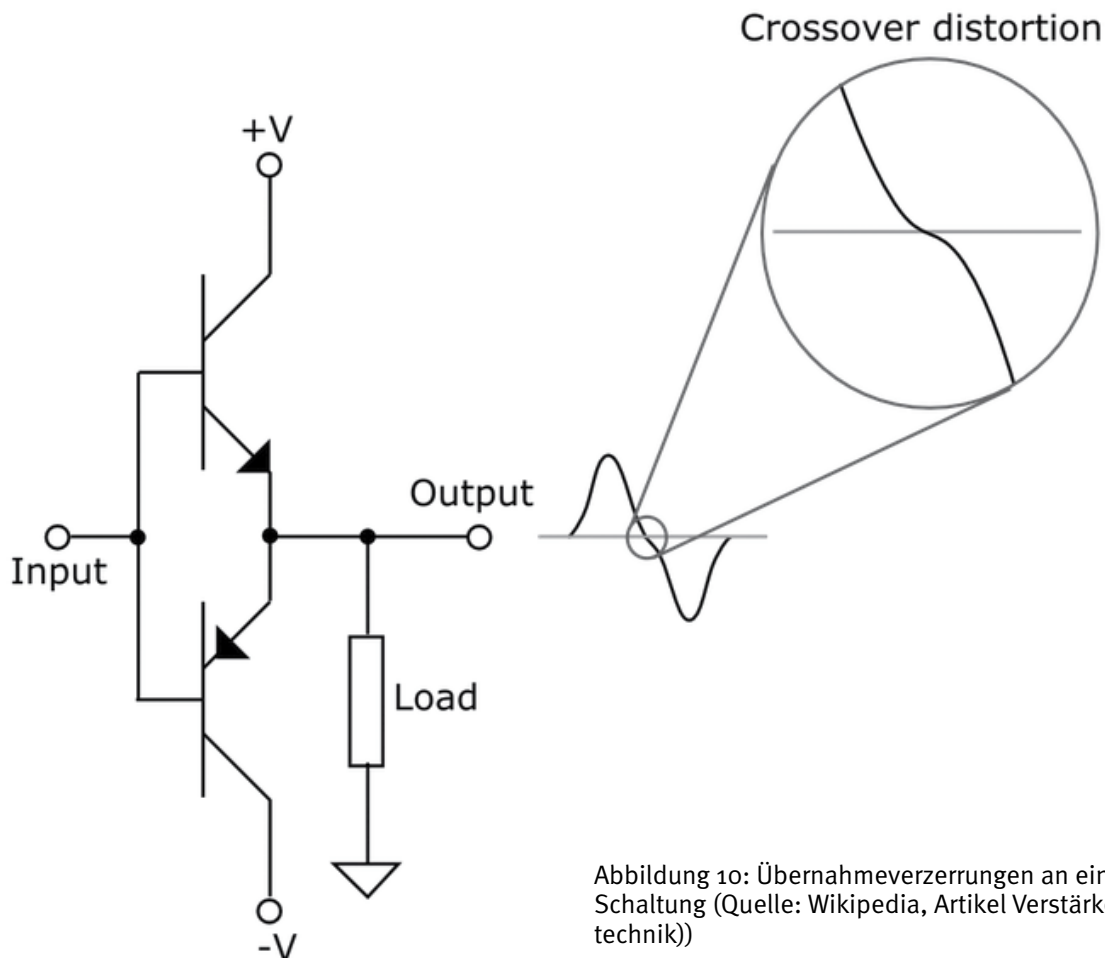


Abbildung 10: Übernahmeverzerrungen an einer Class B Schaltung (Quelle: Wikipedia, Artikel Verstärker (Elektrotechnik))

hier fließen nicht nur die Verzerrungsprodukte, sondern auch der Rauschpegel mit ein. Aus diesem Grunde muss auch immer die Messbandbreite angegeben werden. Bei uns erfolgt die Messung zwischen 22 Hz bis 22 kHz und ist immer gleich, so dass sich die Messergebnisse vergleichen lassen. Im Studio Magazin werden immer THD+N Werte angegeben, da sie aus unserer Sicht den besten Überblick über die ‚Qualitätsminderung‘ des Signals geben. Was nützt ein Gerät, welches unglaublich geringe Verzerrungswerte aufweist, wenn es rauscht ‚wie Hulle‘. Übrigens werden bei der THD+N Messung eventuell vorhandene Gleichspannungsanteile durch die untere Bandbreitenbegrenzung entfernt, so dass dieser Fehler nicht mit in das Ergebnis einfließt.

THD+N in der Praxis

Der THD+N allein ist, wie alle Messwerte, nicht aussagekräftig genug, so lange die Rahmenbedingungen nicht bekannt sind. Die wichtigste dabei ist natürlich der Pegel des Stimulus. So lässt sich zum Beispiel bestimmen, wo die obere Grenze des Dynamikumfangs eines Systems liegt. Moderne Analogdesigns weisen oft eine sehr harte Grenze

auf, an der der THD+N von sehr geringen Verzerrungen unter 0,01 % über wenige Zehntel dB sprunghaft in seiner Dimension ansteigt. Ist dies nicht der Fall, so muss eine obere Grenze, quasi als maximal akzeptabler Wert, festgelegt werden. Bei uns liegt diese Grenze bei 0,5 % THD+N. Oft genug ist dies nur eine technische Festlegung, aber keine klangliche Begrenzung. Viele Geräte mit ausgeprägtem Klangcharakter beginnen erst oberhalb dieser Grenze ‚Spaß zu machen‘. Nur lässt sich Spaß eben nicht messtechnisch quantifizieren. Senkt man den Pegel des Stimulus ab, so entstehen in den meisten Fällen auch weniger Verzerrungen. Bei sehr geringen Pegeln versinken die entstehenden Obertöne im Rauschen. Von dieser Aussage gibt es jedoch wichtige Ausnahmen. Die analoge Technik kennt das Problem der sogenannten Übernahmeverzerrungen (Crossover Distortion). Sie entstehen, wenn eine Gegentaktverstärkerschaltung genutzt wird, bei der zwei Verstärkerbaustufen jeweils eine der beiden Signalhalbwellen verstärken (Abbildung 10). Auch bei genauester Abstimmung beider Stufen kann es hier zu einem Versatz kommen, der sich in einem verzerrten Signalverlauf am Nulldurchgang der Welle zeigt. Erkennen lassen sich solche Verstärker an der Bezeichnung Class B. Diese Verstärkerklasse steht nicht um-

sonst in einem zweifelhaften Ruf in der hochklassigen Audiotechnik. Damit sollen B-Verstärkerstufen nicht generell verurteilt werden, sie sind jedoch auf Grund ihrer Probleme selten in der Audiotechnik vertreten; dies ist auch der Grund, weshalb im Studio Magazin nicht explizit ‚danach gemessen wird‘. Die zweite große Ausnahme findet sich in der Digitaltechnik und deren Schnittstellen, also den Analog-Digital- und Digital- Analog-Umsetzern (Wandlern). Das mathematische Prinzip hinter der Digitaltechnik bedingt, dass die Auflösung eines Signals sinkt, je näher es sich der unteren Grenze des durch die Bitrate vorgegebenen Dynamikumfangs nähert. Vereinfacht gesagt lässt sich messen, dass der Anteil an Verzerrungen steigt, je geringer die Aussteuerung des Stimulus wird. Allerdings gilt dies nur für den untersten Pegelbereich. Um zu sehen, ob der mittlere Pegelbereich sauber bleibt, werden bei uns alle Wandler mit einem Stimulus von -60 dBFS spektral betrachtet. In den letzten Jahren hat sich jedoch gezeigt, dass diese Messung fast immer ohne Beanstandung verläuft. Wir werden sie daher nach und nach weglassen und wohl nur noch abbilden, wenn sich tatsächlich eine Problematik zeigt.

Intermodulationsverzerrungen – IMD

Bei der bisherigen Betrachtung wird immer ein Sinus als Stimulus in das System gegeben. Als Resultat entstehen die beschriebenen Harmonischen. Dabei unentdeckt bleibt eine andere Art der nichtlinearen Verzerrungen, die sogenannte Intermodulationsverzerrung, IMD (Intermodulation Distortion). Um ihr auf die Schliche zu kommen, wird das System mit zwei Stimuli angeregt. Dabei handelt es sich zum Beispiel um zwei Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenzen. Lässt man die bisher erwähnten Verzerrungen außen vor, so würde man erwarten, am Ausgang auch nur diese beiden Frequenzen zu finden. Tatsächlich kann es jedoch dazu kommen, dass sich zusätzlich Summen und Differenztöne dieser beiden Stimuli zeigen. Unser Beispielstimulus f_1 sei 5 kHz, f_2 sei 500 Hz. Als direkte Summe und Differenz würden sich hier 5,5 kHz und 4,5 kHz ergeben. Diese sind die Intermodulationsprodukte zweiter Ordnung. Die darüber liegenden Ordnungen werden komplexer und sollen hier nicht weiter aufgezählt werden. Nicht, weil wir uns um mathematische Formeln drücken wollen würden, sondern weil es schlicht keine Rolle spielt, warum ein Verzerrungsprodukt furchtbar klingt. Fakt ist, dass Intermodulationsprodukte, gleich welcher Ordnung, leider in keinem musikalischen Zusammenhang mit den auslösenden Stimuli stehen. Hinzu kommt, dass eine Schaltung sich bei der Erzeugung von Intermodulationsverzerrungen unterschied-

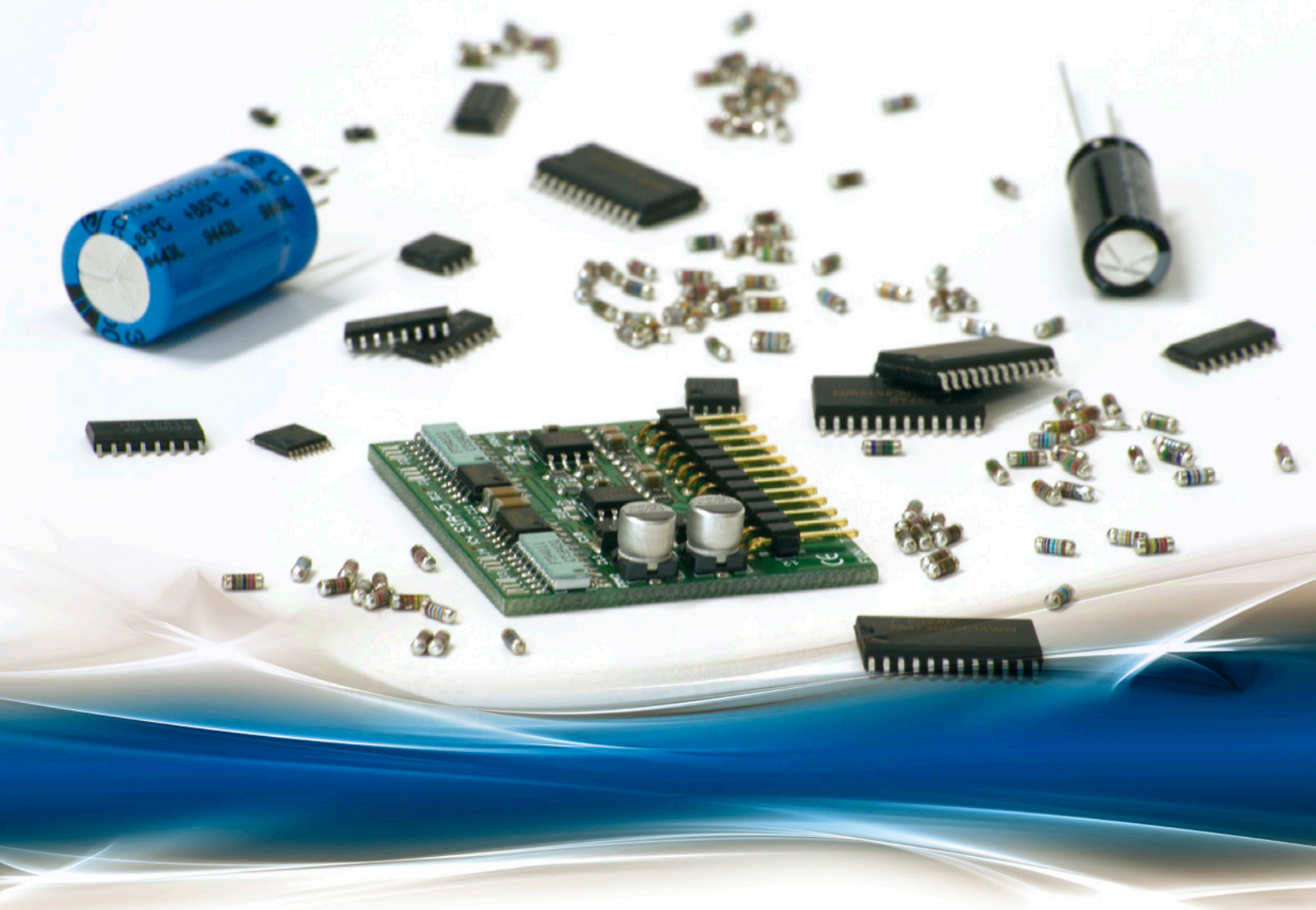
lich verhält, je nachdem ob sie symmetrisch oder asymmetrisch verzerrt. Es kann sein, dass die eigentlichen Summen und Differenzen gar nicht auftreten, sondern ausschließlich komplexe Vielfache mit unterschiedlichsten Pegelverteilungen. Auf dieses Phänomen sind wir erst vor kurzem gestoßen und werden uns damit sehr intensiv auseinandersetzen. Ebenfalls hochspannend ist das Thema Intermodulation bei digitalen Prozessoren mit hohen Abtaststraten. Zur Messung der IMD gibt es zwei standardisierte Verfahren. Leider sind beide in der allgemeinen Messtechnik nicht sehr verbreitet, so dass es nur selten Vergleichswerte gibt, die in technischen Datenblättern angegeben werden. Wir werden herausfinden, inwieweit sich diese Methoden für unsere Messpraxis bewähren können. Beim Thema Intermodulation ist im Studio Magazin Messbereich also noch einiger Nachholbedarf vorhanden.

Transienten-Intermodulations-Verzerrungen

Dieses als TIM oder auch TID (Transient Intermodulation Distortion) bezeichnete Phänomen ist eng verwandt mit der Intermodulationsverzerrung, wie sie im letzten Abschnitt beschrieben wurde. Entdeckt wurden sie bereits in den 1960er Jahren von Dr. Matti Ojala. Er stellte fest, dass ein Verstärker, der mit seiner Slew-Rate, also der Anstiegsgeschwindigkeit seiner Ausgangsspannung, einer steilen Signalflanke am Eingang nicht mehr folgen kann, Intermodulationsverzerrungen verursacht. Diese Beobachtung war entscheidend, zeigte sie doch, dass die Messung mit statischen Stimuli nicht alle Probleme aufzeigen kann. Auch für die Messung der TIM gibt es ein empfohlenes Standardverfahren, welches jedoch schon seit Jahren kaum noch Verbreitung zeigt.

Fazit

Verzerrungen sind nicht gleich Verzerrungen und Studio Magazin Redakteure brauchen auch regelmäßig neue Forschungsgebiete, die wir hiermit erschlossen haben. Wir halten unsere Leser natürlich auf dem Laufenden, was sich dabei ergibt. Vielleicht entdecken wir ein wichtiges Qualitätskriterium, das uns bisher dringend gefehlt hat, ohne dass wir es wussten? Vielleicht stellen wir auch fest, dass manche Messungen nicht umsonst mit der Zeit aus dem Fokus geraten. Übrigens, haben Sie gemerkt, dass die Informationen aus diesem Artikel direkt im Testbericht der Krässemaschine nützlich sein können? In diesem Sinne, bis zum nächsten Mal.



Immer auf die Kleinen...

Analog in SMD – dann lieber gleich digital?

In der allgemeinen Wahrnehmung von analoger Studioteknik werden oftmals Klischee behaftete Attribute wie ‚Wärme‘, ‚Druck‘ und ‚Direktheit‘ verwendet, die in den meisten Fällen mit bestimmten Schaltungstechniken (zum Beispiel Class A) oder sogar einzelnen Bauelementen (das klassische Beispiel, die Elektronenröhren) assoziiert werden. Verbreitetes Halbwissen wird von Herstellern genutzt, die ihre Produkte mit den zugehörigen Emotionen vermarkten und so zur Legendenbildung beitragen. Kondensatoren von der Größe einer Coladose wecken bei manchen Anwendern ebenso positive Erwartungen, wie die Verwendung von SMD-Bauelementen von vornherein zu einer unbewussten Abwehrhaltung führt. In große Technik passt eben schnell viel Strom hinein, kleine Komponenten wirken wie ein nur halb geöffneter Wasserhahn und bremsen den Elektronenfluss unnötig aus. Deshalb ist ein Schmetterling ja auch langsamer als ein Jumbojet. Oder nicht? Nicht dass Missverständnisse aufkommen, wir möchten weder Zweifel an der Wichtigkeit und dem Reiz von Emotionen in der Verwendung von Studioteknik aufkommen lassen, noch Kritik an der Verwendung von Bauteilen in klassischer Größe üben. Wie immer geht es uns darum, die emotionale Diskussion unter Kollegen und Anwendern mit ein wenig mehr Hintergrundwissen zu füttern. Letztendlich macht es doch viel mehr Spaß die Meinungsverschiedenheiten mit echtem Fachwissen zu untermauern.

Was sind SMT und SMD?

SMT steht für Surface Mounted Technology, die sich also in erster Linie nicht durch die Größe, sondern die Montageart von der klassischen, als Durchsteckmontage (Through Hole Technology THT) bezeichneten, Bauform unterscheidet. In den meisten Fällen wird jedoch die Abkürzung SMD (Surface Mounted Device) verwendet, die sich direkt auf das Bauelement und nicht die Technologie als solche bezieht. SMD soll im folgenden Artikel synonym für SMD und SMT verwendet werden. Der direkte Vorteil von SMD liegt darin, dass eine Platine von beiden Seiten mit voneinander unabhängigen Schaltungen bestückt werden kann. Theoretisch könnte auf der einen Seite also eine Kühlschranksteuerung und auf der anderen eine Mischpultschaltung montiert sein. Im Zuge dieser Entwicklung konnten die Bauelemente für SMD deutlich verkleinert werden, damit die Vorteile der Oberflächenmontage auch zu einer deutlichen Platzersparnis führen. Die SMD-Technik wurde, wie so vieles, für die Computertechnik entwickelt und hat die enormen Rechengeschwindigkeiten heutiger Computer erst möglich gemacht. Aus dem täglichen Leben sind Schaltungen in SMD nicht mehr wegzudenken, denn sie erlauben nicht nur die Herstellung von kleinen Handys und Netbooks, sondern werden in fast jedem elektronisch gesteuerten Gerät in unserer täglichen Umgebung verbaut. Aktuell sind fast alle Bauteile neben der Durchsteckbauform auch in SMD erhältlich. Zukünftig, aber auch zum Teil bereits heute, sind bestimmte Bauelemente ausschließlich in SMD am Markt verfügbar. Für die Entwickler bietet sich also manchmal gar keine Auswahl mehr an. Natürlich hat SMD nicht nur Vorteile, sonst wäre es vielleicht nie zu manchen Ressentiments gegen diese Technologie gekommen. Wie in vielen Bereichen des menschlichen Miteinanders haben sich solche Probleme mehr oder weniger konkret in die Erinnerungen und Meinungen eingegraben und wurden als Halbwahrheiten verbreitet. Dabei hat SMD durchaus handfeste Vorteile, die den Einsatz in der Audiotechnik geradezu herausfordern.

Störanfälligkeit

Ein wichtiger Vorteil von SMD liegt in seiner geringeren Anfälligkeit gegen Störungen. Schon durch die kleinere Oberfläche verringert sich der Einfluss durch Felder und Störeinflüsse zum Beispiel durch Trafos, Schaltnetzteile, Mobilfunk und WLAN, deren Einwirkungen natürlich umso größer werden, je mehr Angriffsfläche sowohl das Bauelement, als auch die Gesamtplatine bietet. Dies ist unter ande-

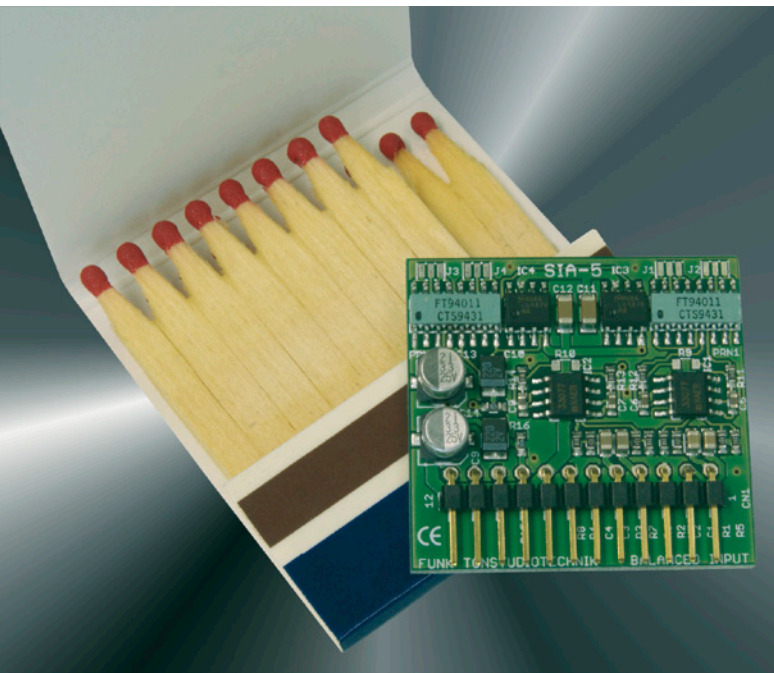


Thomas Funk führt seit vielen Jahren sein Elektronikunternehmen Funk Tonstudioteknik in Berlin. Bereits seit über 20 Jahren setzt er bei seinen Entwicklungen auf die SMD-Technik und konnte mit der Qualität seiner Produkte bisher alle Zweifler überzeugen. Seine Anpassverstärker, Abhörcontroller und Studioproblemlöser werden von anspruchsvollen Kunden der nationalen und internationalen Rundfunk- und Fernsehbranche, in Studios mit Qualitätsanspruch und von High-End-Musikgenießern geschätzt. In Ausgabe 01/09 findet sich ein spannendes Interview mit dem Entwickler und Messwertnarr Thomas Funk.

rem ein Grund, warum große Mischpulte einen um ein vielfaches höheren Aufwand bei der Abschirmung erfordern als ein 19 Zoll Gerät. Wird bei der Entwicklung der SMD-Platinen darauf verzichtet, beide Seiten zu bestücken, kann die Rückseite zum Beispiel für eine sehr große Massefläche genutzt werden. Tatsächlich ist die Masseführung einer Schaltung mit entscheidend für die Rauschmut und Brummanfälligkeit eines Systems. Fläche ist dabei nicht alles, kann aber einen stark vereinfachenden Faktor in der Entwicklung darstellen. Moderne Mikroprozessoren werden heute nicht mehr in DIL-Bauweise (das klassische Tausendfüßlergehäuse) angeboten, da die sehr hohen Taktfrequenzen keine langen Leitungswege mehr gestatten. Dies kommt auch in der Audiotechnik zum Tragen, bei der kurze Leitungswege entscheidend zur Erhaltung der Tonqualität beitragen. Auch hier spielt, neben geringeren Leitungsverlusten, die Abmessung der Oberfläche eine große Rolle. Einige Hersteller exklusiver High-End-Audiotechnik werben damit, dass ihre Geräte intern mit kurzen Leitungen Punkt-zu-Punkt verdrahtet sind. Dabei sind die elektrischen Wege auf einer SMD-Platine, sowohl innerhalb der Bauelemente, als auch die Verbindungsstrecken auf der Platine, viel kürzer, als dies mit herkömmlichen Komponenten überhaupt möglich wäre.

Wärme

Elektrische Schaltungen produzieren neben dem gewünschten Signal immer auch einen sehr großen Anteil Wärme. Diese Hitze muss vom Bauteil abgeleitet werden, damit sich das Modul nicht durch die produzierte Abwärme selbst zerstört. Dabei gerät die SMD-Technik an eines ihrer wich-



Zum Größenvergleich ein Streichholzbriefchen. Als THT-Modul wäre diese Größendimension nicht erreichbar

stigsten Probleme. Denn mit der verringerten Oberfläche verlieren die Komponenten auch ihre essentielle Wärmeleitung. Übrig bleibt nur die Möglichkeit die Wärme über die Lötstellen auf die Platine zu verteilen. Dies ist natürlich nicht so einfach und so sind die thermischen Anforderungen an Bauelemente in SMD deutlich höher als bei größeren Komponenten. Hinzu kommt, dass die Verlötlung von SMD Platinen meist in sogenannten Reflow-Öfen durchgeführt wird. Dabei werden die Platinen zunächst mit Lotmittel bedruckt, anschließend bestückt und mit verschiedenen Verfahren gebacken. Die Temperatur kann dabei 250 Grad Celsius und mehr betragen. Die thermische Belastung liegt damit um ein Vielfaches höher als bei der Durchsteckmontage, bei der die einzelnen Komponenten durch das Löten an ihren Anschlussbeinchen selten mit mehr als kurzzeitig einwirkenden 100 Grad Celsius belastet werden. Bei der Herstellung stellt diese Belastung natürlich indirekt eine Qualitätskontrolle dar – angeschlagene Komponenten fallen bei der Verlötlung oft aus und können sich so schwieriger als Ausfallkandidat in das Endprodukt ‚schummeln‘. Module, die den Lötvorgang unbeschadet überstehen, werden wahrscheinlich auch den thermischen Belastungen im Alltag standhalten können. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Reflow-Lötung ist die daraus resultierende künstliche Alterung der gesamten Schaltung. Eine Platine, die diesen Erhitzungs- und Abkühlungsprozess hinter sich hat, wird sich, im Vergleich zur bedrahteten Technik, während der Lebenszeit nur noch unwesentlich durch Alterung in ihren technischen Parametern verändern.

Wertgenauigkeit

Wenn man in einen Elektronikladen geht und einen Kondensator kaufen möchte, dann erhält man ein Bauelement, dessen Hauptaufgabe es ist, eine gewünschte Kapazität bereitzustellen. Ungewollt erwirbt man dabei natürlich auch verschiedene Widerstände und Induktivitäten. Es gibt keine Komponenten auf der Welt, die eine elektrische Eigenschaft isoliert bereitstellen können. Dennoch sind die ungewollten Eigenschaften von SMD-Bauteilen deutlich geringer als die von bedrahteten Komponenten. So entstehen bei der Durchsteckmontage automatisch Kapazitäten und Induktivitäten, allein durch die Stärke der Platine und die Anschlussleitungen, was bei SMD sehr deutlich verringert auftritt. Eine SMD-Schaltung wird somit bei höheren Frequenzen genauer an das zuvor errechnete Ergebnis heranreichen, als ein klassischer Aufbau. Daraus folgt eine mögliche Verbesserung des Phasen- und Frequenzgangs der Baugruppe insgesamt.

Grenzen

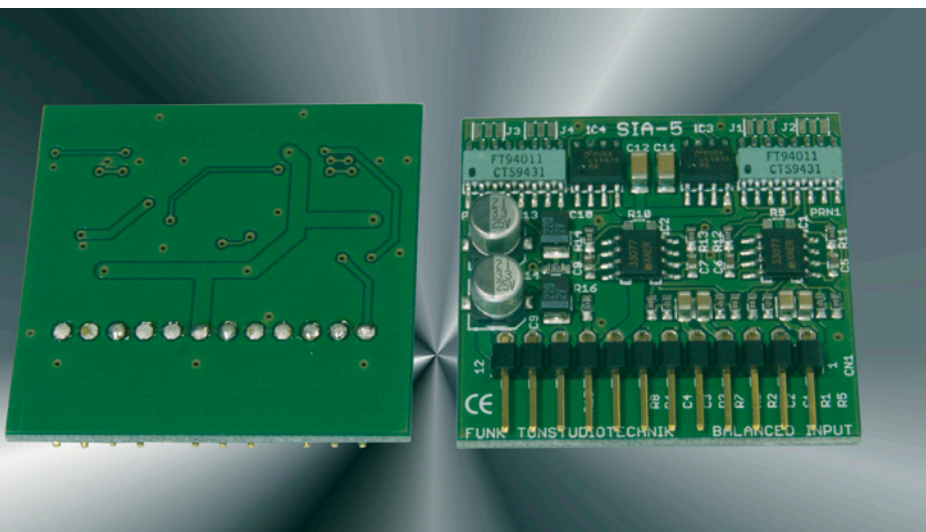
Die SMD-Technik erreicht ihre Grenzen, wenn es um hohe Leistungen geht. Hierbei stellt die Kühlung das größte Problem dar, wenn es bei Leistungen im zweistelligen Bereich und darüber gilt, hohe Abwärmemengen schnell an die Luft zu überführen. Auch hier gibt es bereits Lösungen, bei denen spezielle Metallschienen in die Platinen integriert werden, die dazu dienen, die Hitze von den Bauteilen wegzuleiten. Diese Lösungen sind jedoch aufwendig und teuer. Zusätzlich sind hohe Kapazitäten bei höheren Spannungen ein Problem, da die entsprechenden Kondensatoren ausreichend Platz benötigen, um in die gewünschte Leistungsfähigkeit zu besitzen. Gerade in der Audiotechnik spricht jedoch nichts gegen die Verwendung von gemischten Platinenlayouts, auf denen die verschiedenen Bauformen munter kombiniert werden. Abbildung X zeigt eine solche Kombination, bei der Elektrolytkondensatoren in klassischer, radialer Bauform in eine ansonsten zum größten Teil aus SMD-Komponenten bestehende Schaltung integriert wurden. Ein weiteres Problem stellt die mechanische Beanspruchung dar. Durch die Art der Kontaktierung der Bauteile auf die Platine ist die Gefahr von Bruchschäden beim Verbiegen der Platine mit ihren starren Bauteilen deutlich größer als bei bedrahteten Bauelementen, die durch ihre Anschlussart eine deutlich größere Flexibilität aufweisen. Vor allem keramische Vielschichtkondensatoren in SMD sind anfällig für Bruchschäden und daraus entstehende Kurzschlüsse. Da jedoch die Biegekräfte auf

einer für Audiozwecke genutzten Platine durch die feste Verschraubung mit dem Gehäuse, zumindest im Studiobereich, kaum eine Rolle spielen, kann auch dieses Problem vernachlässigt werden. Da die Platinen in SMD jedoch meistens deutlich kleiner sind, ist auch die Steifheit höher, so dass die Biegekräfte von vornherein nicht so starken Einfluss haben. Für anspruchsvollere Einsatzgebiete gibt es inzwischen Montagemethoden, die das Problem auch für mobil eingesetzte Geräte lösen können, die stärkeren Beanspruchungen ausgesetzt sind. Durch Probleme dieser Art wird es auf der anderen Seite jedoch sehr schwierig einige SMD-Komponenten von Hand zu löten. Dadurch sind Entwicklungsplatinen und Prototypen deutlich komplizierter zu realisieren, als dies mit THT-Modulen der Fall ist. Wobei allerdings gerade für Prototypen der Vorteil bleibt, dass eine SMD-Lötstelle nahezu beliebig oft gelöst und wieder hergestellt werden kann. Bei Durchkontaktierung wird es nach einigen Lötvorgängen bereits schwierig, die Kontaktfläche der Leiterbahn und die Kupferschicht in den Bohrungen nicht zu beschädigen. Allerdings benötigt man zum SMD-Löten aufwändigere Lötgeräte und mehr Geduld. Der Aufwand wird von vielen Entwicklern gescheut, weshalb SMD meistens nur bei Großserien genutzt wird, die wiederum von einigen Anwendern ohnehin auf Grund ihrer mangelnden Exklusivität abgelehnt werden. Für einen Mischpulhersteller mit wenigen Geräten pro Jahr wird es oft schwierig, den Mehraufwand zu rechtfertigen.

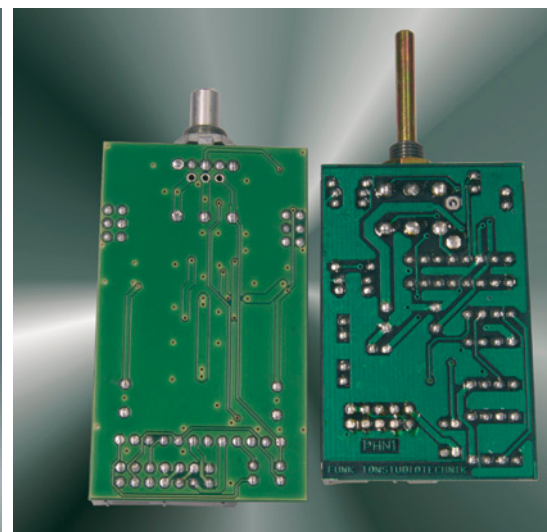
Vorurteile

Somit bleibt die Frage, wie sich die elektrischen Eigenschaften auch negativ auf die Audioqualität auswirken können.

Dabei kann eigentlich nur die Antwort ‚gar nicht‘ gegeben werden. Als Argumentation für die schlechteren Eigenschaften einer SMD-Schaltung wird manchmal die ‚Geschwindigkeit‘ genannt. Was damit gemeint ist, bleibt oft unklar und kann von vielen Laien auch nicht konkretisiert werden. Oft kommt es zu Verwechslungen zwischen den Anstiegszeiten, also der sogenannten Slew-Rate und dem Crest-Faktor (auch Scheitelfaktor genannt) einer Schaltung. Der Crest-Faktor beschreibt das Verhältnis zwischen dem Scheitelwert (also der Amplitude) und dem Effektivwert einer Welle. Nur ist der Crest-Faktor kein Messwert für die vermeintliche ‚Schnelligkeit‘, man kann ihn jedoch zur Bewertung des Headrooms eines Systems heranziehen. Nun wird gelegentlich angenommen, dass eine SMD-Schaltung einen geringeren Headroom als ein klassisches Design aufweisen würde. Für diese Annahme gibt es jedoch kein technisches Argument, da der Headroom einzig und allein vom Schaltungsdesign, der Komponentenauswahl und der zur Verfügung stehenden Stromversorgung, völlig unabhängig von der Bauteilform, bestimmt wird. Als zweites wird mit der ‚Schnelligkeit‘ argumentiert, also der Fähigkeit einer Schaltung einem Impuls zu folgen. Dies wird bei Operationsverstärkern mit der sogenannten Slew-Rate in der Einheit Volt/ μ s gemessen. Da ein ‚schnelles‘ System immer auch eine hohe Bandbreite aufweisen muss, genügt es, einen Blick in die Frequenzgangfähigkeiten von SMD-Schaltungen zu wagen. Enorme Anforderungen an den Frequenzgang weisen zum Beispiel Hochfrequenzmessgeräte auf. Diese sind heutzutage fast vollständig in SMD-Bauart gefertigt und ermöglichen bestimmte Operationen im Hochfrequenzbereich erst, die mit konventionellen Systemen, wie bereits erwähnt, gar nicht möglich wären. Derartige

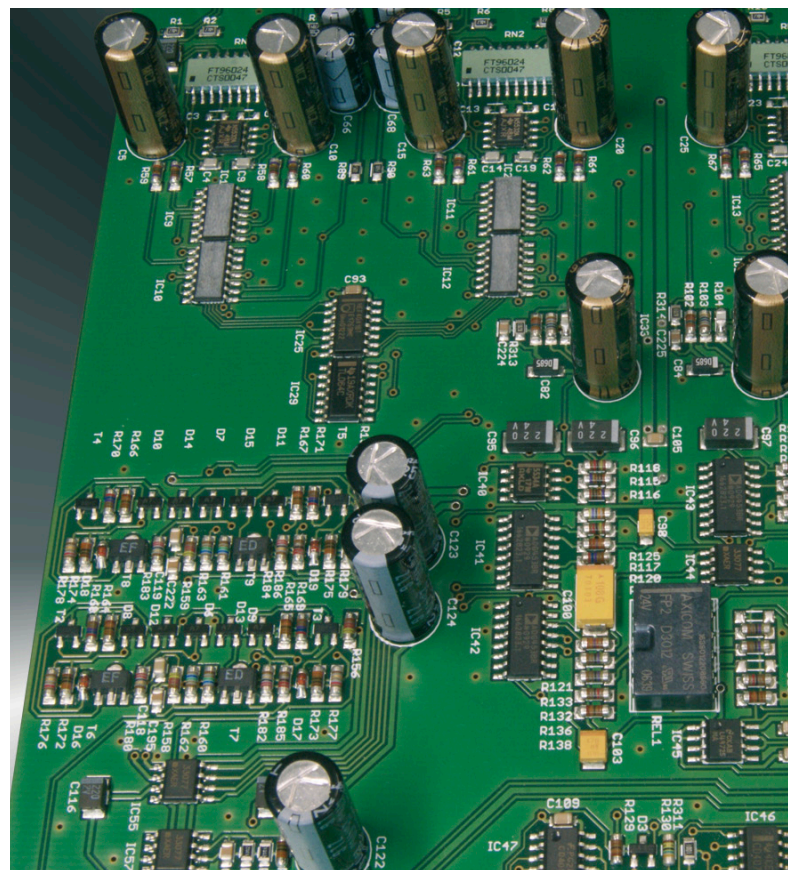


Ein symmetrischer Instrumentenverstärker als SMD-Aufsteckplatine. Zu sehen ist, dass außer für die Kontaktstifte keine Durchkontaktierung verwendet wurde



Zum Vergleich eine Platine in SMD- neben einer THT-Platine. Die Unterschiede der Kontaktierung sind mehr als deutlich

Schaltungen haben ihre Frequenzgrenze jedoch bei vielen Megahertz oder sogar weit in den Gigahertzbereich hinein. Solche Bandbreiten haben im Audibereich aber keinerlei Relevanz. Selbst eine Rechteckwelle aus einer digitalen 192 oder gar 384 kHz Quelle hätte eine Flankenanstiegs- geschwindigkeit, der eine in SMD aufgebaute Schaltung mühelos folgen kann. Von der Relevanz solcher Frequenzen für das menschliche Ohr einmal gänzlich abgesehen. Ob das System dem Impuls ohne Überschwinger und andere Nebeneffekte folgen kann, lässt sich aus der Slew-Rate nicht zweifelsfrei ablesen. Hierzu wird ein Blick auf weitere Diagramme nötig, die das Verhalten bei kleinen und großen Signalen zeigen und von den meisten Herstellern zu ihren Produkten angeboten werden. Bei Operationsverstärkern, die in beiden Bauformen angeboten werden, gleichen sich die Angaben für beide Bauformen. Auch hier findet sich also kein Argument gegen die SMD-Technik. Die Schaltung wird somit nicht den begrenzenden Faktor bei der Signalflankenwiedergabe liefern, wenn sie gut gemacht wurde. Von einer prinzipiellen Uneignung von SMD für die Musikwiedergabe oder -aufnahme kann also auf gar keinen Fall gesprochen werden. Wie immer entscheidet das Know-how des Entwicklers und nicht die Technologie als solche. Die benötigten Komponenten sind haufenweise am Markt zu finden – für beide Bauformate. Für manche Nutzer ist es allein der Blick in das Gerätegehäuse der enttäuscht: ‚Für das bisschen hab ich so viel Geld bezahlt?‘

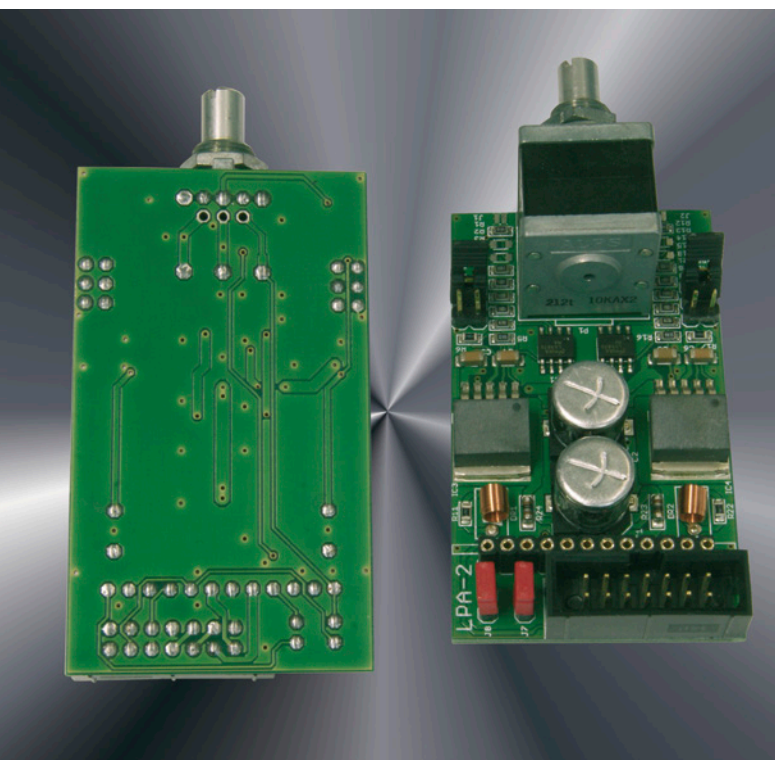


Gemischte Bestückung ist kein Problem. Manche Bauteile (hier Elektrolytkondensatoren) sind auf Grund ihrer Größe nur eingeschränkt in SMD verfügbar

Wirtschaftlichkeit

Da die Bestückungskosten für SMD-Bauteile in mittleren oder großen Serien in der Regel deutlich geringer ausfallen, lassen sich für den gleichen Geldeinsatz oft eine höhere Qualität erreichen oder zusätzliche Funktionen realisieren.

Es zeigt sich auch bei diesem Thema, dass die generellen Vorbehalte mal wieder auf Vorurteilen beruhen, die eine Technologie als solche in Misskredit bringen. Aber auch die Transistortechnik hatte es nicht leicht, sich gegen die lieb gewonnene Röhrenschaltung durchzusetzen. Gerade in der Audiobranche lassen sich Geräte mit ‚Vintage-Charakter‘ und ‚Retrodiesign‘ heutzutage besser vermarkten, als aktuelle, auf modernen Bauteilen und Schaltungsdesigns beruhende Entwicklungen. Neutral betrachtet spricht also eigentlich überhaupt nichts dagegen, eine SMD-Schaltung für herausragend gute Audiogeräte zu verwenden. Wie immer gilt es auch hier, die Qualität mit den Ohren zu bewerten und keine Technologie ‚aus Prinzip‘ abzulehnen. Die Antwort auf die Frage in der Überschrift ist also ein eindeutiges ‚Nein‘. Übrigens muss ein Schmetterling nur 300 Meter pro Stunde schaffen, um im Verhältnis genauso schnell zu sein wie ein Jumbojet. Diese kleinen Raser.



Die Durchkontaktierung wurde nur für die Steckkontakte verwendet

K 30603

studio

technik aktuell



**ORDER
ONLINE**

*Rund 450 Produktneuerscheinungen
in über 30 Kategorien mit
umfangreicher Studio-Mikrofonliste*

*Jetzt in unserem Online-Shop
www.studio-magazin.de*

Sonderausgabe Studio Magazin

MasteringWorks
High-end audio gear distribution

MULTI-STATION 3 BAY

Sterling, SUZALSKI SWIST, rochruapel, DANGEROUS MUSIC

www.masteringworks.com

xpressor
DISCRETE CLASS-A STEREO COMPRESSOR

elysia

Auto, Fast, GRL 13, 14, 12

JETZT AUCH IN 19 ZOLL

Klingt umwerfend gut.
Ist flexibel wie kein Zweiter.
Kostet weniger, als du denkst.

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,- €/Stk.

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

E-trap
Aktiver Tieftonabsorber
1899,- €/Stk.

BAG END

HÖRZONE

Hörzone GmbH
Balanstraße 34 · 81669 München
Tel. 089-721 10 06 · info@hoerzone.de
www.hoerzone.de

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

AVALON DESIGN
PURE CLASS A MUSIC RECORDING SYSTEMS

V5 DI-RE-MIC PREAMPLIFIER

Avalon Europe
Tel. +49 89 81886949
euroavalon@aol.com · www.avalondesign.com

Avalon USA
Tel. +1 949 4922000

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: Cinesound Berlin

...wir bauen Studios

- Messung
- Beratung
- Planung
- Akustikmodule
- Montage

www.mbakustik.de

mbakustik
büro für akustik und studiodesign



habst.de • +49 (0) 30 695 34 895

HABST
KABELANFABRIK

Master Clocks
Signalverteiler
Formatkonverter
Abtastratenwandler
Referenzgeneratoren

studio essentials!

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

MTX-MONITOR.V3 Abhörverstärker

MTX-Monitor.V3 mit neuer, extrem neutraler Audioelektronik für anspruchsvolle Stereo-Abhöraufgaben im Studio- und High-End-Bereich. Kopfhörerverstärker und Messausgänge für Stereo-Peakmeter/Korrelator sind integriert. Alle Funktionen fernsteuerbar. Unser Programm:

- analoge Stereo-Router und Summierer
- analoge Surroundrouter/Verteiler
- Symmetrier- und Verteilverstärker
- hochwertige Stromversorgungen

INFOS: www.funk-tonstudioteknik.de E-MAIL: funk@funk-tonstudioteknik.de
FUNK TONSTUDIOTECHNIK 10997 BERLIN PFUELSTR.1A TEL. 030-6115123 FAX 030-6123449

dedicated to audio


1958 2008

www.gotham.ch

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

Linkes Ohr.
Rechtes Ohr.
Audiotools.



Audiotools Studiotchnik
Berndt H. Bauer

MOBILE RECORDING



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


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


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 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 | 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

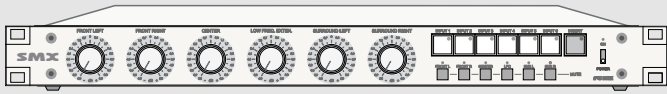
P.o.E. sarl

Informationen unter
0172 673 5644 info@zaor.de
www.zaor.de
www.pearl.poe-music.com
www.solidstatelogic.com



SMDC

5.1 SURROUND-ROUTER
5.1 SURROUND-VERTEILER
für höchste Ansprüche



- * 6-Kanal SURROUND-Quellen auswählen (6x)
- * 6-Kanal SURROUND-Quellen verteilen (6x)
- * Stereo- u. 6-Kanalquellen gemeinsam abhören
- * 6-Kanal-Einschleiffunktion (Insert)
- * kanalgetrennte Pegel-Feinkorrektur + Mute
- * vollsymmetrisch, Signalweg aktiv oder passiv
- * exzellente Signalqualität
- * THD 1kHz..... typ. 0,0001%
- * Dynamik.....129 dB
- * Gleichtaktunterdrückung 110 dB
- * Übersprechen 10kHz < -120 dB
- * 20Hz...20kHz..... +/- 0,01dB
- * Noise..... - 105 dBu CCIR eff.
- * Netzversorgung.....90..245V

INFOS: www.funk-tonstudioteknik.de E-MAIL: funk@funk-tonstudioteknik.de
FUNK TONSTUDIOTECHNIK D-10997 BERLIN PFUELSTR.1A TEL. 030-6115123 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

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

Sie haben bestimmt schon von uns gehört.

SST - Schallplatten Schneid Technik Brüggemann GmbH - www.sst-ffm.de
seit 1969



MANGER

PRÄZISION IN SCHALL

„Achtung
Suchtgefahr!“

Studiomagazin 11/11

Reference
Studio Monitor
MSMc1

www.manger-msw.de

PASSIVER HIGH-END STUDIOMONITOR



VERDADE
STUDIOMONITORE

HANDMADE IN GERMANY

WWW.SKY-AUDIO.DE

Vertrieb

Direktvertrieb



D.W. FEARN

DAVE HILL DESIGNS

Pendulum Audio



Smart Research Ltd
www.smartresearch.co.uk



slate pro audio

akzent
audio

akzent audio • Jean Hund • Tulpenweg 4 • 76571 Gaggenau
T 07225 913730 • mail@akzent-audio.de • www.akzent-audio.de

XL2 Audio- und Akustik Analysator

von Profis für Profis!

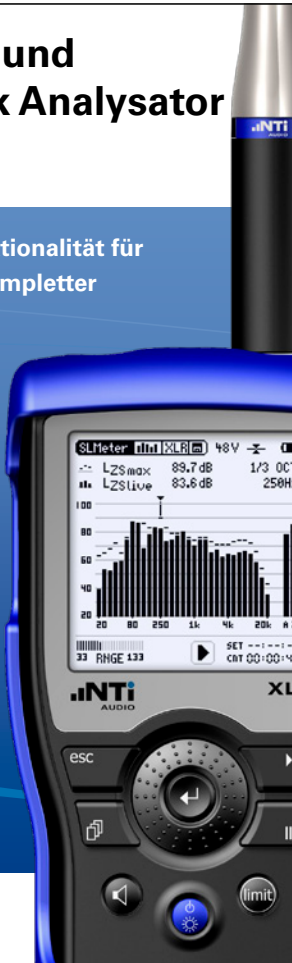
XL2 bietet kompromisslose Funktionalität für die Überprüfung und Wartung kompletter Audio-Systeme. Er analysiert:

- 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



Schweizer Qualität



NEW

PT0760M

Multichannel HD/SD Waveform Monitor



"Solutions in Audio & Video"




DK - Technologies

HAUPTFUNKTIONEN PT0760M/00A


- 1 x HD/SD-SDI, autoformat De-Embedder
- Module für AES Ein- und Ausgänge
- Module für analog Audio
- Dolby E/AC3-Decodermodul
- 5.1 Surround Sound Messung
- ITU-Loudness mit 400Hz oder 1 kHz Referenz

Email: info@dk-technologies.com • Web: www.dk-technologies.com
 Tel: +49 (0)40-70103707 • Fax: +49 (0)40-70103705

DK-Technologies Germany GmbH, Tibarg 32c, 22459 Hamburg.




Forsell Technologies SMP-2



Deutscher Vertrieb durch
www.adebar-acoustics.de



» NEUMANN.BERLIN

Smart. Sweet. Powerful.

TLM 102

Georg Neumann GmbH • Ollenhauerstraße 98 • 13403 Berlin • Germany • www.neumann.com

FOR-TUNE

Vertrieb für professionelle Studioteknik




Zuverlässige Verbindungen!



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

weitere Informationen unter www.vovox.com



Full-Service zu Internetpreisen

Top 5
im Preisvergleich

W.123 CD.de



Presswerk-gemeinschaft

Werden Sie Stützpunkthändler auf Provisionsbasis!

Händler-Anfragen bitte an info@123cd.de

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

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 | Tel.: +49 (0) 61 42 / 55 00 850

VERTIGO SOUND
DISCRETE VCA COMPRESSION



www.vertigosound.com
distributed by www.hestudiotechnik.de

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



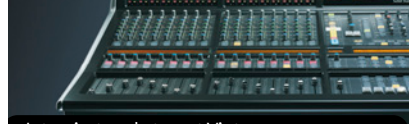
Digital und intuitiv mit Workstationsteuerung

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

Music.
This is SSL.

Solid State Logic
SOUND | | VISION

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