

# studioemagazin



## Grundlagen der Studioteknik

### **Gebrannte Scheibe**

Vom Datenträger zum Presswerk

### **Filesharing**

Möglichkeiten des Projektaustauschs  
zwischen verschiedenen DAWs

**-10 + 4 + 6 = ?**

Pegelbezüge im Tonstudio

### **Filtertechnik**

Hintergrundbetrachtung zu analogen und  
digitalen Equalizern

### **Der Ohren bester Freund**

Überlegungen zur Abhörsituation in Tonstudios

### **Wachablösung**

Lautheitsmessung in Broadcast und Produktion



# MediorNet Compact

Synchrones 50G Echtzeitnetzwerk für 3G/HD/SD-SDI Video, Audio, Daten & Intercom zum Preis einer Multiplexing-Punkt-zu-Punkt-Lösung. Flexibles Signalrouting inkl. Punkt-zu-Multipunkt. Integrierter Frame Store Synchronizer, Embedder/De-Embedder, Test Pattern Generator, On-Screen Display & Timecode Insertion an allen Ein-/Ausgängen. Kompatibel mit anderen MediorNet Systemen.

[www.riedel.net](http://www.riedel.net)



Integriertes Echtzeitnetzwerk im Überblick



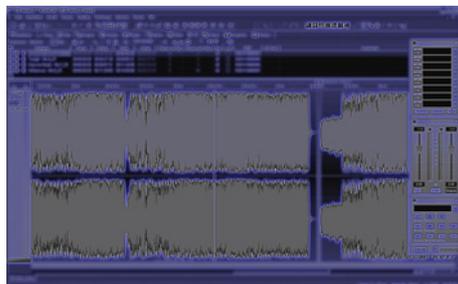
Mark Dittmer (Firehouse Productions) spricht über Rocknet mit Studer Vista 5

## 4 Editorial

## 6 Gebrannte Scheibe

### Vom Datenträger zum Presswerk

Friedemann Kootz



## 17 Filesharing

### Möglichkeiten des Projektaustauschs zwischen verschiedenen DAWs

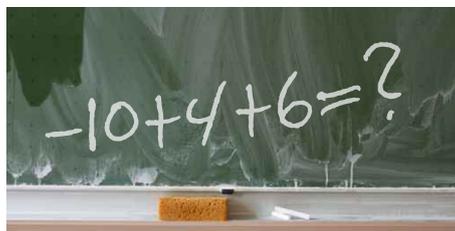
Friedemann Kootz



## 28 -10 + 4 + 6 = ?

### Pegelbezüge im Tonstudio

Friedemann Kootz



## 36 Filtertechnik Teil 1

### Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern

Friedemann Kootz



## 48 Filtertechnik Teil 2

### Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern

Friedemann Kootz

## 58 Filtertechnik Teil 3

### Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern

Friedemann Kootz

## 67 Der Ohren bester Freund

### Überlegungen zur Abhör-situation in Tonstudios

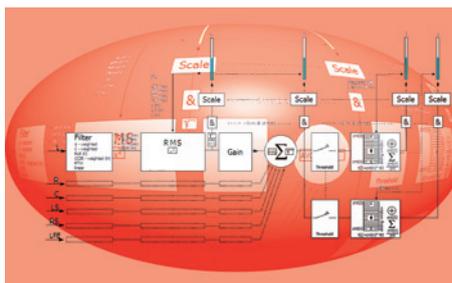
Fritz Fey



## 75 Wachablösung

### Lautheitsmessung in Broadcast und Produktion

Michael Kahsnitz



**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**  
Dieter Kahlen  
dieter@studio-magazin.de  
Friedemann Kootz  
friedemann@studio-magazin.de  
Marcus Döring  
marcus@studio-magazin.de

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

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

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

**Titeldesign**  
Patrizia Casagrande

**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**



**Jetzt Studio Magazin Abonnent werden!**



## Clemens Wilmenrod kocht...

Fritz Fey Chefredakteur Studio Magazin

Ich kann wirklich gut verstehen, dass man gegen alle graue Theorie allergische Reaktionen entwickelt, aber ebenso einleuchtend sollte sein, dass man ohne fundiertes Wissen weitestgehend im Dunklen tappt. Natürlich träumt jeder Sänger vom Bad in der begeisterten Menge und kollektiver Gänsehaut, doch ohne musikalische Grundkenntnisse oder scheinbar so unbedeutende Dinge wie Atemtechnik oder Intonationsdisziplin will sich der ‚magische Moment‘ auf der Bühne vielleicht nicht einstellen. Ganz genauso verhält es sich mit einer Tätigkeit, die in erster Linie von trockenen und sehr komplexen technischen Gesamtzusammenhängen bestimmt wird. Daran hat auch die auf den ersten Blick so einfach zu bedienende Digitaltechnik nichts geändert – im Gegenteil: Studio-technik ist aufgrund ihrer komplexen Struktur und einer unüberschaubaren Fülle von Funktionen noch weniger beherrschbar geworden, als sie es in den guten alten analogen Tagen eh schon war. Man braucht den technischen Durchblick, um kreative Ideen umsetzen zu können. Das Aufrufen von Plug-In-Presets ist auf Dauer kein befriedigender Weg, auch wenn die Anbieter von Audiosoftware es natürlich gut meinen, wenn sie ihrem Produkt gespeicherte Kompressor-Voreinstellungen mit klangvollen Bezeichnungen wie ‚Fat Bass‘ oder ‚Punchy Rockdrums‘ beistellen. Der ‚Sound von der Stange‘ ist doch nicht das, womit wir uns als technisch Kreative am Ende schmücken wollen. Eine Klangvision kann man nur dann gezielt entwickeln, wenn man weiß, was man tut. Dazu gehört nicht nur das Verständnis einzelner Einstellparameter wie ‚Attack‘, ‚Threshold‘ oder ‚Sidechain Filter‘, sondern auch die Vorstellung, wie ein solcher Parameter das bearbeitete Signal im Sinne einer spontan entwickelten Klangidee verändern könnte. Bestimmte Funktionen arbeiten zum Beispiel pegelabhängig und ihr argloser Einsatz führt möglicherweise zum Signal-Overkill. Kochrezepte, wie wir sie überall im Umfeld des Homerecording veröffentlicht finden, haben nur dann einen Sinn, wenn man weiß, warum sie eventuell funktionieren könnten. Der eifrige Fernsehzuschauer sieht sich heute mit ei-

ner Vielzahl von Kochshows konfrontiert, die allesamt vermitteln, wie einfach man wohlschmeckende Gerichte zubereiten kann, in dem man genau das nachmacht, was der Fernsehkoch ‚schon mal vorbereitet hat‘. Der Urvater aller Kochshows, ein gewisser Clemens Wilmenrod, hatte keine Ausbildung als Koch, sondern war Schauspieler und kurioserweise ausgebildeter Pianist. Seine von wenig Erfolg begleitete Schauspielkarriere entwickelte eine ungeheure Dynamik, als seine Frau die Idee einer Fernsehküche hatte und Herr Wilmenrod kurzerhand in die Rolle des Fernsehkochs schlüpfte. Von den frühen 50ern bis Mitte der 60er Jahre beglückte er seine Zuschauer mit Kochrezepten und verwendete ohne Scham Dosengemüse, Fertigsoßen und Ketchup. Ein Kochamateur beziehungsweise Kochdarsteller bildete also die deutsche Nation aus. Wenn das keine Parallelen zu unserem Gewerbe auf den Plan ruft. Für eine Fachredaktion gehört die Aus- und Weiterbildung ihrer Leser zu den wichtigsten Aufgaben, auch wenn man dieser Maßgabe folgend auf den ersten Blick anstrengende und ‚langweilige‘ Informationen liefern muss, die zunächst einmal keinen wirklichen Spaß an der täglichen Arbeit auslösen. Der Spaß tritt erst zu Tage, wenn dem Tonschaffenden an irgendeiner Stelle ein Licht aufgeht und er plötzlich Zusammenhänge und Auswirkungen seines Tuns begreift. Diese Ausgabe des Studio eMagazins ist eine Sammlung wichtigen Grundlagenwissens, das helfen soll, schneller, effektiver und erfolgreicher zu arbeiten. Die vielen ‚Toningenieurdarsteller‘, die unseren Markt bevölkern, können dazu nur wenig beitragen. Die Frage nach einem ‚fetten Drumsound‘, die schon hundertmal auf unterschiedliche Weise mit Kochrezepten á la Clemens Wilmenrod beantwortet wurde, muss man einfach unter anderen Voraussetzungen stellen. Meine Antwort: Man ruft den besten Schlagzeuger an, den man kennt, und stellt ein paar Mikrofone nach eigener Vorstellung auf. Selbige kann man aber nur dann sinnvoll entwickeln, wenn man sich zuvor mit Mikrofonen, ihrer Bauform, dem Instrument und raumakustischen Aspekten beschäftigt hat...



# Analoge Audio Plug Ins der Spitzenklasse für Frontends • Processing • Stereo Mastering

Stellen Sie Ihren Channel Strip, Ihr Bearbeitungs-Kit oder Ihr Stereo Mastering Setup so zusammen wie Sie möchten. ToolMod bietet Ihnen Module für alle Anwendungen in horizontalen und vertikalen Versionen mit + 30 dBu Headroom und 120 dB Dynamikbereich



Alle ToolMod Komponenten lassen sich auf jede Art zusammenstellen, beliebig erweitern und umkonfigurieren - zu Preisen, die auch in das Budget eines kleineren Studios passen. Zum Beispiel:

## Die ToolMod Mic-PreAmps



**TM101 Mic-Pre mit Eingangübertrager**  
Der klassische adt-audio Mikrofonverstärker, der Transparenz und Wärme in einziger Art vereint.  
Preis: € 395.00 \*)

**TM102 diskreter Mic-Pre**  
Der neutrale Mic-Pre mit diskreter Eingangsstufe und schaltbarer Belastung des Mikrofons  
Preis: € 365.00 \*)

ToolMod verwendet die gleichen Komponenten, die auch in unseren Produktionsmischpulten eingesetzt werden. Der Verzicht auf eine teure Optik und der Fokus auf die klanglichen und technischen Eigenschaften ermöglichen ein für diese Qualitätsklasse ungewöhnliches Preisniveau.

ToolMod können Sie direkt ab Werk bei uns beziehen:  
E-Mail: [sales@adt-audio.com](mailto:sales@adt-audio.com)  
Tel.: +49 2043 51061  
[www.adt-audio.de](http://www.adt-audio.de)  
[www.adt-audio.com](http://www.adt-audio.com)

## Die ToolMod Stereo Mastering Geräte



**TM222** - der Stereo Mastering Compressor mit zahlreichen Zusatzfunktionen, der mehr als 10 dB Lautheitsgewinn ohne Verlust an Natürlichkeit ermöglicht.  
Preis: € 830.00 \*)



**TM205** der Stereo Mastering Equalizer mit 3 vollparametrischen Bänder für komplexe Bearbeitung von Stereosignalen.  
Preis: € 850.00 \*)

**TM105 der universelle 5-Band EQ**  
für seidigen Glanz und transparente Bässe  
Preis: € 370.00 \*)



**TM112 der variable Kompressor**  
für alle Fälle mit Zusatzfunktionen für druckvolle Bässe und extreme Lautheit ohne Pumpen  
Preis: € 360.00 \*)



**TM215 der Stereo Mastering Limiter**  
Extrem schneller Spitzenbegrenzer für die unhörbare Ausregelung von Peaks.  
Preis: € 495.00 \*)

**TM130 die M/S Matrix**  
mit Basisbreiten- und Richtungsreglung, kombiniert mit einem elliptischen EQ, für Mastering und Stereo Mikrofone  
Preis: € 615.00 \*)



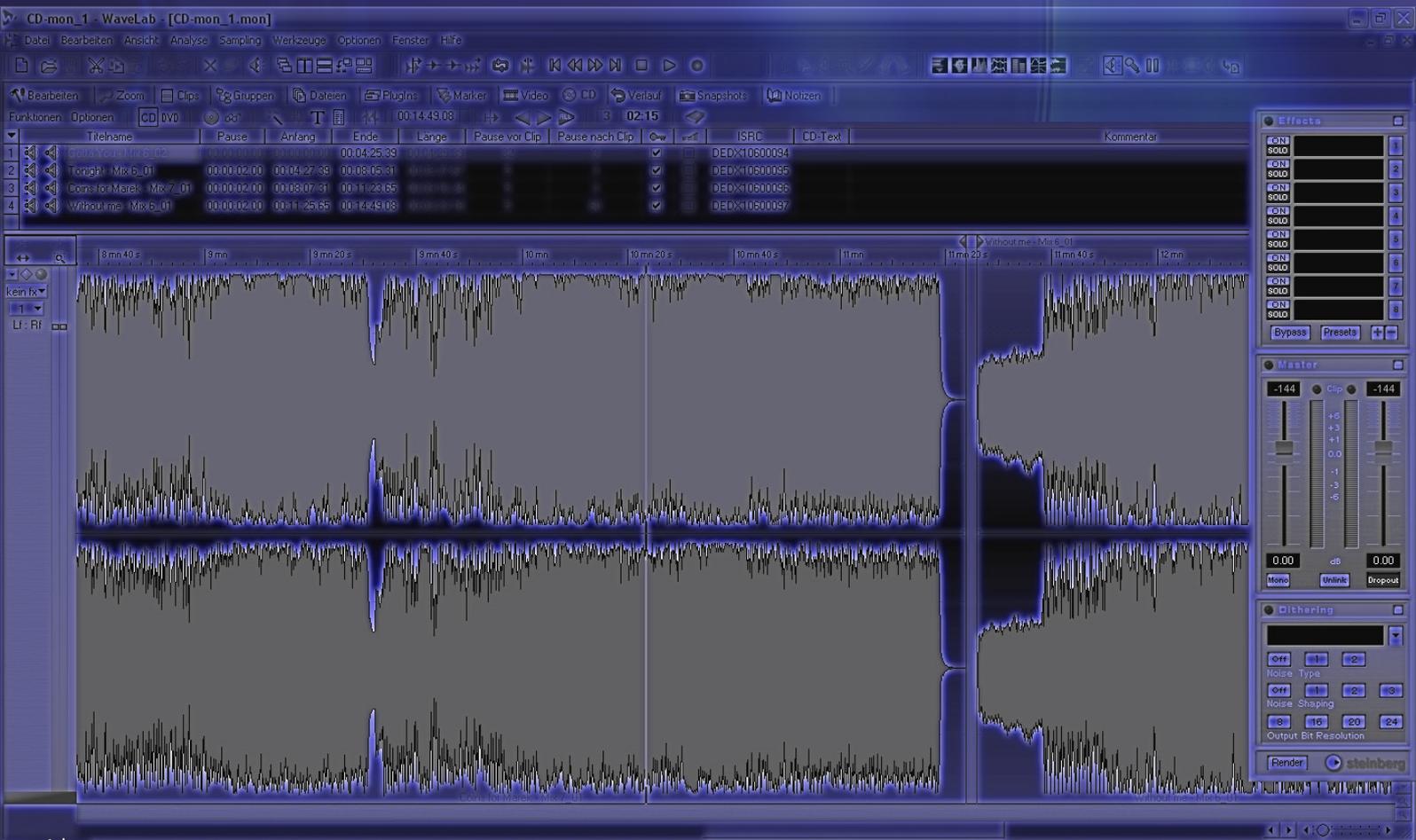
ein 1HE-Rahmen mit Netzgerät und Verbindungskabel kosten zusammen €441.00 \*)  
\*) alle Preisangaben verstehen sich zzgl. MwSt. und Versandkosten,

# GEBRANNTE SCHEIBE

## Vom Datenträger zum Presswerk – 2009

Nicht nur professionelle Masteringhäuser, sondern viele ‚normale‘ Tonstudios und auch ambitionierte Laien fertigen heute eigene Master, die direkt an das Presswerk übergeben werden. Egal ob für einen Charthit oder die Kleinserie, welche Formate sollten gewählt werden und was kann bei der Übermittlung eigentlich alles schief gehen? Werfen wir einen Blick auf einige wichtige Möglichkeiten und Datenträger für den Audiobereich und sprechen mit zwei Kollegen, die freundlicherweise ihre Empfehlungen abgegeben haben - aus beiden Sichtweisen, der des Masterings und der des Presswerks.

Letztendlich muss abgeliefert werden. Entweder auf einem physikalisch existenten Datenträger oder als Datei auf einem Server. Egal welcher Weg gewählt wird - er erfordert das Einhalten bestimmter Regeln, die die Verarbeitung erleichtern und Fehler vermeiden helfen sollen. Die Distribution als datenreduzierte Downloaddatei, wie etwa der MP3, gestaltet sich dabei in diesem Punkt etwas einfacher, obwohl auch hierbei durchaus einige Regeln beachtet werden sollten, auf die wir vielleicht in einem späteren Artikel einmal genauer eingehen wollen. Es stellt sich also für uns die Frage: In welchem Format müssen die Daten ins Presswerk geliefert werden, um korrekt weiterverarbeitet werden zu können?



# Miktek™

## Aus Liebe zur echten Musik!

Precision microphones handmade in Nashville, TN USA.



CV4

„...Man hört zu und ist unmittelbar gefangen von diesem klassischen Sound: Rund, weich homogen, warm.“ „...Ein Klassiker zum Schnäppchenpreis.“  
Fritz Fey, Studio Magazin 6/2011



C5

„...mit ausgezeichneter tonaler Ausgewogenheit.“ „...die Tiefen kamen sauber, die Mitten ausgeglichen und die Höhen klangen seidig und für eine Niere sogar richtig luftig.“ Fritz Fey, Studio Magazin 6/2011



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

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



## Compact Disc

Der klassische Fall wäre die Audio-CD (die genau genommen ‚Compact Disc – Digital Audio‘, also CD-DA heißt, aber manchmal sollte man einfach auf die strenge Genauigkeit verzichten...), die immer noch das meist verwendete Trägermedium für Musik darstellt. Obwohl oder vielleicht gerade weil für dieses Medium wahrscheinlich die meiste Routine herrscht, gibt es hier immer wieder Stolpersteine, die den Ablauf der Produktion verzögern können. Als Transportmedium und Vorlage für die Pressung, also das sogenannte Master, werden meist CD-Recordables genutzt, die ein 1:1-Abbild der späteren Pressung darstellen sollten.

## Bunte Bücher

Die Spezifikationen für alle optischen Datenträger auf Compact Disc-Basis sind seit deren Einführung Ende der 1970er Jahre in den sogenannten ‚Rainbow Books‘ festgelegt. Das bekannteste und älteste davon ist das rote Buch (Englisch: Red Book), welches die Spezifikationen für die klassische Audio-CD enthält. Hierbei ergeben sich schon die ersten Komplikationen. Denn längst nicht alle Brennprogramme halten sich beim Brennen einer Audio-CD an die Vorgaben, die das Red Book vorschreibt. Und auch die vermeintlich harmlosen Abänderungen durch den Anwender verletzen oft genug die Regeln in ihrer ursprünglichen Form. Deshalb hier ein kleiner Überblick über die Probleme mit Red Book.

**Problem 1: Überlänge.** Eine Audio-CD ist maximal 74 Minuten lang. Das ergibt eine Datenmenge von runden 650 Megabyte, die zwar etwas erweitert werden kann, dann aber nicht mehr streng regelkonform ist. Die meisten CD-Player können mit überlangen CDs problemlos umgehen, dies ist aber nicht garantiert. Viele Presswerke führen Produktionen mit Überlänge nur aus, wenn sich der Kunde schriftlich auf eine Garantieeinschränkung einlässt. Die bloße Verwendung eines Rohlings mit 700 MB Kapazität ist übrigens kein Problem, da die Spezifikationen durchaus eine gewisse Toleranz, zum Beispiel beim Spurabstand, zulassen. Red Book wird erst verletzt, wenn der vergrößerte Speicherplatz auch wirklich verwendet wird. Anders sieht es jedoch bei CD-Rohlingen aus, deren Kapazitäten größer als 80 Minuten (700 MB) ist. Hier ergeben sich nicht nur Probleme mit sehr engen Spuren, sondern auch mit der Adressierung. Bei einer klassischen Audio-CD ist der gesamte Dateninhalt in Sektoren aufgeteilt. Sind die Adressen für diese Sektoren erschöpft, können nur noch ‚intelligente‘ Laufwerke mit speziellen Algorithmen auf diese übergroßen CDs zugreifen. Dies trifft jedoch nur auf sehr wenige CD-Laufwerke im HiFi-Bereich zu.

**Problem 2: Kopierverlust.** Unser Beispiel-Fall handelt von einem fiktiven Kollegen, der ein Master vom Presswerk zurück erhalten hat - zusammen mit dem Hinweis, es handle sich nicht um eine Red Book-CD. Der Kollege war jedoch seit vielen Jahren im Bereich des professionellen Masterings tätig und konnte sich zunächst nicht erklären, wie es zu diesem Fehler kommen konnte. Er wusste, dass er eine geprüfte Audio-CD mit seinen gewohnten, hochwertigen Rohlingen an den Kunden herausgegeben hatte. Er ahnte jedoch nicht, dass der Kunde nicht das Master selbst weitergegeben, sondern dieses auf seinem heimischen PC kopiert und dann die Kopie abgeschickt hatte. Dabei hatte auch der Kunde hochwertige CDs verwendet und sein Brenner war durchaus von solider Qualität, hier konnte das Problem also nicht liegen. Der Haken war der Kopiervorgang selbst. Denn das Programm, mit dem die Kopie vorgenommen wurde, kopiert CDs nicht Bit für Bit, sondern nur einen Teil der Rohdaten und verwirft viele zusätzliche Datenpakete, die es für irrelevant hält. Wichtige Informationen waren hier also verloren gegangen, was die Prüfsysteme des Presswerkes, zum Glück, rechtzeitig meldeten. Master sollten daher niemals kopiert werden. Verdeutlichen Sie Ihren Kunden, dass

	Titelname	Pause	Anfang	Ende	Länge	Pause vor Clip	Pause nach Clip			ISRC
1	Gotta You - Mix 6_02	00:00:00.00	00:00:00.00	00:04:25.39	00:04:25.39	32	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEDX10600094
2	Tonight - Mix 6_01	00:00:02.00	00:04:27.39	00:08:05.31	00:03:37.67	5	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEDX10600095
3	Coins for Marek - Mix 7_01	00:00:02.00	00:08:07.31	00:11:23.65	00:03:16.34	5	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEDX10600096
4	Without me - Mix 6_01	00:00:02.00	00:11:25.65	00:14:49.08	00:03:23.18	5	60	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEDX10600097

Die Standardwerte einer Red Book-konformen CD

es wichtig ist, nur das als Master beschriftete Medium an das Presswerk herauszugeben. Sollte er mehr Kopien benötigen, ist es am sinnvollsten, eine Listening-Copy als Quellmedium zu verwenden und diese auch so zu beschriften, damit Missverständnisse gar nicht erst entstehen können. Problem 3: Schlechte Rohlinge. Das Master wurde erfolgreich gebrannt und es lässt sich auch in einem CD-Player abspielen. Dennoch wird es vom Presswerk nicht angenommen. Dies kann möglicherweise daran liegen, dass das Medium zu viele nicht korrigierbare Fehler enthält. Audio-CDs besitzen zwei verschiedene Ebenen der Fehlererkennung und -korrektur. Die untere Ebene wird als C1 bezeichnet. Aufgrund von Toleranzen bei der Fertigung von CD-Rohlingen gibt es fast keine Medien, die keine C1-Fehler aufweisen. Dies spielt jedoch keine Rolle, da C1-Fehler bereits automatisch korrigiert wurden. Der C1-Fehler stellt somit eher eine Warnung

als einen tatsächlichen Fehler dar. Ähnlich verhält es sich in der zweiten Ebene, bei den so genannten C2-Fehlern. Auch hier werden die Fehler automatisch korrigiert und gemeldet. Da C2 jedoch bereits komplexere Fehler sind, sollten guten Datenträger keine einzige C2-Meldung auslösen. Sie werden in vielen Fällen jedoch vom Presswerk noch toleriert, da sie ja, wie erwähnt, korrigiert werden können. Tritt in einer der beiden Ebenen jedoch ein sogenannter CU auf, ist dies ein nicht mehr korrigierbarer Fehler. Bis zu einer gewissen Größe der CU-Fehler versuchen die meisten CD-Player, den Datenfluss durch Interpolation intakt zu halten. Dies kann in vielen Fällen zwar ein Störgeräusch verhindern, verschlechtert aber in jedem Fall die Qualität der Audiowiedergabe, da der CD-Player streng genommen nur ‚schätzt‘, wie die Modulation weiter verläuft. Bei langen Fehlern kann diese Interpolation nicht mehr erfolgreich durchgeführt wer-

## Akustische Lösungen ...



**Bagend e-trap**  
Aktiver Bassabsorber  
für Frequenzen von 20–60 Hz  
(Modifikation bis 85 Hz möglich)



**Vicoustic VariPanel**  
für flexible Raumakustik



## ... für Regie- und Aufnahmeräume



WaveWood

**Vicoustic Absorber**



FlexiPol



**Vicoustic Diffusoren**



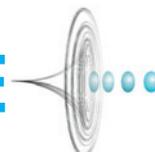
PolyWood



MultiFusor



**HÖRZONE**



Hörzone GmbH  
Schwindstraße 1 · 80798 München  
Telefon 089.72110 06 · [www.hoerzone.de](http://www.hoerzone.de)

```
MD5sums 1.2 freeware for Win9x/ME/NT/2000/XP+
Copyright (C) 2001-2005 Jem Berkes - http://www.pc-tools.net/
Type C:\Dokumente und Einstellungen\1\Desktop\md5sums.exe -h for help

[Path] / filename                                MD5 sum
-----
[E:\]
Foo_Fighters.exe                                4e4eeabdf00eb4b22cffe9b86ac1d56c
QuickTime30.exe                                100% 05823665fa1d89f5a0a725f614df0fe1
autorun.inf                                     b447ce26f98cdcd139caf5c9da9634c1
data.dxr                                        61b068235e24a1ee1349263ded0dcc6f
foo.ico                                         2630a95403329d62e0f3dda4b552a1dc
foo.mov                                         100% 7496341670fd63ffc2d6d197751bf6a8
foo_burp.mov                                   50ca8b909dcfce2f270ce53fa63c2b75
foo_niru.mov                                   100% b3f2f1d0454b5d69d5ac7eab81ef6f8b
main.dxr                                        bc8c10f9f9e35e01db8b758bc385fd3
photos.cxt                                     100% be0a9c5264597bc70ae59e7016fd9bc0
read_me.txt                                    136b1a8d2368aeb7a29075153695958d
```

Die MD5-Prüfsummen einer kommerziellen Blue Book CD

den und es kommt zu Knacksern, anderen Störgeräuschen oder Unterbrechungen der Wiedergabe. Datenträger mit CU-Fehlern werden vom Presswerk nicht angenommen. In diesem Fall muss das Master neu angeliefert werden. Leider gibt es weltweit nicht sehr viele Rohlinghersteller und die meisten Marken sind nur gelabelte Einkäufe von verschiedenen, oftmals wechselnden Herstellern. Es kann also sein, dass eine bisher zuverlässig funktionierende Rohlingmarke plötzlich nicht mehr die gewohnte Qualität liefert. Vor allem die Discountmarken wechseln beim Einkauf ihrer Rohware, äußerlich nicht erkennbar, regelmäßig zum derzeit billigsten Hersteller. Man sollte sich daher für die wichtigen Daten eines Masters auf keinen Fall auf die günstigsten Rohlinge einlassen, auch wenn diese gut sein können. Es empfiehlt sich, beim Presswerk des Vertrauens anzufragen und von dort empfohlene und geprüfte Markenprodukte zu verwenden. Einige Presswerke bieten eigene Rohlingmarken von hoher Qualität an, die auf Wunsch sogar bedruckt geliefert werden können. Für einen professionellen Auftritt lohnt es sich durchaus, hier etwas zu investieren, damit der Kunde einen besonders hochwertig aussehendes Master erhält und den Qualitätsanspruch des Masteringingenieurs so auch äußerlich erkennen kann.

Problem 4: Falsche Dokumentation. Manche Probleme lassen sich von vornherein vermeiden, wenn die Datenträger korrekt beschriftet werden. Wichtig sind hier neben dem Namen des Künstlers und des Projekts auch das Datum, die Telefonnummer des Ansprechpartners sowie die Kontaktdaten des verantwortlichen Masteringingenieurs. Manche Frage kann schnell und einfach geklärt werden, wenn sich das Presswerk direkt an die zuständige Person wenden kann und nicht vom Auftraggeber an dessen Kunden weitergeleitet werden muss, der dann ,den entsprechend

Zuständigen fragen will...‘. Natürlich sind auch technische Angaben wichtig. Schreiben Sie in jedem Fall nur auf das eigentliche Master auch das Wort ‚Master‘ drauf. Eine Listening-Copy für den Kunden ist kein Master und sollte mit diesem Hinweis deutlich versehen werden. Wichtig ist auch, dass das Presswerk erfährt, welches Farbbuch auf den Datenträger zutrifft. Wenn Sie zum Beispiel ein Video mit auf der CD haben, handelt es sich nicht um ein nach dem Red Book, sondern nach dem Blue Book geschriebenes Medium. Beachten Sie vor allem, dass ein ROM-Datenträger mit einem DDP-File (oder einer anderen Imagedatei) streng genommen kein Master ist! Sollte solch ein Datenträger missverständlich als Master markiert sein, kann es vorkommen, dass der Inhalt als CD-ROM produziert und nicht in ein Audio-Format umgewandelt wird. Beschriften Sie Datenträger mit Images oder DDP-Files also sehr sorgsam und geben Sie genaue Hinweise. Der Satz ‚Enthält DDP-File für Red Book Produktion‘ könnte zum Beispiel solch eine Anweisung sein. Vor allem bei DVD-Produktionen mit zwei Datenträgern für beide Layer ist es wichtig, dass beide Datenträger eindeutig und vollständig beschriftet sind. Die wichtigsten Angaben gehören in das Begleitschreiben, auf die Hülle und direkt auf das Medium.

## Wichtige Regenbogenbücher

Wie bereits erwähnt, sind die Spezifikationen für die verschiedenen Versionen der Compact Disc in den sogenannten Rainbow Books niedergeschrieben. Die wichtigsten dieser Bücher sollen hier kurz genannt werden:

- Red Book spezifiziert die Daten einer klassischen Audio-CD (CD-DA). Die wichtigsten Eckpunkte dieser Norm sind: Reine Audiodaten mit maximaler Spielzeit von 74 Minuten, höchstens 99 Tracks von mindestens vier Sekunden

Länge, keine Kopierschutzmaßnahmen, Disc-At-Once.

- Blue Book stellt eine Erweiterung des Red Book dar und gestattet die Erstellung der sogenannten ‚Enhanced CD‘ oder ‚CD-Extra‘. Hierbei kann zum CD-Audiobereich ein Datenteil hinzugefügt werden, der zum Beispiel Computerdaten oder Videos enthält.
- Yellow Book definiert die CD-ROM, deren Daten nur von einem Computer gelesen werden können. Dies betrifft vor allem industriell gefertigte CD-ROMs, da CD-Rs sich bereits mit den Spezifikationen des Orange Books überschneiden, welches CDs mit Multisession-Fähigkeiten beschreibt.
- Scarlet Book ist der Standard für die Super Audio CD (SACD) und kann inzwischen wohl als ‚nicht mehr relevant‘ bezeichnet werden. Die Marktanteile sind gering und es ist nicht klar, wie lange der Standard noch von HiFi-Herstellern und Presswerken unterstützt werden wird. Selbst die Erfinder bei Sony scheinen kein großes Interesse mehr an ihrer Entwicklung zu haben, was sich zum Beispiel darin äußert, dass die aktuellen Playstation 3-Modelle keine SACDs mehr abspielen können. Also wird das scharlachrote Buch in Zukunft wohl immer öfter geschlossen bleiben.

## Cue-Sheets

Wenn es von Ihrem Authoring-Programm angeboten wird, sollten Sie dem Presswerk einen ausgedruckten CD-Bericht liefern, auf dem die Cue-Sheet-Informationen hinterlegt sind. Diese umfassen zum Beispiel den Start- und Endframe jedes Stückes, die Pausenlängen und Reihenfolge der Titel sowie den CD-Text. Auf diese Weise kann im Presswerk nochmals überprüft werden, dass es sich um die richtigen Daten auf dem Datenträger handelt und diese in der von Ihnen gewählten Form vorhanden sind. Vor allem beim Anliefern von Image-Dateien ist es sinnvoll, ein Cue-Sheet beizulegen, da die Endprüfung hier schwieriger ist als bei Audio-CDs. Die von einigen Programmen angebotene Möglichkeit, eine Cue-Sheet-Datei zusammen mit den entsprechenden Audiodateien zu übermitteln, sollte mit dem Presswerk genau besprochen werden. Diese Form der Auslieferung birgt viele Risiken durch die Trennung der einzelnen Dateien und sollte nur verwendet werden, wenn beide Seiten einen reibungslosen Ablauf garantieren können.



**musikelectronic geithain gmbh**  bestehend seit 1960

Ihr Spezialist für Studioregellautsprecher, Beschallungstechnik und Studioakustik mit Einmessdienst

**Koaxial-Studio-Referenz-Regellautsprecher**  
vom Hauptregellautsprecher bis zur Ü-Wagen-Regie

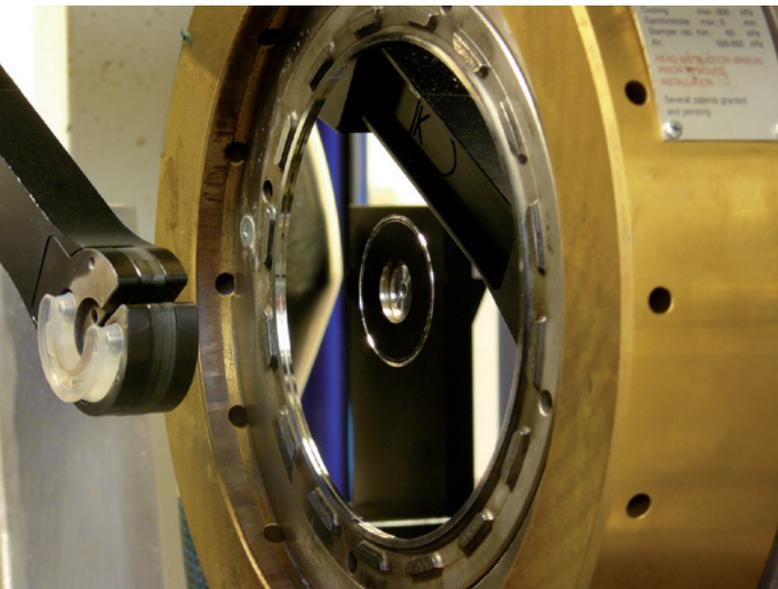
- ein kompatibles Klangbild
- mit nierenförmiger Abstrahlcharakteristik im Bassbereich (30Hz - 250Hz)
- Rückwärtsdämpfung: >10 dB

RL 901K tieffrequente Richtcharakteristik im Freifeld  
Terzmittenfrequenz

— 32 Hz  
- - - 80 Hz  
· · · · · 125 Hz

musikelectronic geithain gmbh  
Nikolaistraße 7  
04643 Geithain  
Tel.: +49 34341 311-0 <http://www.me-geithain.de>  
Fax: +49 34341 311-44 e-mail: info@me-geithain.de

RL 906 RL 904 RL 903 RL 944K RL 933K RL 901K RL 900A



Spritzguss bei der CD-Produktion

## Auf dem Strahle der elektrischen Kraft

Werden die Daten nicht auf einem ‚physikalischen‘ Datenträger, sondern direkt per Filetransfer versendet, so wird die Kennzeichnung der Dateien noch wichtiger. Das Presswerk muss bei allen Dateien eindeutig erkennen, von wem sie kommen und zu welchem Projekt sie gehören. Auch hier ist also eine durchdachte und eindeutige Kennzeichnung angesagt. Denken Sie daran: Leerzeichen haben im Namen von Dateien, die über das Internet versendet werden sollen, nichts verloren. Filetransfer geht schnell, bequem und man muss sich nicht um die Zuverlässigkeit von Datenträgern sorgen. Außerdem entfällt der Lieferdienst als Risikofaktor - wer weiß schon, wie das Päckchen in den vielen Händen der Postdienstleister behandelt wird. Aber wer garantiert eigentlich, dass Dateien per Email oder FTP auf dem Weg nicht beschädigt werden? Um diesem Fehler vorzubeugen, gibt es im Allgemeinen zwei simple Lösungen. Die erste ist das Packen der Daten in ein komprimiertes Dateiformat wie ZIP oder RAR. Diese Formate führen automatisch eine Prüfsummenbildung durch und geben Fehlermeldungen aus, wenn Probleme mit der Prüfsumme auftreten. Ist eine gepackte Datei beschädigt worden, lässt sie sich schlicht und einfach nicht mehr mit den Standardprogrammen entpacken und ist so vor Vervielfältigung trotz Schaden ‚geschützt‘. Das Problem ist dabei die Frage, welche Software auf den Systemen des Empfängers vorhanden ist und ob somit immer sicher gestellt ist, dass das gewählte Format auch wirklich entpackt werden kann. Hier sollte vor dem Versand unbedingt mit dem Presswerk abgesprochen werden, welche Formate genutzt werden können. Eine andere Möglichkeit, die von den meisten Press-

werken problemlos akzeptiert wird, ist das Versenden einer ungepackten Datei mit zugehöriger MD5-Summe. Hierfür muss auf dem Rechner des Urhebers eine Prüfsumme, die sogenannte Hash, generiert werden, die dem Empfänger mitgeteilt wird. Nach dem Empfangen wird im Werk ebenfalls die Prüfsumme gebildet und mit der übermittelten verglichen. Ergibt sich auch nur der kleinste Unterschied in den beiden Codes, wurden die Daten auf dem Transportweg verändert oder beschädigt und können nicht mehr verwendet werden. Apple Computer mit installiertem OS X-Betriebssystem beherrschen das Erzeugen und Vergleichen von MD5-Summen von Hause aus. Hierzu muss nur das Dienstprogramm ‚Terminal‘ geöffnet werden, in dem der Befehl ‚MD5 ‚ (inklusive Leerzeichen am Ende) eingegeben wird. Anschließend kann die gewünschte Datei per Drag-and-Drop auf das Terminalfenster gezogen werden, um die MD5-Hash zu generieren. Windows-Anwender müssen auf externe Software zurückgreifen; allerdings gibt es eine Vielzahl verschiedener Programme. Eines der bekanntesten ist md5sum.exe, welches Sie zum Beispiel hier herunterladen können: [www.pc-tools.net/win32/md5sums/](http://www.pc-tools.net/win32/md5sums/) Bitte beachten Sie, dass die Verwendung auf eigene Gefahr erfolgt und Sie die Datei nach dem Download unbedingt auf Virenfreiheit prüfen sollten. Nach dem Herunterladen muss die Datei nur entpackt werden und benötigt keine Installation. Zum Erzeugen einer MD5-Hash muss die entsprechende Datei auch hier nur per Drag-and-Drop auf die EXE gezogen werden. Das sich öffnende Kommando-Fenster zeigt die erzeugte Prüfsumme.

## Magnetband

Bis zur flächendeckenden Verbreitung guter und dabei günstiger CD-Brenner waren Magnetbänder die Standardmedien zur Anlieferung eines Masters. Sie bieten Vorteile, die mit optischen Medien nur schwer erreicht werden können. Dazu gehören die relativ hohe Datensicherheit und, bei Bedarf, eine enorme Kapazität. Aber auch die Nachteile sollten nicht unerwähnt bleiben. So braucht die Übertragung einiger Gigabyte vom oder auf ein Band relativ lange und die Bänder und Laufwerke sind zum Teil enorm teuer. Verwendet werden vor allem Exabyte-Bänder und das Digital-Linear-Tape, auf das DDP-Dateien oder andere Images aufgespielt werden. Da jedoch die Anschaffung der entsprechenden Laufwerke sowohl für den Lieferanten als auch das Presswerk enorme Kosten verursacht, werden beide Formate zunehmend verdrängt. Vor allem die preisgünstigen Festplatten stellen zunehmend eine Alternative für große Datenmengen dar.

## Viren

Haben Sie schon einmal daran gedacht, dass Sie vielleicht ohne Ihr Wissen einen Virus in Ihrem Audiosystem haben könnten? Viele Computer in Tonstudios sind heute mit dem Internet verbunden und werden auch gern mal für den einen oder anderen ‚zweifelhaften‘ Download verwendet. Aber auch nicht mit dem Internet verbundene Computer sind gefährdet, wenn Festplatten und Sticks zum Datenaustausch mit anderen Systemen verwendet werden. Oftmals fängt man sich auf diesen Wegen einen Virus ein, ohne dass das System davon direkt beeinträchtigt wird. Aber diese Viren verbreiten sich nicht nur auf den im Netzwerk angeschlossenen Rechnern, sondern kopieren sich auch auf weitere angeschlossene Festplatten und USB-Sticks. Manche Viren sind so ‚geschickt‘ programmiert, dass sie sich mit auf eine CD brennen können. Auf diesem Weg kann es passieren, dass Sie einen Virus in die Systeme des Presswerkes, des Labels oder des Kunden einschleusen. Sie sollten daher beim Brennen von Daten-CDs, beim Kopieren auf externe Festplatten, aber auch beim Import von Dateien von fremden Computern an die Ausführung eines Virenskans denken. Stellen Sie sich vor, ein Virus gerät in den CD-Extra-Datenteil einer CD und wird beim Autostart auf die Festplatte jedes einzelnen Hörers kopiert...

## ISRC, UPC, EAN und Labelcode

Hinter diesen drei Abkürzungen verbergen sich keine technischen Details, sondern Codes, die der Identifizierung des Datenträgers und dessen Inhalt dienen. ISRC steht dabei für ‚International Standard Recording Code‘. Jedes kommerziell vermarktete Musikstück sollte einen einzigartigen ISRC tragen, der, zum Beispiel im Rundfunk, von professionellen CD-Playern ausgelesen werden kann und zur Abrechnung von Lizenzen genutzt wird. Dem gleichen Zweck dient der Labelcode, der allerdings nur das Label allgemein identifiziert und nicht speziell für einen Tonträger

# Revolution auf dem Monitormarkt!

Egg 150 – Studiomonitor von

**SE Munro**  
MUNRO ACOUSTICS SE ELECTRONICS



SE I Munro revolutioniert den Monitormarkt mit dem komplett neu entwickelten **Studiomonitor-System Egg 150**. Die Ei-Form der Lautsprecher ermöglicht es, Schwachstellen „normaler“ Monitor-Konzepte wie Gehäuse-Resonanz und typische Probleme, die mit der Schallbeugung einhergehen zu vermeiden. Dadurch liefert **Egg 150 unvergleichliche Neutralität** und **unglaublichen Detailreichtum**.

Egg 150 – Start a revolution

Im Vertrieb der

**MEGA AUDIO**

[www.megaaudio.de](http://www.megaaudio.de), [www.seelectronics.com](http://www.seelectronics.com) info@megaaudio.de, Tel: 06721/94330

ger generiert wird. Im Gegensatz zum Labelcode können ISRCs heute auch dann verwendet werden, wenn die Distribution ohne Datenträger erfolgt. MP3, Ogg Vobis und viele weitere Formate können den ISRC in ihre Dateinformationen (Tags) übernehmen. Der UPC (Universal Product Code) und die EAN (International [früher European] Product Number) sind synonym zu betrachten und stellen den bekannten ‚Barcode‘ dar, der auch in den Datenteil der CD integriert wird. Dieser Code wird vor allem genutzt, um die Abrechnung im Ladengeschäft zu erleichtern. Manchmal kann es vorkommen, dass sich Brenner in die EAN-Kennung eintragen und somit für die Kasse

im Laden zum Lieferanten würden, was natürlich einige Schwierigkeiten mit sich bringen kann. Wichtig ist, dass alle Codes korrekt beantragt und in die Daten des Produktes integriert wurden. Hier finden Sie die richtigen Ansprechpartner: Für EAN-Codes ist in Deutschland die Organisation ‚GS1‘ zuständig. Genaue Informationen zur Beantragung finden Sie unter [www.gs1-germany.de](http://www.gs1-germany.de). Die ISRC werden vom Weltverband der Phonoindustrie, IFPI, vergeben. Alles Wichtige zur Beantragung der ISRC finden Sie unter <http://www.musikindustrie.de/isrc.html> und bei der GVL (Beantragung eines Labelcodes) unter [www.gvl.de](http://www.gvl.de).

## Interview mit Christoph Stickel, msm

Die Mastering Studios München (msm) wurden im Jahr 1990 gegründet und gehören zu den bekanntesten Mastering-Häusern in Deutschland. Die Palette der Dienstleistungen reicht vom klassischen Audiomastering über die Restauration bis hin zum DVD-Authoring. Senior Mastering Engineer Christoph Stickel beantwortete uns freundlicherweise ein paar kurze Fragen zum Thema Master.

**Friedemann Kootz:** Auf welchem Weg werden die Master von Ihnen ausgeliefert?

**Christoph Stickel:** Wir generieren ein DDP-File, welches entweder auf eine CD- oder DVD-R gebrannt und verschickt oder direkt auf den Server des Presswerkes hochgeladen wird.

**Friedemann Kootz:** Wie wird das DDP auf seine Korrektheit geprüft, bevor es ausgeliefert wird?

**Christoph Stickel:** Wir erzeugen für jedes DDP-File immer eine MD5-Checksumme, welche mit auf dem Datenträger abgelegt wird. Dies ist wichtig, um sicher zu stellen, dass keine Daten beim Auslesen oder auf dem Transportweg verloren gehen. Um jedoch zunächst zu prüfen, dass das DDP an sich nicht bereits fehlerhaft ist, wird es nach dem Brennen wie-



der vom Datenträger in den Computer kopiert und in unser Authoring-Programm geladen. Dort wird es komplett durchgehört und auch die eher technischen Daten, wie ISRC und der UPC-Code, sowie der CD-Text nochmals überprüft. Von diesem geprüften Projekt werden dann auch die Listening-Copies für den Kunden gebrannt.

**Friedemann Kootz:** So kann auch das nicht direkt anhörbare DDP-File geprüft werden.

**Christoph Stickel:** Genau. Alle Daten, die unser Haus verlassen sollen, werden grundsätzlich nochmals zurück in das System geladen und doppelt gecheckt. Auf diese Weise können wir sicher stellen, dass die CD oder DVD am Ende dem entspricht, was wir als Datei heraus gegeben haben.

**Friedemann Kootz:** Und der Datenträger selbst?

---

---

Christoph Stickel: Da wir natürlich auch Audio-CDs als Referenz heraus geben, prüfen wir die Kombination Brenner - Rohling - Brenngeschwindigkeit auf minimale Fehlerrate und bei Audio-CDs auch noch auf die Klangqualität. Nur Rohlinge, die unseren Qualitätskriterien entsprechen, werden verwendet. Nach dem Brennen prüfen wir dann nochmals den Dateninhalt auf Fehler. Die meisten Probleme sind damit weitestgehend ausgeschlossen.

**Friedemann Kootz: Als Mastering-Dienstleister sind Sie sicher auch oft mit fehlerhaftem Ausgangsmaterial vom Kunden konfrontiert. Was sind die häufigsten Probleme?**

Christoph Stickel: Meist sind es falsch oder schlecht beschriftete Datenträger und Dateien. Oft gibt es keine Sicherheitskopien oder es werden grundlos exotische Dateiformate verwendet. Außerdem bekommen wir auch häufiger ungeprüfte Datenträger, die falsche oder gar keine Daten enthalten. Hier kommt es bei Nachfragen immer wieder zu Zitaten wie ‚Oh, da hab ich wohl was vergessen‘ oder ‚Was, da ist nichts darauf?...‘

**Friedemann Kootz: Worauf sollte ein Studio also besonders achten, wenn es Daten zum Mastering heraus gibt?**

Christoph Stickel: Wichtig ist eine saubere und eindeutige Beschriftung. Dazu gehören Angaben zur verwendeten Samplingrate und Bittiefe. Als Standardformat sollte WAV oder AIFF genutzt werden. Bei Surroundproduktionen ist es wichtig, dass die Kanäle nicht in eine Interleaved-Datei gespeichert werden, sondern als einzelne Mono-dateien vorhanden sind. Als Datenträger können eigentlich alle Standardmedien wie CD-R, DVD-R, USB-Stick oder Firewire-Festplatte verwendet werden. Besondere Medien wie SCSI-Festplatten oder CD-RWs sollten immer vorher mit uns abgeklärt werden. Werden Festplatten angeliefert, dann sollte auf alle Fälle der Pfad zu den gewünschten Dateien vermerkt und alle zu masternden Dateien in einem Ordner versammelt sein. So können wir unsere Arbeit schnell und effektiv ausführen.

## Interview mit Martin Buschhüter, interdisc

---

Die Firma ‚interdisc‘ wurde 1992, damals noch unter dem Namen ‚panteon‘, gegründet und bietet seither umfangreiche Dienstleistungen rund um digitale Datenträger an. Neben der Produktion von CDs und DVDs bietet interdisc auch die Veredlung von beschreibbaren Medien und USB-Sticks an. Wir sprachen mit dem Leiter der Technik Martin Buschhüter, der uns zu Fragen und Problemen bei der Anlieferung von Rohdaten Rede und Antwort stand.

**Friedemann Kootz: Welche Prüfungen durchlaufen die angelieferten Daten?**

Martin Buschhüter: Bevor die Datenträger in die Produktion weitergegeben werden, prüfen wir sie auf Buch-Spezifikation. Bei uns werden alle eingehenden Medien mit einer Eclipse-Workstation getestet und auf jegliche Fehler untersucht. Es werden so Probleme des Datenträgers, aber

auch zum Beispiel durch Authoring-Programme verursachte Fehler entdeckt. Manche davon sind für die Produktion tolerierbar, bei anderen können wir dem Kunden nach der Eingangsprüfung direkt zurückmelden, welche Daten neu benötigt werden.

**Friedemann Kootz: Was sind die häufigsten Fehler, die die vom Kunden angelieferten Datenträger aufweisen?**

Martin Buschhüter: Im Audibereich werden leider immer noch sehr häufig CDs abgeliefert, die im Track-At-Once-Modus gebrannt wurden. Dabei entstehen sogenannte ‚Loss-Links‘, also kurze Lücken zwischen den einzelnen Tracks, die zu Problemen wie Knacksern führen. Red-Book kon-



forme CDs müssen immer im Disc-At-Once-Modus gebrannt worden sein. Ein anderes, häufigeres Problem ist die Tatsache, dass manche Brenner eigene Daten wie etwa ihre Geräteerkennung in die Sub-Channels der CDs eintragen. Solange die Sub-Channels nicht für andere Daten benötigt werden, wie etwa der Textdarstellung bei Karaoke-CDs, können die CDs mit solchen Eintragungen jedoch weiterverarbeitet werden. Deutlich kritischer wird es, wenn sich der Brenner in den EAN-Code eingetragen hat, was leider auch manchmal vorkommt.

**Friedemann Kootz: Welche Rolle spielen schlechte Rohlinge?**

Martin Buschhüter: Wenn die Qualität der Rohlinge so schlecht ist, dass mir mein Testsystem sogenannte ‚CU‘ ausgibt, also nicht korrigierbare Fehler [Erklärung im Artikel, Anm.d.Red.], können wir den ganzen Datenträger nicht weiterverarbeiten. Auch dies kommt leider regelmäßig vor. Aus diesem Grund bieten wir auch von uns geprüfte Rohlinge an, mit denen man sich auf der sicheren Seite befindet. Generell muss man leider feststellen, dass die Qualität der Rohlinge unter dem Preisdruck am Markt stark gelitten hat. Viele namenhafte Hersteller produzieren nicht selbst, sondern kaufen ihre Rohlinge in einer der großen Fabriken in Fernost ein. Die Qualität wechselt daher oft sehr stark und es ist gar nicht mehr so leicht, wirklich qualitativ hochwertige Rohlinge zu finden.

**Friedemann Kootz: Hat der Anwender eine Möglichkeit, die Rohlinge zu prüfen?**

Martin Buschhüter: Die Software Plextools bietet in Verbindung mit einem Plextor-Brenner einen groben Überblick über den Zustand des Rohlings. Die wirkliche Qualität können wir leider erst im Presswerk mit unseren speziellen Messsystemen erkennen.

**Friedemann Kootz: Worauf sollte man beim Verwenden eines CD-Rohlings besonders achten?**

Martin Buschhüter: Der Kunde sollte auf keinen Fall CD-Rs verwenden, die länger als 80 Minuten (700 MB) sind. 90-Minuten-CD-Rs sind so eng gebrannt, dass es extrem häufig zu Leseproblemen kommt. Hier kann man wirklich nur von der Benutzung abraten.

**Friedemann Kootz: Kann es auch zu Problemen durch**

**eine ungünstige Rohling-Brenner-Kombination kommen?**

Martin Buschhüter: Nicht nur das, sondern auch zu Problemen mit der Brenngeschwindigkeit. Generell raten wir dazu, nicht an die oberen und unteren Grenzwerte des Brenners und des Rohlings zu gehen, um gute Brennergebnisse zu erreichen. Heutige ROM-Rohlinge haben ihr Qualitätsmaximum zwischen 16- und 32-facher Brenngeschwindigkeit. Verlässt man diesen Bereich, sinkt die Qualität deutlich ab. Als Orientierungswert kann also Brennen mit 24-facher Geschwindigkeit gelten, es sei denn man verwendet spezielle Auditorohlinge, die oft für geringere Geschwindigkeiten ausgelegt werden.

**Friedemann Kootz: Ist denn ein buchgerechter Datenträger noch immer das Standardmedium zum Anliefern der Daten ins Presswerk? Wie sieht es zum Beispiel mit DDP aus?**

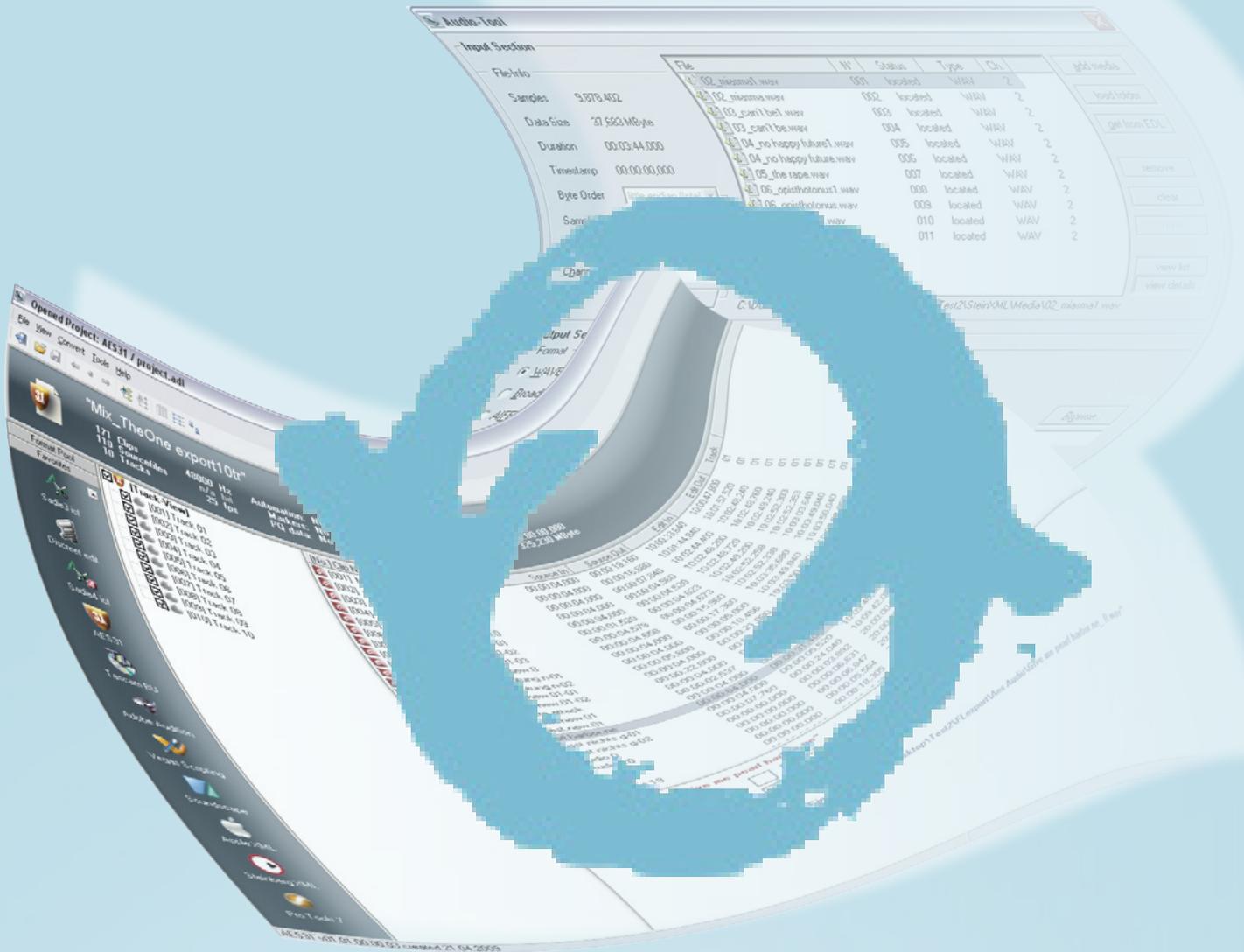
Martin Buschhüter: Im Profibereich wird DDP durchaus verwendet. Ich sehe für den semiprofessionellen Anwender immer den Nachteil, dass er das Endergebnis schwerer kontrollieren kann. Ein Audio-Master kann viel leichter überwacht werden als zum Beispiel ein DDP-File. Falsche Trackreihenfolge, Pausen oder Pegel würden dem Kunden beim Wiedergeben im CD-Player sofort auffallen. Bei uns im Presswerk natürlich nicht, wenn die Daten an sich in Ordnung sind.

**Friedemann Kootz: Und im DVD-Bereich?**

Martin Buschhüter: Auch hier bietet sich eine nach Buchspezifikationen gebrannte DVD an. Das Problem bei anderen Formaten liegt ebenfalls in der Kontrollierbarkeit des Produktes und bei der Verwechslungsgefahr. Wird ein Datenträger geliefert, der zum Beispiel ein DDP-File enthält, was aber nicht eindeutig auf dem Datenträger vermerkt wurde, könnte es passieren, dass der Kunde das DDP-File als DVD-ROM produziert bekommt. Daher ist es am unkompliziertesten, wenn wir ein im Endformat beschriebenes Medium erhalten.

**Friedemann Kootz: Dieses Problem tritt natürlich nicht auf, wenn der Kunde das DDP über das Internet anliefert.**

Martin Buschhüter: Richtig, aber auch hier ist der DDP-Anteil heute relativ gering. Wir akzeptieren in diesem Fall auch ISO-Images für DVDs und CD-ROMs und sogar Nero-Images für Audio-CDs.



Friedemann Kootz, Abbildungen: Friedemann Kootz

# Filesharing

## Möglichkeiten des Projektaustauschs zwischen verschiedenen DAWs – 2009

Betrachtet man vergleichbare DAW-Programme verschiedener Hersteller, so liegen die Ähnlichkeiten zwischen ihnen schnell auf der Hand. Alle bieten heute umfangreiche und oft sehr individuelle Möglichkeiten, mit Audio umzugehen. Die generelle Arbeitsweise mit einer Timeline, auf der die verschiedenen Clips angeordnet und mit Fades und Lautstärkehüllkurven versehen sind, haben aber fast alle gemeinsam. Grundlegend bedienen kann man als Anwender daher die meisten ohne lange Einarbeitung, aber spezialisiert hat man sich dann in der Regel doch auf ein oder zwei verschiedene Programme. Aber was tut man, wenn man mit Material in einem Fremdformat aus einem anderen Studio in Berührung kommt, welches in der eigenen Arbeitsumgebung weiterverarbeitet werden soll? Noch komplexer wird es bei Multimedia-Dienstleistern, die mit Projekten verschiedenster Videoschnittprogramme konfrontiert sind. Es ist also dringend notwendig, Projektdaten zwischen verschiedenen DAWs konvertieren zu können. Leider kochen allerdings alle Hersteller weitgehend an ihrem eigenen Formatsüppchen. Ein universelles Projektformat wäre also ein wünschenswertes, aber unrealistisches Ziel. Ganz abgesehen von den technischen Schwierigkeiten muss man sich natürlich auch die Frage stellen, ob alle Branchenteilnehmer restlos begeistert wären, wenn Projekte auch auf anderen als den eigenen Systemen laufen würden.

## Dateisysteme

Schon bei der Wahl unterschiedlicher Computer-Plattformen ergeben sich erste Probleme. Mac OS X nutzt von Haus aus das eigene Dateisystem HFS+, welches nicht ohne weiteres mit Windows-Computern kompatibel ist. Ein Windows-Rechner benötigt also eine zusätzliche Software, um Daten von einer angeschlossenen Festplatte lesen oder auf sie schreiben zu können, die unter Mac OS formatiert wurde. Anders herum stellen sich weniger Probleme in den Weg, aber trotzdem gibt es eine kleine Falle. Windows nutzt zwei verschiedene Dateisysteme - das ältere FAT32- und das moderne NTFS-Format. Datenträger, die mit FAT32 formatiert wurden, können unter Mac OS X ohne Probleme gelesen und geschrieben werden. Es ist jedoch sinnvoller, unter Windows das NTFS-Format zu nutzen, da es schneller und effizienter als sein Vorgänger arbeitet. Allerdings kann Mac OS X ohne externe Hilfe NTFS-Datenträger nur lesen, aber nicht beschreiben. Dieser Umstand wurde dem Autor vor einigen Jahren nach einer Studiosession schmerzlich bewusst, als die aufgenommenen Audiodaten auf seine mitgebrachte USB-Festplatte verschoben werden sollten. Haben Sie schon einmal versucht, nachts um vier DVD-Rohlinge zu kaufen, um Audiodaten zu transportieren?...

Mit einem ähnlichen Problem konfrontieren uns einige DAW-Systeme, die ihre Audiodaten nur auf Festplatten ablegen, die mit einem proprietären Dateisystem formatiert wurden. Beispielsweise nutzen Fairlight, Soundscape (bis Version 5) und Sadie solche eigenen Dateisysteme, die den Herstellern mehr Freiheiten bei der Dateiverwaltung bieten, dem Anwender aber den Austausch deutlich erschweren. Doch auch hier gibt es natürlich Lösungen. Die aktuelle Sadie 5-Software bietet zum Beispiel die Möglichkeit, Festplatten, die im sogenannten Sadie 3-Format formatiert wurden, zu mounten, ohne dass Windows selbst auf die Platten zugreifen kann. Beachtet werden muss dabei jedoch, dass Windows beim Anschluss einer nicht kompatiblen Festplatte fragen wird, ob der Datenträger formatiert werden soll. Hier darf natürlich auf keinen Fall ‚Ja‘ geklickt werden. Ein anderes Problem bleibt jedoch, dass Konverterprogramme wie Pro-Convert manchmal nicht auf diese speziell formatierten Platten zugreifen können. In diesem Fall müssen die Audiodaten zunächst auf eine mit FAT oder HFS formatierte Platte kopiert werden. Eine Ausnahme bildet dabei verständlicherweise das Soundscape-System von SSL, welches von Pro-Convert (ebenfalls SSL) problemlos unterstützt wird.

	LE1	SE1	SL1	SX1	N1	SL2	SX2	N2	SE3	SL3	SX3	N3	SQ	SQ2	LE4	AI4	CE4	CS4	C4	N4	CS5	C5	
Cubase LE 1	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SE 1	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SL 1	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SX 1	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nuendo 1	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SL 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SX 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nuendo 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SE 3	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SL 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase SX 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nuendo 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sequel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sequel 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cubase LE 4	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	
Cubase AI 4	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	
Cubase Ess. 4	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	
Cubase Studio 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
Cubase 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
Nuendo 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
Cubase 5	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cubase Studio 5	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Bild 1: Kompatibilität innerhalb der Steinberg Produktfamilie (Quelle: Steinberg)

## Interne Kompatibilität

Die meisten der ‚großen‘ Hersteller von Audio-Software sind schon seit vielen Jahren im Geschäft und haben bereits viele Generationen von Betriebssystemen und Computerhardware für ihre Systeme genutzt und unterstützt. Wer kann es ihnen also verdenken, dass auch die eigenen Projektformate mit dem Voranschreiten der Softwaregenerationen immer wieder angepasst und verändert werden müssen. Dies erschwert jedoch die Einhaltung einer vollständigen Abwärtskompatibilität - und natürlich erst recht die andere Richtung. Nur sehr wenige Programme können Projekte öffnen, die mit einer neueren Software-Versionsnummer erzeugt oder bearbeitet wurden. Pro Tools bietet für diesen Fall die Möglichkeit, in das ältere Format der Softwareversionen 5.1 bis 6.9 zu speichern. Ab Version 7 können die ‚Sessions‘ von allen Versionen bis zur aktuellsten genutzt werden. Natürlich müssen bei der Verwendung einer neueren Session in einer davor liegenden Programmversion Abstriche bei der Funktionalität gemacht werden, aber es gibt kaum Situationen, in denen man mit einer Pro Tools-Session gänzlich verloren ist. Probleme ergeben sich allerdings, wenn man versucht, Versionen vor 5.1 zu nutzen.

Sadie bietet volle Abwärtskompatibilität bis Version 3 und legt seinen Systemen außerdem eine Converter-Software bei, mit deren Hilfe die EDLs neuerer Projekte zu älteren Systemen kompatibel gemacht werden können. Wie bereits erwähnt, kann das aktuelle Sadie 5 Festplatten im alten Sadie 3-Format mounten, obwohl Windows diese nicht erkennen kann.

Magix Samplitude und Sequoia bieten ebenfalls sehr weit reichende Abwärtskompatibilität an. Ergänzend dazu kommen hier die Unterschiede der verschiedenen Ausbaustufen der Software. Natürlich kann die ‚kleinste‘ Version von Samplitude nur einen Teil der Funktionen von Sequoia bieten und somit werden diese beim Öffnen eines Projektes verworfen. Magix berichtete uns sogar von einigen Kunden, die Projekte bis hinab zu Version 5.x aus dem Jahr 2001 konvertieren und in beide Richtungen Erfolg haben. Probleme kann es jedoch mit der Automation geben, da sich hier einige Veränderungen ergeben haben, die eventuell nicht übertragen werden können. Eine Möglichkeit, die Kompatibilität zu einer früheren Programmversion zu erzwingen, bietet Samplitude/Sequoia nicht an. Leider kann Sequoia in der aktuellen Version 10 noch keine OMF- oder AAF-Unterstützung anbieten. Diese wird nach Angaben des Herstellers ab Version 11 standardmäßig für Sequoia und als kostenpflichtiges Plug-In für Samplitude verfügbar sein. Steinberg begann die aktuelle Produktreihe im Frühjahr



## Für Aug' und Ohr...

professionelle Studio- & Broadcastlösungen

- 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 Rundfunk- und Studioteknik
- Professioneller Support

RJ45 10 Gbit  
mit Schutzgehäuse



Broadcast-Fiber-Drum  
3G-SDI + Ton + Power



Fiber-System, 4-fach,  
für HD-Übertragungen



Integrated  
Systems  
Europe

31. Jan. - 2. Feb. 2012  
Halle 5U110

musikmesse  
prolight+sound

21. - 24. März 2012  
Halle 8.0, Stand J40

**SOMMER CABLE**  
[www.sommercable.com](http://www.sommercable.com)

SOMMER CABLE GmbH  
Audio • Video • Broadcast • Medientechnik • HiFi  
[info@sommercable.com](mailto:info@sommercable.com)

2002 mit dem Produkt Cubase SX in Version 1. Inzwischen ist Cubase zu Version 5 heran gereift und hat sein SX-Kürzel wieder aufgegeben. Nuendo läuft in der aktuellen Version 4. Alle Projektdateien sind abwärts und ‚seitwärts‘ kompatibel. Das bedeutet, dass ein Nuendo 4-Projekt in Cubase 4 geöffnet werden kann und umgekehrt. Probleme gibt es bei der Aufwärtskompatibilität, die im besten Fall verrückte Ergebnisse abliefern, im schlechtesten überhaupt nicht funktioniert. Der Hersteller bietet eine Tabelle, anhand derer die Kompatibilität abgelesen werden kann (siehe Bild 1). Projekte aus der VST- oder früheren Cubase-Ära vor dem Jahr 2001 können bis zur aktuellsten Version weiterhin importiert werden. Die persönlichen Erfahrungen des Autors mit dieser Importfunktion sind jedoch nicht durchgehend positiv. Da Cubase VST5 noch immer auf XP, laut einigen Anwendern auch noch auf Vista, lauffähig ist, kann man zum Überprüfen der korrekten Übertragung eine alte Version bereit halten und direkt vergleichen. Fairlight hat sein Projektformat in den letzten Jahren komplett umgebaut und in eine neue Form überführt. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, aktuelle Projekte im sogenannten DR2-Format auf älteren Systemen zu öffnen. Als Abhilfe bietet Fairlight in der aktuellen Dream II Software die Möglichkeit, Projekte im ‚alten‘ MT-Format abzuspeichern und somit die Abwärtskompatibilität zu sichern. Dies ist natürlich mit einigen Einschränkungen verbunden und sollte nur genutzt werden, wenn die Austauschbarkeit mit einem älteren System wirklich benötigt wird.

## Austauschformate

Vor allem im Bereich der Postproduktion ist es heutzutage enorm wichtig, Daten nicht mehr nur innerhalb einer Produktfamilie oder innerhalb der Produktpalette eines Herstellers, sondern mit verschiedenen Softwaresystemen austauschen zu können. Besonders relevant ist dabei die Möglichkeit, komplette Projekte zwischen Videoschnittplätzen und Audiosystemen übergeben zu können. Dabei muss ein Austauschformat vor allem ermöglichen, dass Audioclips ihre Position behalten und auf dem Empfängersystem nicht neu angelegt werden müssen. Eine Stufe darüber finden sich Schnitte, Fades und deren Kurvenformen, Lautstärkehüllkurven und grundlegende Automationsdaten. Aber auch die korrekte Bezeichnung der Spuren sowie der darauf befindlichen Audioclips wird immer wichtiger, je komplexer und größer die zu übertragenden Projekte werden. Die meisten Austauschformate sind sogenannte Containerformate. Das bedeutet, dass sie kein eigenes Format für die Mediendaten verwenden, sondern Audiodaten zum Beispiel im WAV- oder

AIFF-Format integrieren. Die Integration kann zum Beispiel als Referenz erfolgen, das heißt, dass die Daten an einem beliebigen Speicherort abgelegt bleiben und die Datei lediglich den Pfad zu den entsprechenden Medien abspeichert. Die Alternative dazu ist das Einbinden (Embedden) in die eigentliche Austauschdatei. Dies hat den Vorteil, dass keine Mediendaten auf dem Transportweg verloren gehen können. Der Nachteil liegt vor allem darin, dass die Dateigröße enorm anwachsen kann, was im Extremfall zu nicht mehr handhabbaren Dateigrößen führt.

Die wichtigste Frage bei allen Austauschformaten lautet: Was kann alles übertragen werden? Auch wenn es Sie möglicherweise enttäuschen wird: Streng genommen ist es nicht sonderlich viel, was zwischen den einzelnen Workstations kompatibel sein kann. Zunächst wird die sogenannte Schnittliste (EDL - Edit Decision List) übernommen. Auf ihr sind die Positionen der einzelnen Audiodateien an der angegebenen Timecode-Position als Clips abgelegt. Dazu kommen Fade-Ins, -Outs und Crossfades sowie deren Kurvenformen. Weiterhin werden die Bezeichnungen der Clips und Spuren, die Lautstärke der einzelnen Clips und die Handle-Länge übertragen. Als Handle wird ein Bereich bezeichnet, der über die eigentliche Clipgrenze hinaus reicht und um die der Clip erweitert werden kann, wenn zum Beispiel ein Fade nicht lang genug ist oder ein Schnitt nachträglich verschoben werden muss. Oftmals wird der Ton im Bildschnitt bereits rudimentär vorgeschnitten. Anschließend kann der Cutter das Projekt mit einer angemessenen Handle-Länge exportieren und dem Toningenieur so nachträglich Zugriff auf die Übergänge ermöglichen. Im Bereich Automation sind einige Formate in der Lage, Lautstärke und Panorama annähernd korrekt zu übertragen. Verschiedene darüber hinausgehende Funktionen werden von einigen Formaten erfasst und können so in das Importsystem ‚gerettet‘ werden. Je komplexer diese zusätzlichen Optionen jedoch werden, desto mehr Probleme stehen beim Import oder der Umwandlung bevor. Vor allem gibt es Probleme bei Spuren, auf denen Clips in Layern, also übereinander, angeordnet sind. Um sicher zu gehen, sollte hier zunächst aussortiert werden, damit nicht aus Versehen die falschen Ebenen in der Exportdatei landen. Gänzlich außen vor bleiben natürlich jegliche Mischpultparameter abseits der erwähnten Automationskurven, die Equalizer und Dynamikstufen oder gar Plug-Ins. Die Integration solcher Funktionen ist hoch komplex und wird von allen Herstellern vollkommen unterschiedlich gehandhabt, so dass auch in Zukunft kein Format die Fähigkeiten haben wird, solche Funktionen sinnvoll zu übertragen. Es stellt sich hier jedoch ohnehin die Frage, ob es wirklich sinnvoll wäre. Ein Beispiel: Der Equalizer von Programm A

klings mit Sicherheit nicht wie der von Programm B - warum sollte man also Parameter direkt übertragen wollen? Am meisten genutzt werden zurzeit die folgenden Formate:

## OMFI

Das ‚Open Media Framework Interchange‘-Format (kurz OMFI) nutzt die Dateierweiterung OMF und wurde ursprünglich von der Firma Avid entwickelt, um Daten zwischen den hauseigenen Videosystemen und Pro Tools austauschen zu können. OMF wurde daher von Avid vollständig im Alleingang definiert und entwickelt. Andere Firmen können das Format nutzen und erhalten auf Wunsch ein Software Development Kit, mit dessen Hilfe eine OMF-Export- oder -Importfunktion implementiert werden kann. OMF ist dabei wie die meisten vergleichbaren Systeme nur ein Containerformat, in das die eigentlichen Mediendateien entweder eingelagert (embedded) werden können oder in dem nur eine Dateireferenz verzeichnet wird, die auf die unabhängig abgelegten Daten verweist. Sollten Sie ein Projekt zwischen einem Mac und einem PC übertragen, so empfiehlt es sich, die Mediendaten in das OMF einzubinden. Der Grund: Vor allem Macs haben Probleme damit, Windows-Dateipfade korrekt zu übersetzen. Dadurch kann es zu Problemen kommen, die zugehörigen Dateien automatisch zu lokalisieren. Beachten Sie, dass Audiodateien für das ‚Embedden‘ nur in den Formaten WAVE oder AIFF vorliegen dürfen. OMF existiert in zwei Versionen. Version 1 erlaubt dabei nur die Übertragung von Audioclips und Schnitten. Darüber hinaus gehende Daten wie etwa Fadeformen, Clipbezeichnungen und Lautstärke-Hüllkurven werden nicht erfasst. Diese sind in Version 2 verfügbar, die außerdem die Verwendung von Lautstärke- und Panorama-Automation gestattet. Version 1 sollte daher nur in Ausnahme-

fällen genutzt werden, wenn das Zielprogramm keine OMF v.2-Dateien akzeptiert. Sollte Ihnen das exportierende Programm die Möglichkeit bieten, zwischen Frame- und Samplebasierter Version umzuschalten, gilt eine einfache Regel: Ist das Zielprogramm ein Videosystem, nutzen Sie Frames als Zeitbasis. Handelt es sich um ein Audiosystem, können Sie die Samplebasis beibehalten.

## AAF

Das ‚Advanced Authoring Format‘, kurz AAF, ist eine Weiterentwicklung des OMF-Formats. Dabei sind alle Möglichkeiten von OMF v.2 enthalten und durch weitere ergänzt worden. Es stellt sozusagen OMF v.3 dar, wird jedoch in seinen Spezifikationen nicht mehr ausschließlich von der Firma Avid definiert. Die Verantwortung für die Entwicklung des Formats wurde an die sogenannte ‚Advanced Media Workflow Association‘ übergeben, die

# Das Auge hört mit!

## FLUX PURE ANALYZER SYSTEM

The next generation Real Time Analyzer

**Pure Analyzer Essential (UVP 332,-)**

- Metering Option mit EBU R128 Meter (UVP 177,-)
- Multichannel Option (UVP 177,-)
- Live Option (UVP 177,-)

Erhältlich für VST/AU/RTAS für Windows und MacOS X

[www.audiowerk.eu](http://www.audiowerk.eu) | [info@audiowerk.eu](mailto:info@audiowerk.eu)  
Vertrieb für D, A, CH | Tel: +49 67 1-21 35 420

eine Art Konsortium verschiedener Hersteller aus der Audio- und Videobranche darstellt. Die wichtigste Neuerung in AAF stellt die Eingliederung des sogenannten MXF-Formats dar, welches unter der federführenden Entwicklung von Sony und Panasonic die Übertragung komplexer Videoprojekte gestatten soll. AAF kann also grob vereinfacht als MXF-Datei mit Audioteil verstanden werden. Da die meisten Audiosysteme mit nur einer einzelnen Videospur umgehen können, ist es besonders wichtig, dass die importierende Audiosoftware den Videoteil des Projektes nicht verändert. Es muss also gewährleistet sein, dass ein Videoprojekt in einer Audiosoftware bearbeitet und anschließend ohne Abstriche in die Videosoftware zurück gespielt werden kann. Dabei darf der Videobereich während der Audiotbearbeitung nicht verworfen, sondern muss beim Export wieder an die Datei angehängt werden. Problematisch bei der MXF-Integration ist, dass es verschiedene Unterstandards, die sogenannten ‚Operational Patterns‘ (kurz OPs), gibt. Diese definieren verschiedene Featuresets innerhalb des MXF-Datenteils und erlauben so die Integration von mehr oder weniger tief greifenden Funktionen innerhalb der Software. Sie sind von außen als Datei jedoch nicht zu unterscheiden und können erst nach dem Importversuch erkannt werden - wenn dieser gescheitert ist. Der Anwender wird jedoch dazu verführt, anzunehmen, dass zwei Anwendungen, die das AAF-Format beherrschen, die entsprechenden Projekte auch miteinander austauschen können. Dies wird aber eben nicht immer uneingeschränkt funktionieren.

Als weiteres Problem kommt hinzu, dass Änderungen an einer der verschiedenen OPs dazu führen, die gesamte AAF-Routine des Importprogramms anpassen zu müssen. Entweder der Hersteller entscheidet sich für ein einzelnes OP, welches er voll unterstützt, oder er muss für alle OPs separate Importroutinen eingliedern und warten. Dies stellt jedoch einen enormen Aufwand dar, weshalb sich jeder große Hersteller ‚seinen‘ Standard gesucht hat, welcher in den eigenen Systemen unterstützt wird. Zur Orientierung finden Sie in **Tabelle 1** einige Hersteller und die jeweils verwendeten Formate. Dies alles klingt zwar zunächst nicht sonderlich vertrauenerweckend für das Format, womit ihm al-

lerdings unrecht getan wird. Tatsächlich ist es so, dass das AAF-Format von allen aktuellen Austauschformaten die besten Zukunftsaussichten besitzt. Vor allem der stetig wachsende ‚MXF-Anteil‘ ist ein wichtiger Grund, das Format weiter zu verfolgen und stellt sozusagen den Motor der Entwicklung des Gesamtsystems dar.

## XML

‚Extensible Markup Language‘ ist die Bezeichnung, die sich hinter der Abkürzung XML verbirgt. Diese ist eine sehr universelle Beschreibungssprache, die für jegliche Anwendung (Datenbanken, Internetseiten, Metadaten aller Art) offen steht und eben auch im Audio- und Videobereich von verschiedenen Firmen genutzt wird. Es handelt sich um ein Textdokument, in dem alle für den Import relevanten Informationen nach dem XML-Schema eingezeichnet sind. Mit Hilfe eines Texteditors kann der erfahrene Anwender Modifikationen direkt eingeben, wovon wir allerdings abraten, wenn man nicht sehr genau weiß, welche Daten geändert werden dürfen und welche nicht. In jedem Fall sollte vor der Bearbeitung eine Kopie angefertigt werden, um die Nutzbarkeit des Dokumentes nicht zu gefährden. XML beschreibt lediglich die Parameter innerhalb eines Audioprojektes und kann somit keinerlei Mediendaten integrieren. Es setzt lediglich Referenzen auf die zugehörigen Dateien, die jedoch separat mit übertragen werden müssen. Generell muss leider festgestellt werden, dass XML-Dateien außer dem eigenen Programmierstandard kaum Regeln besitzen. Das bedeutet, dass jeder Hersteller die XML-Sprache verwenden kann, um damit eigene Export- und Import-Routinen zu kreieren. So ist eine XML-Datei aus einer Logic-Umgebung nicht auf einem Computer mit Nendo nutzbar - eine Austauschbarkeit zwischen verschiedenen Herstellern ist also nicht gegeben. Wenn XML jedoch in Verbindung mit einem Übersetzungsprogramm wie etwa Pro-Convert (siehe unten) verwendet wird, können auch XML-Daten relativ erfolgreich zwischen verschiedenen Workstations ausgetauscht werden. Dennoch bietet es auch dann nur eingeschränkte Möglichkeiten.

## AES-31

Der von der Audio Engineering Society entwickelte Standard AES-31 nutzt das ‚Broadcast Wave‘-Format, um Audiodateien an ihre korrekte Abspielposition zu setzen. Zusätzlich werden Schnitte gespeichert und Fades in separate Fadefiles gerechnet. Damit können die Schnitte in ihrer korrekten Form und Länge übertragen, jedoch nicht

### TABELLE 1

**Avid:** OP-Atom, OP1a-GC-D10, OP1a-GC-DV

**Panasonic:** OP-Atom

**Sony:** OP1a-GC-D10

**Digidesign Pro Tools:** OP-Atom

Opened Project: AES31 / project.adl

File View Convert Tools Help

"Mix\_TheOne export10tr"

171 Clips    48000 Hz    Automation: No    Start: 10:00:00,000    Offset: 00:00:00,000  
 110 Sourcefiles    n/a bit    Markers: No    End: 20:00:59,310    Projectsize: 325,230 MByte  
 10 Tracks    25 fps    PQ data: No    Total: 10:00:59,310

[No.]	Clip Name	Source In	Source Out	Edit In	Edit Out	Track
[001]	Midget wird entdeckt.ne-01	00:00:04,000	00:00:18,160	10:00:33,640	10:00:47,800	01
[002]	warum waren sie nicht v	00:00:04,000	00:00:16,680	10:01:44,840	10:01:57,520	01
[003]	tora_tora_new.02	00:00:04,000	00:00:07,840	10:02:44,400	10:02:48,240	01
[004]	tora_tora_new.01	00:00:04,000	00:00:04,560	10:02:48,200	10:02:48,760	01
[005]	zweiter tauchgang.new.0	00:00:04,000	00:00:04,520	10:02:48,720	10:02:49,240	01
[006]	Andere Leute.new.01-01	00:00:01,520	00:00:04,623	10:02:49,200	10:02:52,303	01
[007]	Andere Leute.new.01-02	00:00:04,578	00:00:04,673	10:02:52,258	10:02:52,353	01
[008]	Andere Leute.new.01-03	00:00:04,658	00:00:15,960	10:02:52,338	10:03:03,640	01
[009]	darker and darker.new.0	00:00:04,000	00:00:17,360	10:03:35,680	10:03:49,040	01
[010]	Historische Bedeutung.n-01	00:00:04,000	00:00:05,000	10:03:49,040	10:03:50,040	01
[011]	Historische Bedeutung.n-02	00:00:05,600	00:00:10,456	10:03:50,000	10:03:54,856	01
[012]	jaramotos idee.new.01-01	00:00:04,000	00:00:21,080	10:04:32,560	10:04:49,640	01
[013]	jaramotos idee.new.01-02	00:00:22,800	00:00:25,240	10:04:49,600	10:04:52,040	01
[014]	eine kombinierte attack	00:00:04,000	00:00:35,480	10:05:23,720	10:05:55,200	01
[015]	ansprache pien.new.01	00:00:02,537	00:00:09,840	10:06:33,892	10:06:41,195	01
[016]	best of the best.new.01	00:00:04,000	00:00:17,576	10:07:05,560	10:07:19,136	01
[017]	Give me pearl harbor.ne	00:00:04,000	00:00:31,400	10:08:36,760	10:09:04,160	01
[018]	Nichts gewusst nichts g-01	00:00:04,000	00:00:05,520	10:09:40,560	10:09:42,080	01
[019]	Nichts gewusst nichts g-02	00:00:07,760	00:00:24,040	10:09:42,080	10:09:58,360	01
[020]	Recorded Audio 0	00:00:00,000	00:00:03,892	20:00:00,000	20:00:03,892	01
[021]	Recorded Audio 10	00:00:00,000	00:00:06,631	20:00:08,194	20:00:14,826	01
[022]	hgfguu-01	00:00:00,000	00:00:06,847	20:00:14,826	20:00:21,672	01
[023]	test01	00:00:00,000	00:00:05,564	20:00:25,035	20:00:30,598	01
[024]	Recorded Audio 19	00:00:00,000	00:00:18,305	20:00:30,598	20:00:48,904	01

Clip: [017] "Give me pearl harbor.ne"  
 Duration: 00:00:27,400    Faden-Type: no fade  
 Level: 9,00 dB    Faden-Time: 0,000 msec.  
 Locked: n/a    FadeOut-Type: Linear  
 Mute: No    FadeOut-Time: 80,000 msec.

Trackname: "Track 01"  
 Source: "C:\Dokumente und Einstellungen\1\Desktop\Test2\Flexport\Aes Audio\Give me pearl harbor.ne\_0.wav"  
 (BWF: 48000 Hz; 16-bit; mono; located)

AES31 v01.01.00.00.03 created 21.04.2009

DN-F650R  
Professional Solid State Recorder/Player

PROFESSIONAL PLAYBACK TECHNOLOGY

DN-F650R



# Solid state performance.

...einfach speichern...einfach sicher...einfach DENON!



Der DENON DN-F650R ist ein professioneller Flash-Recorder, der Aufnahmen auf einer SD-/SDHC-Karte oder einem externen USB-Laufwerk erlaubt und für anspruchsvolle Wiedergabe- und Aufnahmeeinsätze im Bereich Broadcast, Live Sound, Theater uvm. geeignet ist.

- Aufnahmemedien USB Massenspeicher & SD/SD-HC Karte
- Aufnahmeformate WAV (bis 96 kHz Fs) & MP3 (MPEG-1 Layer III)
- Digital-IN/OUT AES/EBU (XLR) & S/P-DIF (Cinch)
- Schnittstellen seriell RS-232C - parallel/GPIO u. a. Fader-Start
- "Theater-Modus" -Wiedergabe
- RC-F400S Bedieneinheit (optional) für sofortigen "Hot Start" von 20 z. B. Jingles/Samples etc.



OPTIONAL RC-F400S



Broadcast



Live Sound



Theater

Weitere Informationen finden sie hier unter [www.dm-pro.eu](http://www.dm-pro.eu)

nachträglich verändert werden. Das Zielprogramm muss bei Änderungen den Ursprungs-Fade zunächst löschen und anschließend einen neuen berechnen. AES-31 unterstützt nur die Integration einer einzelnen Videospur und ist somit nicht geeignet, komplexe Multimediaprojekte zu übertragen. Alle Parameter werden auch hier in einer Textdatei nach XML-Standard (jedoch mit der Dateierweiterung ADL für ‚Audio Decision List‘ versehen) gespeichert und können ebenfalls mit einem Texteditor nachträglich angepasst werden.

## Open TL

Mit der Einführung der Festplattenrecorder aus der MX- und MM-Serie sah sich Tascam mit dem Problem konfrontiert, dass die aufgezeichneten Mehrspurdaten in einem Schnittsystem oder einer Audioworkstation weiterverarbeitet werden können müssen. Man entschied sich daher dafür, von der Firma Timeline ein eigenes Transferformat entwickeln zu lassen. Dieses wurde allerdings komplett offen gestaltet, um Herstellern von Audiosoftware zu ermöglichen, eine Importfunktion in ihre Systeme zu integrieren. Mit der Zeit nutzten verschiedene Hersteller jedoch auch die Möglichkeiten des Exports, und so können OpenTL (Open Track List) -Dateien nicht nur für die Übertragung von und zu MX2424-Recordern, sondern auch zwischen verschiedenen Applikationen genutzt werden. OpenTL besitzt jedoch leider einige Einschränkungen bei der Übertragung nach einer Bearbeitung. So kann OpenTL zum Beispiel ausschließlich Mono-Dateien mit 16 oder 24 Bit verarbeiten. Entscheidend ist jedoch das Problem, dass nur Standard-Fades (also lineare Fades) übertragen und Clips mit abweichenden Fade-Formen komplett verworfen werden. Es kann so versehentlich geschehen, dass Clips aus dem Projekt entfernt wurden, ohne dass der Anwender dies bemerkt hat. Diese Einschränkung kann im hektischen Produktionsalltag gefährlich werden und schließt die Verwendung von OpenTL als echtes Weitergabeformat weitgehend aus.

## Projektkonverter

Wenn alle integrierten Formate versagen, muss ein Programm zum Umwandeln genutzt werden. Allerdings gibt es im Audibereich nicht gerade viele davon. Das derzeit wichtigste ist die Software Pro-Convert vom Mischpulhersteller Solid State Logic, der sich seit einigen Jahren sehr auf dem Workstationmarkt engagiert und mit durchdachten Hard- und Softwarewandlersystemen auf sich auf-

merksam macht. Basis von Pro-Convert war die Software ‚EDL-Convert‘ der Firma ‚Cui Bono Software‘, die vor über einem Jahr in SSL übergegangen ist. Bisher ist Pro-Convert in der Version 5 nur für den PC verfügbar. In den nächsten Wochen wird jedoch eine Mac-Zwischenversion mit der Nummer 5.5 heraus kommen, die vier der wichtigsten Formate unterstützen wird. Diese sind Apple Logic XML, Steinberg XML, Pro Tools und das hausinterne Format der Soundscape-Anwendung. Damit bei den Apple-Usern unter unseren Lesern jedoch keine Enttäuschung über diese Formatbegrenzungen aufkommt, können wir bereits berichten, dass im vierten Quartal des Jahres die Version 6 für beide Rechnerplattformen erscheinen wird. Diese wird sowohl auf dem Mac als auch auf dem PC mit identischen Möglichkeiten und allen bis dato insgesamt verfügbaren Formaten zur Verfügung stehen. Außerdem hat SSL eine so genannte ‚Alliance‘ gegründet, mit deren Hilfe Pro-Convert noch näher an die proprietären Formate der einzelnen Hersteller heran rücken soll. Dieser Allianz sind bereits mehrere wichtige Hersteller beigetreten, was die Hoffnung stärkt, dass einige verbreitete Formate in Zukunft noch besser transferiert werden können.

## Praxis mit Pro-Convert

Die Software besitzt eine sehr intuitiv nutzbare Oberfläche. Nach dem Start der durch ein WiBu-Dongle geschützten Software kann die gewünschte Quelldatei über den ‚Öffnen‘-Dialog unmittelbar ausgewählt werden. Das Programm lädt die entsprechenden Daten und macht sie in einer Übersicht zugänglich. Hier können nun die Anzahl der Spuren und Clips, die Samplerate, Länge und Größe des Projektes und die Angaben für die einzelnen Clips eingesehen werden. Auf diese Weise erhält man einen sofortigen Überblick, ob und welche Automation in den Spuren verwendet wird oder welche Fade-Form und -Länge ein einzelner Clip aufweist. Nun kann auf der linken Seite des Hauptfensters eines der gewünschten Zielformate angeklickt werden. Leider sind diese nicht mit ihren Namen bezeichnet, sondern nur mit den jeweils passenden Programmicons versehen. Das Suchen nach dem passenden Icon verlangsamt die Nutzung für Neueinsteiger ein wenig. Bild 3 zeigt in einer Tabellenübersicht die möglichen Formate und alle Parameter, die mit den jeweiligen Dateiformaten übertragbar sind. Zum Exportieren wird das entsprechende Format angeklickt. Es öffnet sich ein Dialog, in dem der neue Speicherort und die Bezeichnung der Datei sowie einige grundlegende Einstellungen wie etwa die Samplerate des Zielprojektes, die Art der Fadeübertra-

DAW Application Project Format																			
X=supported																			
Clip	Name	x	x	x			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Level		x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	x	x		
	Mute	x	x	x	x		x	x	x	x	x			x	(x)	x	x		
	Locked	x	x				x	x		x							[x]		
	Lock for play						x			x									
	Rec						x			x									
Track	Pan						x		x										
	Fade Type	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		
	Name	x	x				x	x	x	x	x	(x)		(x)		x	x		
	Mute	x	x	x	x			x	x	x	x			x	(x)		[x]		
	Solo	x	x	x	x				x	x	x			x	(x)		[x]		
	Volume							x	x					x					
	Panorama									x									
	Vol Curve	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	(x)		x	x	
	Pan Curve	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	(x)		x	x	
	Markers	x		x	x				x						(x)	x		x	
Project	Mixed SRates (single Track)		x					x	(x*1)					x					
	Title		x	x			x	x			x			(x)		(x)	x		
	Sample Rate	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(x)		x	x	x	
	Bit Rate	x						x	x	x	x			(x)		x	x	x	
	Frame Rate	x		x			x	x	x	x	x			(x)		x	x	x	
	Offset	x		x	x	x	x			x	x	x		(x)		x	x	x	
	Mono/Stereo (single Track)		x						x	x				x					
	Mixed SRates (in Project)	x	x					x	(x*1)					x					
	Wave	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	AIFF	x			x	x			x	x	x	x		x	x		(x)	(x)	x
Audio Files	SDII	x*3						x	(x*3)							x	(x*3)	x	
	Sadie3 audio																		
	Soundscape TFF								x										
	AU								x					x	x				
	mp3		x						x*1					x	x				x
	8bit		x						x	x				x	x	x			
	16bit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	24bit	x	x	x	x	x	x	x	x	x*2	x	x	x	x	x	x	x	x	x
32bit								x					x						

(\*1) No resampling (\*2) Mixer columns are interpreted as track names (\*3) Avoid SDII when converting between platforms. (Studio) (Script) (TL)|BU

Bild 2: Von links nach rechts: Pro Tools 5.1 - 7.x, Samplitude/Sequoia EDL, Apple XML, Adobe Audition, OMF, Soundscape, Cool Edit Pro, Steinberg XML, Pro Tools 5.0, AES-31, SAW, Wavelab, Vegas, Sadie 3 - 4, Sonic EDL und OpenTL (Quelle: SSL)



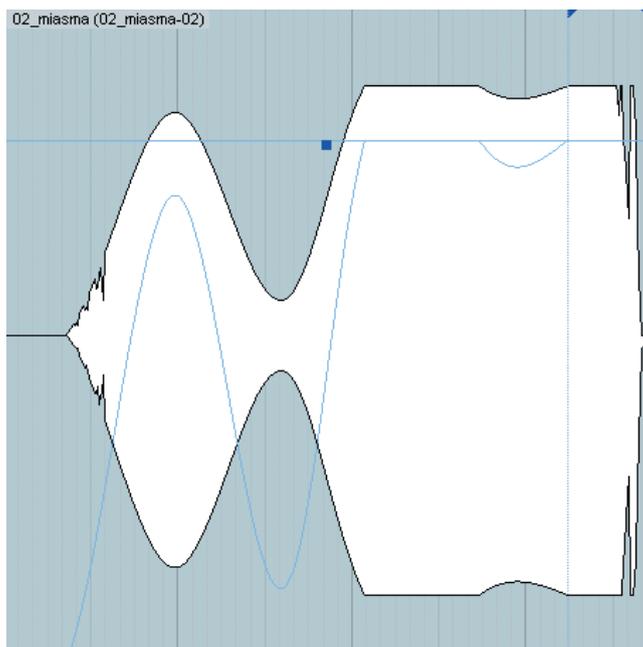
**Babyface**  
High-End Audio Interface  
im Taschenformat

22-Kanal  
USB 2.0

- 2 x Analog I/O
- 2 x Mic/Line (48V)
- 1 x Instrument IN
- 1 x Headphone
- 1 x ADAT I/O
- 1 x SPDIF I/O
- 1 x MIDI I/O

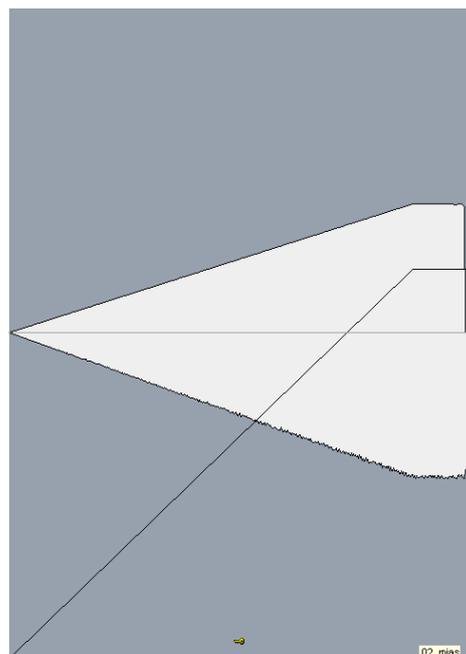


Jetzt in 4  
verschiedenen  
Varianten erhältlich!



Ein Fade-In,  
vor der Übertragung  
mit OMF (links)...

...welche zur  
Samplitude EDL  
konvertiert wurde  
und seine Kurven-  
form verliert (rechts)



gung und weitere Details angegeben werden können. Mit einem Klick auf die ‚Convert‘-Schaltfläche beginnt die Umwandlung in das neue Format. Damit ist die Funktionalität der Umwandlung schon erschöpfend beschrieben, denn mehr Möglichkeiten gibt es in diesem Fall nicht. Entscheidend ist aber natürlich, wie gut die übertragenen Dateien in der Zielanwendung genutzt werden können. Zunächst gibt es noch einige Einschränkungen in der aktuellen Softwareversion, die laut SSL jedoch sehr schnell behoben werden sollen. So kann Pro-Convert im Moment keine Pro Tools 8-Sessions und auch keine Cubase 5-Dateien verarbeiten. Außerdem bietet Pro-Convert bisher nur die Möglichkeit der Integration für eine einzelne Videospur. Dies schließt die Verwendung von AAF mit seinen umfangreichen Videoformaten bisher grundsätzlich aus. Besonders positiv ist uns aufgefallen, dass die unterschiedlichen Verfahren zur Nutzung von Automations- und Fade-Daten in vielen Fällen sehr weitreichend übertragen werden konnten. Dies ist deshalb erstaunlich, weil die Automation einer DAW-Software sehr weit mit dem internen Mischpult verwoben ist und es daher schwierig erscheint, diese zu extrahieren und zu übersetzen. Bei unseren Testprojekten gelang es jedoch, Panorama- und Lautstärken-Automationskurven zwischen Pro Tools, Nuendo und Sequoia zu übertragen. Ein weiterer Knackpunkt sind die Fades. Da Pro Tools alle Fades als eigene Fadedatei offline berechnet, muss Pro-Convert beim Übertragen in Nuendo eine Übersetzung zu den dort verwendeten ‚Live-Fades‘ durchführen, was in beide Richtungen weitgehend funktioniert. Probleme gab es lediglich bei einigen selbst gezeichneten Kurvenformen, die nicht reproduziert werden

konnten. Ein extremes Beispiel solch eines Problems finden Sie in den nebenstehenden Bildern. Das Beispiel wurde in Nuendo erstellt, als OMF gespeichert, von dort in eine Samplitude-EDL umgewandelt und in Sequoia importiert. Dieser Weg klingt kompliziert, ist in Ermanglung einer Importfunktion unter Sequoia aber nicht unrealistisch. Hier liegen die limitierenden Eigenschaften jedoch wahrscheinlich in den Programmformaten selbst, da nicht alle Kurvenformen frei unterstützt und mit den EDL-Formaten übertragen werden. Clip-Position und Clip-Lautstärke wurden in allen Fällen vollkommen korrekt übernommen. Schwierigkeiten hatten wir bei der Übertragung von Markern. Obwohl OpenTL eigentlich Marker verarbeiten können müsste, gelang es uns nicht, gesetzte Marker aus einem MX2424-Projekt (wir haben noch ein solches Gerät im Studio) in das erzeugte Nuendo-Projekt zu übertragen. Dies scheint jedoch kein Pro-Convert Problem zu sein, sondern eine weitere Schwierigkeit mit OpenTL darzustellen. Als zusätzliches Werkzeug bietet Pro-Convert das sogenannte Audio-Tool an, mit dessen Hilfe Audiodateien in neue Formate mit definierbaren Parametern übertragen werden können. Es ist so beispielsweise möglich, aus Interleaved-Stereodateien getrennte Split-Stereodateien zu erstellen, um sie etwa in älteren Pro Tools-Versionen besser nutzen zu können. Außerdem kann die Auflösung erhöht und das Zielformat zwischen WAVE, BWF, AIFF, AIFF (datenkomprimiert) und dem Soundscape-eigenen TFF-Format gewählt werden. Der Software liegt ein WiBu-Key Dongle und ein wirklich sehr gutes und umfangreiches, gedrucktes Handbuch bei. Wer mehr über die einzelnen Formate erfahren möchte und

die manchmal leider doch recht großen Einschränkungen nicht erst als böse Überraschung beim Importieren kennen lernen will, kann sich hier umfangreiche Hilfe holen. Insgesamt bietet Pro-Convert wirklich viele Möglichkeiten an, die den Preis von 495 Euro zuzüglich der Mehrwertsteuer mehr als rechtfertigen. Wer regelmäßig Konvertierungen zwischen verschiedenen Programmen durchführen muss, kommt um diese Software nicht herum. Dass die eigentliche Aufgabe der Konvertierung in den meisten Fällen ein anstrengendes Unterfangen bleibt, liegt in der Natur der Sache und ist den Entwicklern nicht vorzuwerfen. Hoffen wir, dass in Zukunft immer mehr Firmen auf den Trichter kommen, dass Austausch förderlich ist und nicht nur weniger ‚Sales‘ in die eigene Tasche bedeutet. Bis dahin hilft Pro-Convert den Leid geplagten, soweit es kann, und dies wirklich gut.

## Schlussbetrachtung

Die Konvertierung von Projekten ist und bleibt ein schwieriges und manchmal Nerven aufreibendes Unterfangen. Kommt dazu noch Video ins Spiel, dann steigen die meisten Audiosysteme bereits von alleine aus, wenn mehr als eine Videospur genutzt werden soll. Da helfen auch keine erweiterten Formate wie AAF. Dazu kommt, dass moderne Ansätze und ihre Regeln auch bei den aktuellen Technologien von einzelnen Herstellern gern ‚aufgeweicht‘ werden, um sie für die eigenen Produkte zu optimieren. Dadurch geraten alle anderen Firmen

jedoch immer wieder in Probleme, die durch die eigentliche Idee der Normierung vermieden werden sollten. Solange sich die Hersteller diese Steine jedoch immer wieder selbst in den gemeinsamen Weg legen, bleibt die Notwendigkeit für eine Software wie Pro-Convert bestehen - des einen Freud, des anderen Leid. Obwohl wir versucht haben, so viele Konvertierungen wie möglich durchzuführen, konnten natürlich nicht für alle DAWs umfassende Versuche angestellt werden. Es gibt einfach zu viele Kombinationsmöglichkeiten, um im Rahmen einer solchen Betrachtung zu abschließenden Urteilen für jede Konstellation zu kommen.



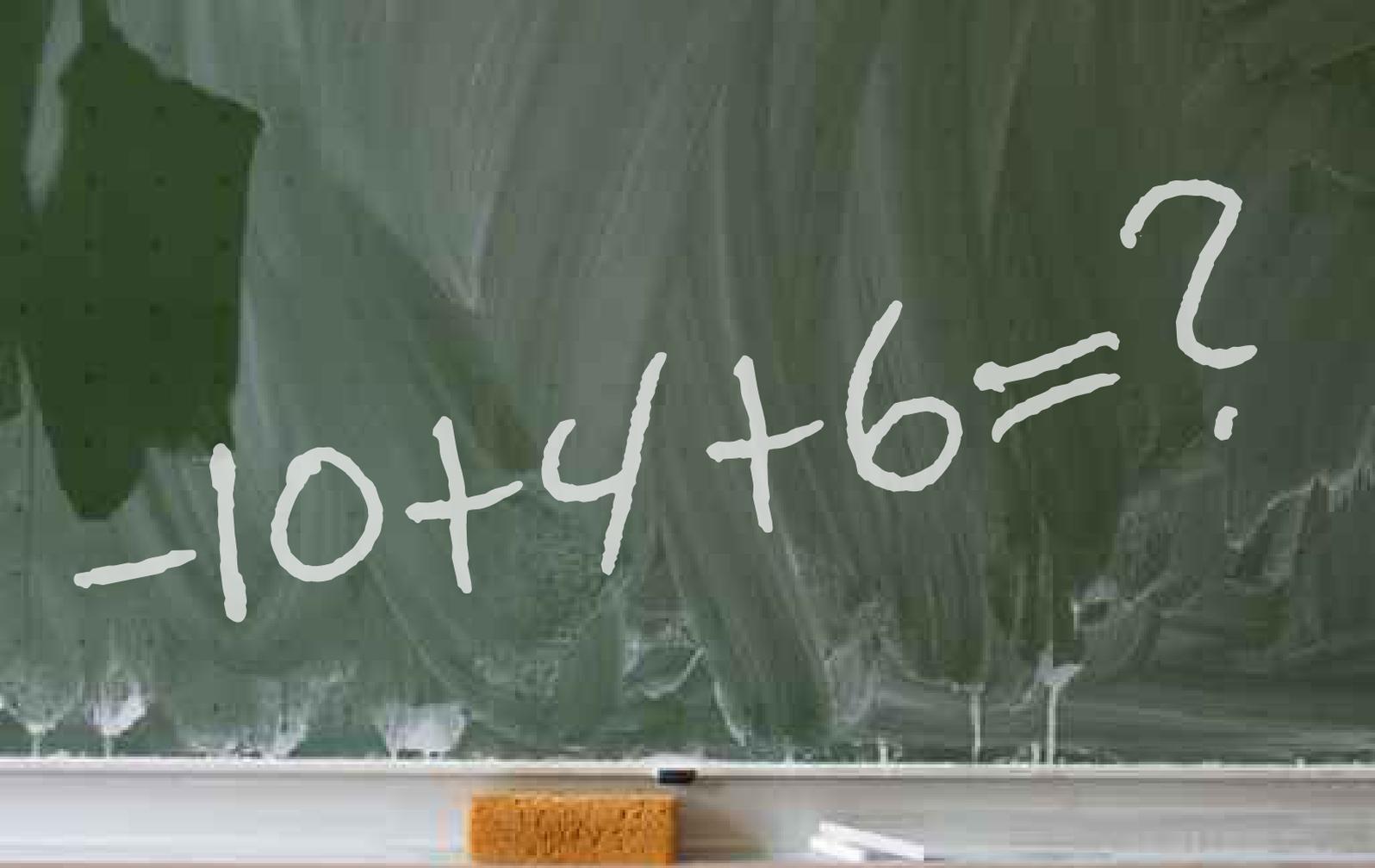
## Setting New Standards

**RTW**  
SurroundControl 31900

Loudness Metering.  
Made in Germany.



**RTW**


$$-10 + 4 + 6 = ?$$

Friedemann Kootz, Abbildungen: Friedemann Kootz

# Pegelbezüge im Tonstudio – 2009

Geht man in ein heutiges Tonstudio, begegnet man oft einer bunten Mischung moderner und sogenannter ‚Vintage‘-Geräte von Herstellern aus aller Herren Länder, von denen jeder im Prinzip sein eigenes Pegelsüppchen kocht und sich nur im größtmöglichen Umfange um die Verbindung nach außen zu kümmern scheint. Dadurch trifft man immer wieder auf ähnliche Probleme. Rauschen oder Übersteuerung, Probleme bei der Übertragung zwischen verschiedenen Geräten und bei der Übersetzung von der analogen in die digitale Domäne und zurück. In vielen Heimstudios gibt es keine optimalen Kenntnisse im Umgang mit Pegeln und bei den Profis gerät im Laufe der Jahre auch das Eine oder Andere durcheinander, was beim Einrichten ursprünglich in Ordnung war. Vor allem bei der Umstellung von Band auf DAW haben einige Studios aus Zeit- und Geldnot heraus einfach die Kabel in die neuen Buchsen gesteckt. Das Frühjahr (nun gut zum Erscheinungstermin ist bereits Juni und streng genommen Sommer) soll in diesem Jahr daher genutzt werden um einmal richtig aufzuräumen in den Pegelstrukturen des eigenen Arbeitsplatzes! Welche Werte und Referenzen gelten in der analogen, welche in der digitalen Audiowelt und wie können die beiden sinnvoll verbunden werden. Diese Grundlagen sind den meisten Lesern sicher bekannt, dennoch ist es manchmal sinnvoll nicht täglich genutztes Wissen aufzufrischen, bevor man sich an die Arbeit wagt und die häufig wechselnden Strukturen überprüft. Oft verändern sich die ursprünglichen Verhältnisse bei Zu- oder Verkauf von Equipment und viele Hersteller gehen mit den Vorgaben recht großzügig um. Zusätzlich kann es passieren, dass Geräte über die Jahre ‚wandern‘ und den Rauschpegel so schleichend erhöhen. Bei einem Neubau sollte von vorne herein darauf geachtet werden, die vorhandenen Reserven durch eine kluge Planung aus der neu angeschafften Technik heraus zu holen. Natürlich sollten bei allen Planungen zunächst die Hörerfahrung und der Geschmack im Vordergrund stehen. Die genannten Anhaltspunkte zur Optimierung stellen alle lediglich einen Vorschlag zur Herangehensweise dar. Vielleicht können einige unserer geschätzten Leser und Leserinnen ja noch das eine oder andere ungeahnte Potential aus einem ihrer Geräte heraus holen?

---

---

## Am Anfang war das Bel

---

Auch wenn Alexander Graham Bell nicht als Erfinder des Telefons durchgeht und seine Person durchaus kritisch betrachtet werden sollte, wurde sein Name in der für die Audiobranche wohl wichtigsten Einheit verewigt, dem Bel (B). In der Praxis nutzen wir die Unter-Einheit Dezibel (dB), also ein Zehntel des Bel. Und obwohl das dB jedem Tonschaffenden täglich begegnet, scheint es bis heute für manchen Anwender ‚das unbekannte Wesen‘ zu sein, mit dem man sich arrangiert hat, aber so ganz durchschaut man es dann doch nicht. Ein Schelm, der an dieser Stelle an seinen Lebensabschnittsbegleiter denkt. Dabei ist das dB eigentlich wenig geheimnisvoll, wenn man sich das Prinzip dahinter vergegenwärtigt. Das dB als solches ist eine sogenannte Pseudoeinheit. Es stellt also im Gegensatz zu Gramm und Liter oder Volt und Ampere keinen absoluten Wert dar, sondern repräsentiert nur das Verhältnis eines Wertes zu seinem Bezugswert. Das bedeutet, dass eine Angabe in dB nur verdeutlicht wie stark ein gesuchter Wert von einem Bezugswert abweicht. Die Angabe ‚Quelle A misst 6 dB mehr als Quelle B‘ sagt also nichts über die absoluten Werte von Quelle A oder B aus. Natürlich kann das dB auch zu einem festen Wert referenziert werden. Damit gewinnt das dB eine Dimension, die ein Verhältnis zu einem festgelegten Bezugspunkt darstellt und somit absolut wird. Die Referenz wird dabei als Anhängsel angegeben. Bekannte Referenzen sind zum Beispiel dBu (Bezugswert ~0,775Volt), dBV (Bezugswert 1Volt) oder dBFS (Bezugswert digitale Vollaussteuerung). Die Aussage ‚Quelle A misst einen Wert von +6 dBu‘ gibt dem Leser also an, dass der gemessene Wert 6 dB über 0,775V liegt. 6 dB entsprechen hier einer Verdopplung (siehe später). Umgerechnet haben wir es also mit 1,55 V zu tun. Das menschliche Ohr ist ein Beispiel für eine logarithmische Funktion. Betrachtet wir einen fiktiven Lautsprecher, der ein Signal mit einem Watt Leistung abgibt. Um eine Verdopplung der Lautstärke zu erreichen, muss der Lautsprecher 2 Watt Leistung an das Ohr liefern. Soll diese Lautstärke nun abermals verdoppelt werden, müssen 4 Watt aufgebracht werden, für eine nochmalige Verdopplung bereits 8 Watt und so weiter (diese Leistungsberechnung ist hier nur als Beispiel für logarithmische Funktionen gedacht. In der Studiopraxis sind Leistungsberechnungen selten). Zugegebenermaßen ist die Bestimmung einer Verdopplung der Lautstärke für die Ohren des Autors enorm schwierig bis unmöglich, in Ermanglung gegenteiliger Anhaltspunkte sollte jedoch auf die Empirie der psychoakustischen Forschung vertraut werden. Deutlich prä-

ziser als bei Lautstärken funktioniert das Ohr annähernd logarithmisch, wenn man in die Frequenzebene hinein horcht. Ein Grundton A mit 440 Hz wird verdoppelt. Die musikalische Oktave liegt also bei 880 Hz. Die nächste Oktave bei 1760 und die darauf folgende bereits bei 3520 Hz. Man sieht hier sehr gut, dass durch diese Logarithmik ein sehr großer Wertebereich überstrichen wird, der mit absoluten Werten nur sehr aufwändig beschrieben werden kann. Abhilfe schafft das dB, denn es stellt den relevanten Wertebereich mit einer maximal dreistelligen Zahl dar und macht ihn in der Praxis so leichter überschaubar und berechenbar. Mathematisch gesehen ist das Dezibel leicht zu verstehen, wenn man zunächst die Berechnung des Bel betrachtet:

Es handelt sich beim Formelzeichen ‚log‘ immer um den Logarithmus zur Basis 10.

In diesem Beispiel wird die Leistung P<sub>2</sub> auf Leistung P<sub>1</sub> (Referenz) bezogen. Wenn das Ergebnis eine negative Zahl ist, bedeutet dies, dass P<sub>2</sub> kleiner ist als P<sub>1</sub>, bei einem positiven Wert liegt P<sub>2</sub> über dem Referenzwert P<sub>1</sub>. Da Bel jedoch immer noch relativ ‚sperrige‘ Werte liefert, hat man sich entschieden nur seinen zehnten Teil, das Dezibel zu nutzen:

$$dB = 10 * \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

So weit so einfach. Es muss jedoch noch beachtet werden, dass die oben angegebenen Formeln nur beim Rechnen mit Leistungen gelten. Soll eine andere Größe, zum Beispiel eine Spannung oder der Schalldruckpegel, berechnet werden, muss die Formel angepasst werden, um die Quadrierung der Werte einzubeziehen:

$$dB = 10 * \log\left(\frac{x^2}{x_1^2}\right)$$

dies kann umgestellt werden:

$$dB = 20 * \log\left(\frac{x}{x_1}\right)$$

Hieraus ergibt sich eine wichtige Regel für die Praxis: Verdoppelte/halbierte Spannung (oder z. B. Schalldruck) = +/-6 dB Pegel

Verdoppelte/halbierte Leistung = +/-3 dB Pegel

Das Dezibel hilft also bei der Vereinfachung von Verhältniswerten, die in der Praxis sehr lange Zahlenreihen oder große Wertebereiche überstreichen würden.

## Referenzierungen

Es gibt einige Referenzen für das dB, die in der täglichen Arbeit besonders häufig genutzt werden. Zwei davon wurden bereits erwähnt, sie sollen jedoch noch einmal genau erklärt werden:

**dBu** – Das ‚u‘ steht für ‚unloaded‘ (deutsch ‚unbelastet‘). Hier bezieht sich der Wert 0 dBu auf eine Spannung von 0,775 Volt. Dies ist die effektive Spannung, die an einem 600 Ohm Widerstand anliegen muss um eine Leistung von 1 mW zu erzeugen. Die dBu-Skala wird vornehmlich in der professionellen Audiotechnik genutzt.

**dBV** – Hier bezieht sich der Wert 0 dBV auf eine Spannung von 1 Volt. Die Wahl von 1V ist eine willkürliche Festlegung. Die dBV-Skala wird vornehmlich in der Hi-Fi- und Amateurtechnik genutzt. Technische Geräte aus den beiden Bereichen dBu und dBV werden gern kombiniert, es ist daher wichtig umrechnen zu können. Vereinfacht gilt:  $\text{dBV} + 2,2 \text{ dB} = \text{dBu}$ . Beispiel:  $-10 \text{ dBV} + 2,2 \text{ dB} = -7,8 \text{ dBu}$ . Hier wird somit deutlich, dass -10 dBV und +4 dBu Geräte nicht, wie häufig angenommen, 14 dB, sondern 11,8 dB auseinander liegen. Der Faktor 2,2 ist dabei nicht ganz genau, liefert in der Praxis aber ausreichend präzise Ergebnisse. Leider gibt es, vor allem in englischsprachiger Literatur, immer wieder eine Darstellung, die zu Verwirrungen führen kann. Hier wird manchmal die Bezeichnung dBv genutzt, die jedoch international dem dBu und nicht dem dBV entspricht!

**dBFS** – Das Anhängsel FS steht für ‚Full Scale‘. Hier bezieht sich der Wert 0 dBFS auf die Vollaussteuerung eines digitalen Wortes. Dabei ist egal, aus wie vielen Bit das Wort besteht. Betrachten wir einen fiktiven 2-Bit-Wandler, so würde 0 dBFS dem Wert ‚2‘ entsprechen. Bei 8 Bit stünde der Wert ‚1111111‘ für 0 dBFS und bei 16 Bit der Wert ‚1111111111111111‘. Aus diesem Grund sind Angaben in dBFS immer negativ, da Null den Maximalwert repräsentiert, egal mit welcher Auflösung gearbeitet wird. Bei dBFS handelt es sich um einen reinen ‚Digitalwert‘ der noch keinerlei Übersetzung oder Bezug auf einen analogen Pegel besitzt.

**dBr** – Dies stellt das Verhältnis zu einem Referenzwert dar, der nicht fest definiert ist und im Zusammenhang mit seinem Wert zunächst benannt werden muss. dBr wird oft genutzt um interne Pegel eines Gerätes zu beschreiben.

**dB SPL** – Bei diesem akustischen Messwert handelt es sich um eine Angabe des Schalldruckpegels (engl. Sound Pressure Level). Der Wert Null ist hier auf 20 µPa (Mikropascal) bestimmt, was in etwa der menschlichen Hörschwelle bei einer Frequenz von 2 kHz entspricht.

## Gewichtung

Die Rechnung mit analogen Pegeln in der Tontechnik geschieht meist unbeachtet vom Frequenzgang. Dabei kann ein Wert von 0 dBu durchaus genauso gut von einem 1 kHz Ton erzeugt werden, wie von einem weißen Rauschen über das gesamte Audioband. Im Extremfall kann es sogar dazu kommen, dass hoch- oder tieffrequente Störungen sehr hohe Werte erreichen, die auf einem Pegelmeter ablesbar sind, aber akustisch nicht in Erscheinung treten. Um diesem Problem aus dem Weg zu gehen wurden verschiedene Bewertungskurven entwickelt, die das Messergebnis an die gewünschten Parameter anpassen. Diese Bewertungskurven können zu Verwirrungen führen, da ihre Indizes meist genau wie die Referenzwerte hinten an das Dezibel-Kürzel angestellt werden. Die Darstellung dB(A) sollte daher zugunsten von dB(A) vermieden werden, um nicht zu Irritationen zu führen. Denn grundsätzlich könnte auch ein Referenzwert mit einer Bewertungskurve kombiniert werden. Dies würde dann zum Beispiel die Form ‚-14 dBu(A)‘ haben und der Aussage entsprechen, dass ein Signal den Wert -14 dBu erreicht, wenn es auf den Messbereich nach A-Bewertung beschränkt gemessen wird. Diese Bewertung wird zum Beispiel von manchen Herstellern benutzt um die EIN-Wertes eines Gerätes ‚gehörberichtig‘ (böse Zungen würden ggf. von ‚geschönt‘ sprechen, was jedoch nur in Ausnahmefällen zutrifft) darzustellen und somit praxisrelevant zu verdeutlichen. Den gleichen Praxishintergrund haben zum Beispiel die mit CCIR-Filtern durchgeführten Messungen, die auch wir im Studio Magazin bei vielen Geräten durchführen.

Um verschiedene Geräte in einer Signalkette richtig zu verbinden, sollte man sich mit ihren Dynamikbereichen beschäftigen. Die nutzbare Dynamik eines Gerätes liegt dabei zwischen seinem Grundrauschen und dem, nicht hundertprozentig in seinen Grenzwerten festgelegten Maximalpegel, den es unverzerrt ausgeben kann. Oftmals wird dieser Wert bei einem Klirrranteil von 0,5 % angegeben. Durch die fehlende Festlegung müssen die Werte eventuell mit einem einkalkulierten Sicherheitsabstand in die Berechnungen einfließen.

## Der EIN-Wert

Das sogenannte äquivalente Eingangsrauschen (Equivalent Input Noise, kurz EIN) ist ebenfalls ein Messwert, der bei der Bewertung von Geräten helfen kann. Er errechnet sich aus dem Wert der Verstärkung einer Schaltung und

dem dabei gemessenen Rauschpegel. Beide werden ohne Vorzeichen zum EIN addiert. Ein fiktiver Vorverstärker liefert bei einer Verstärkung von 40 dB am Ausgang einen Rauschpegel von -86,8 dBu. Addiert man die beiden Werte ergibt sich ein EIN-Wert von 126,8 dB. Beim Vergleichen der EIN-Werte von verschiedenen Geräten muss jedoch darauf geachtet werden, bei welchem Abschlusswiderstand der Rauschpegel ermittelt wurde. Werte mit verschiedenen Widerständen können nicht direkt verglichen werden. Der EIN-Wert jedes Gerätes steigt an, je geringer der Abschlusswiderstand ausfällt. Diese Tatsache ist deshalb relevant, da jedes Gerät in einem Studio angeschlossen werden muss und sich somit immer ein realer Abschlusswiderstand ergibt. Das bedeutet, dass ein Gerät in einem Verbund (also zum Beispiel ein Mikrofon an einem Mikrofonvorverstärker) tatsächlich unterschiedlich stark rauschen kann, je nachdem woran es angeschlossen wird. Auch dies kann in einer besonders gelungenen Anschlussplanung oder etwa der Mikrofonwahl bei der Aufnahme berücksichtigt werden. In Deutschland hat es sich etabliert einen Innenwiderstand von 200 Ohm am Mikrofon anzunehmen und mit einem entsprechenden Ersatzwiderstand zu messen. In den USA werden normalerweise 150 Ohm angenommen, was einen entsprechend um rund 1,2 dB besseren Störabstand zur Folge hat. Beim Vergleichen von Datenblättern kann dieser Korrekturwert gute Dienste leisten.

## Bezugspegel

Vor allem aber die gewählten Pegel haben einen besonderen Einfluss auf die bestmögliche Kombination zwischen mehreren Geräten. Betrachten wir zunächst die Bezugspegel. Die meisten Audiogeräte besitzen einen festen, internen Pegel (zum Beispiel die Vollaussteuerung, als 100 % Modulation oder, wie erwähnt, 0 dB bezeichnet) der auf einen Ausgabewert, den sogenannten Bezugspegel, bezogen wird. Moderne Geräte der professionellen Tontechnik setzen diesen Bezug oft zu +4 dBu, viele HiFi-Geräte nutzen -10 dBV als Bezugspunkt und vornehmlich Ton- und Rundfunktechnik aus dem deutschsprachigen Raum ist auf +6 dBu bezogen. Die Vollaussteuerung des Gerätes (0 dB) liefert am Ausgang einen der drei genannten Pegelwerte (+4 dBu, +6 dBu, -10 dBV). Oberhalb der Vollaussteuerung liegt die sogenannte Aussteuerungsreserve (englisch Headroom). In der heutigen Anwendung wird die Aussteuerungsreserve oftmals durch die 0 dBFS-Grenze des A/D- oder D/A-Wandlers begrenzt. Es gibt also oft keinerlei Übersteuerungsreserve, da analoge Pegel oberhalb des 0 dBFS-Referenzpegels den Wandler unweigerlich übersteuern und zu starken Verzerrungen führen. Die ARD hat für ihre Anstalten eine feste Zuordnung der Bezugspegel geschaffen. Leider gibt es sowohl von der EBU in Europa, als auch der SMPTE in den USA andere Festlegungen, die den analogen Pegel für die maximale Aussteuerung der Wandler bestimmen und vom Ansatz der ARD mehr oder weniger abweichen. Tabelle 1 zeigt das Chaos der verschiedenen Referenzpegel



## Nicerizer 16 MK2 - DAW Analog Summierer

Der Nicerizer wurde entwickelt auf Nachfrage von Engineers nach einem Tool, dass es „in the box“ Systemen wie ProTools, Logic oder Cubase ermöglicht den Output klanglich aufzuwerten, sowie Outboard einfacher und verlustfreier in den Mix zu integrieren. Der Nicerizer16 fügt dem digitalen Medium den Charakter und das Feel analoger Class-A Stufen hinzu und ermöglicht eine verlustfreie und hochwertige analoge Summierung zum finalen Mix.

Wie alle Phoenix Audio Produkte, bedient sich auch der Nicerizer der eigens entwickelten Class A Output Stage, sowie einer traflosen, diskret aufgebauten Class A Eingangsstufe. Der Nicerizer16 ist ein 16 in 2 Analog-Summierer mit Panning-Regler und 8dB zusätzlichem Gain pro Kanal, sowie einer ausgefuchsten Monitorsektion und zusätzlicher Kontrollmöglichkeit der Stereobasis.

**näher kann man dem Sound einer klassischen Class-A Vintagekonsole wohl kaum kommen...**

PHOENIX AUDIO



dBu (ARD/EBU)	dBFS (Festlegung nach ARD)	dBu (International)	dBFS (Festlegung nach EBU)	dBFS (Festlegung nach SMPTE)
...		...		
+24		+24		0
+23		+23		-1
+22		+22		-2
+21		+21		-3
+20		+20		-4
+19		+19		-5
+18		+18	0	-6
+17		+17	-1	-7
+16		+16	-2	-8
+15	0	+15	-3	-9
+14	-1	+14	-4	-10
+13	-2	+13	-5	-11
+12	-3	+12	-6	-12
+11	-4	+11	-7	-13
+10	-5	+10	-8	-14
+9	-6	+9	-9	-15
+8	-7	+8	-10	-16
+7	-8	+7	-11	-17
<b>+6 (0 dBr)</b>	<b>-9</b>	<b>+6</b>	<b>-12</b>	<b>-18</b>
+5	-10	+5	-13	-19
+4	-11	<b>+4 (0 dBr)</b>	<b>-14</b>	<b>-20</b>
+3	-12	+3	-15	-21
+2	-13	+2	-16	-22
+1	-14	+1	-17	-23
0	-15	0	-18	-24
-1	-16	-1	-19	-25
-2	-17	-2	-20	-26
...	...	...	...	...

Tabelle 1

auf. Die ARD legt einen Pegel von -9 dBFS beim analogen Bezugspegel von +6 dBu fest. Damit werden die Wandler bereits bei +15 dBu maximal angesteuert. Der Vorteil liegt darin, dass sich das analoge Signal damit noch im Headroom jedes ‚normalen‘ Gerätes befindet. Die 9 dBFS oberhalb der analogen Vollaussteuerung werden als digitaler Headroom genutzt. Betrachtet man die D/A-Seite der Wandlung, erlaubt die ARD Ausschaltungen nur mit -9 dBFS. Dies verhindert digitale Übersteuerung (sogar die sogenannten Inter-Sample-Peaks) effektiv und hilft den analogen Bezug zu halten. In der EBU-Festlegung findet sich die Vollaussteuerung erst bei +18 dBu, was den Pegel näher an die Übersteuerungsreserve der Analogtechnik heran rückt. Auf der anderen Seite wird der Headroom des Digitalsignals erweitert, was wiederum auf Kosten der Bit-Auflösung geht. Unter anderem den Vorgaben der Diapnorm geschuldet, hat die SMPTE den 0 dBFS Bezug noch weit höher gesetzt. Mit +24 dBu geht er bereits über den Grenzbereich so mancher Analoggeräte hinaus, gestattet jedoch einen enormen digitalen Headroom. Dieser ist in der Kinofilmproduktion auch zwingend notwendig, um

	DAC	Kompressor	Equalizer	ADC
dBu				
+30				
+28				
+26				
+24				
+22	Clipgrenze			
+20	Headroom			
...				
+7				
+6				
+4	Bezug			
...				
0				
-1				
-2				
-3				
-4				
-5				
-6				
-7				
-8				(~ -7,8dBu)

Bild 1: Durch verschiedene Bezüge und Maximalpegel liegen die optimalen Arbeitsbereiche der Geräte zum Teil weit auseinander

‚Platz‘ für laute Geräusche wie Explosionen zu schaffen. Bevor wir jedoch weiter auf das Problem der Wandlerreferenz eingehen, muss zunächst geschaut werden, wie die drei Bezugspegel analog kombiniert werden können.

## Gain Staging

Um das Optimum aus einer Signalkette heraus zu holen sollte der Aufwand betrieben werden sie auf den Bezugspegel einzustellen. Es ist dazu sinnvoll sich zunächst eine grafische Darstellung anzulegen, in der anhand eines Koordinatensystems die Bezugspegel und Maximalpegel der involvierten Geräte dargestellt sind. Übersetzen Sie dabei alle Geräte mit -10 dBV Bezugspegel in die dBu-Skala. Der Bezugspegel für 0 dBr eines -10 dBV Gerätes sollte in der Darstellung dann -7,8 dBu (rund -8 dBu) entsprechen. Bild 1 zeigt ein solches System. Durch diese Übersicht gewinnen Sie einen Überblick, welche Geräte mit welchem der drei Bezugspegel arbeiten und auf welche Pegelprobleme sie beim Zusammenschalten stoßen werden. Außerdem gestattet eine solche Tabelle so

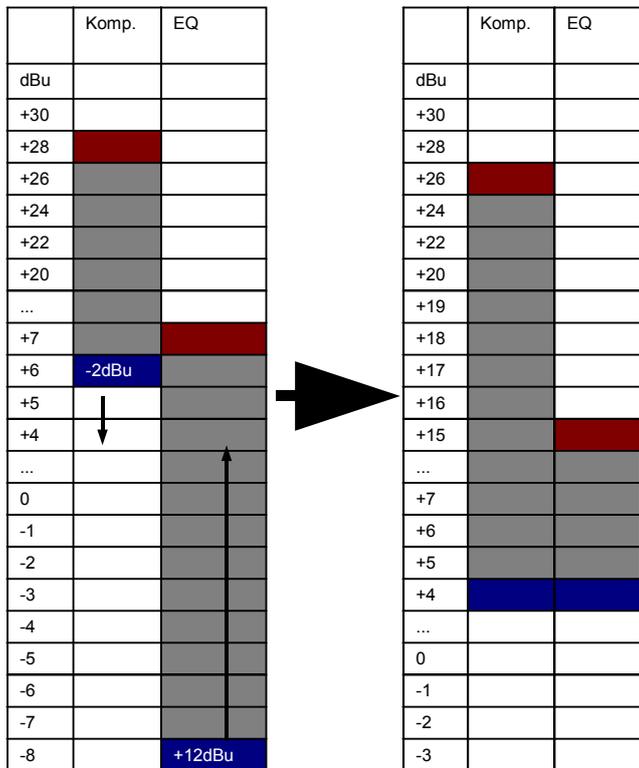


Bild 2: Nach der Anpassung des Bezugspegels liegt der Headroom des EQs leider noch immer deutlich unter dem des Profigerätes

fortigen Überblick, an welcher Stelle eventuell ein Verstärkungsglied eingefügt werden muss, um Geräte mit -7,8 dBu anheben zu können. Bieten Geräte sowohl einen Eingangs- als auch Ausgangspegelsteller an, sollte der Pegel bei starken Hüben lieber an der Eingangsstufe des nachfolgenden Gerätes angehoben werden. Es kann sonst dazu kommen, dass Gerät B einen ‚sauberen‘ Arbeitspegel am Eingang anzeigt, die Ausgangsstufe des Gerätes A davor jedoch bereits verzerrt oder sich zumindest in ihrem Grenzbereich bewegt. Im nächsten Schritt sollten alle Verstärkungen und Dämpfungen an den Ein- und Ausgängen der Geräte notiert werden, die notwendig werden um den Bezugspegel anzugleichen (Bild 2). Dies ermöglicht es, den kleinsten Headroom des Systems zu ermitteln. Dieser sollte in der analogen Signalkette nicht überschritten werden, auch wenn die anderen Geräte dadurch nicht unbedingt ‚gefordert‘ werden. Das Ergebnis einer solchen Verstärkungsreihe wird in Bild 3 verdeutlicht. Befindet sich ein Gerät im Signalweg, welches nur bei besonders ‚heißen‘ Pegeln gut klingt, sollte es dennoch zunächst auf 0 dB eingestellt werden und anschließend durch Anpassen

der Eingangsregler stärker angefahren werden. Der dabei möglicherweise deutlich verkleinerte Headroom kann jedoch dazu führen, dass nachfolgende Geräte ebenfalls in ihren Grenzbereich geführt werden. Es empfiehlt sich daher mit dem Ausgangsregler des ‚Heißfahrers‘ einen Sicherheitsraum für die nachfolgenden Geräte zu schaffen.

## +4 dBu und +6 dBu

Diese beiden Pegel liegen recht nah beieinander und können in einer normalen Anwendung einfach verbunden werden. Beachtet werden muss jedoch immer der Grenzbereich vor der Verzerrung beider Geräte. Soll ein Gerät A (Mikrofonvorverstärker, Bezugspegel +6 dBu, +30 dBu Maximalpegel) wird mit Gerät B (einem Kompressor, Bezugspegel +4 dBu, +26 dBu Übersteuerungsgrenze am Eingang) verbunden werden, bietet es sich an, das Gerät mit dem höheren Bezugspegel am Ausgang zurück zu regeln und auf den kleineren Bezugspegel zu kalibrieren. Auf diese Weise erreicht man das günstigste Rauschverhältnis. Tatsächlich muss man sich beim Verbinden der beiden Bezugspegel jedoch keine ‚Sorgen‘ machen, da die Unterschiede in der Praxis fast keine Rolle spielen.

## -10 dBV und +6/+4 dBu

Wird ein -10 dBV Ausgang an einen +6/+4 dBu Eingang angeschlossen, liegt der Gesamtpegel um 13,8/11,8 dB unter der Vollaussteuerung. Das bedeutet, dass eine relativ starke Aufholverstärkung vonnöten ist, die das Rauschniveau deutlich anhebt. Umgekehrt muss eine Dämpfung hinter ein +6/+4 dBu Ausgangssignal geschaltet werden, damit es sich innerhalb des Arbeitsbereiches des Empfängergerätes bewegt. Gute HiFi-Geräte können Eingangspegel zwischen +6 dBu bis +16 dBu verzerrungsarm entgegen nehmen. Auch wenn es einen kleineren, einmaligen Aufwand darstellt, bietet es sich daher an, den maximalen Pegel beider Geräte heraus zu finden und ein Dämpfungsglied so zu kalibrieren, dass es minimal größer ist als der benötigte Abstand. Ein Beispiel: Das +6 dBu Gerät kann am Ausgang maximal +24 dBu ausgeben und dieser Grenzbereich wird vom Anwender auch fast erreicht. Das -7,8 dBu Empfangsgerät verträgt am Eingang maximal +10 dBu. Hier sollte die Dämpfung also die fehlenden 14 dB betragen und nicht nur die nominalen 11,8 dB um einen optimalen Signal-Rausch-Abstand zu gewährleisten. Ge-

	DAC	Komp.	Dämpfung	EQ	Aufhol- verstärkung	ADC
dBu						
+26		+26				
+24						
+22	Clippinggrenze					
+20	Headroom					+20
+19						
+18						
+17						
+16						
+15						
...						
+6						
+4	Bezug					
...						

Bild 3: Liegt der Rauschpegel des Equalizer über dem des Wandlers kann auf eine Anhebung verzichtet werden

gegebenfalls sollte noch ein Sicherheitsraum von einem oder zwei dB einkalkuliert werden. Wie bereits in Bild 3 verdeutlicht, stellen -10 dBV Geräte oft nicht genug Headroom zur Verfügung um sinnvoll in eine Signalkette integriert zu werden. Da solche Geräte im Studio aber oft am Anfang (Synthesizer, Keyboards, CD-Player) oder Ende (DAT-Recorder, MD-Recorder etc.) des Systems eingebunden werden, kommt es nur selten zur dargestellten Pegeltransformation.

## dBFS ins Studio

Heutzutage erlauben viele A/D- und D/A-Wandler die Kalibrierung ihrer analogen Ein- und Ausgänge. Meist kann dies in einem Bereich von +10 bis +24 dBu erfolgen und stellt den Anwender vor das Problem, sich zu entscheiden wie ‚heiß‘ die Analogtechnik angefahren werden soll. Dieses Problem ist wirklich nicht sehr leicht zu lösen und muss vor allem je nach Anwendungsgebiet bedacht werden. Die folgenden Vorschläge sollen daher nur als Grundlage für eigene Überlegungen und den eigenen Anwendungsfall darstellen.

## Headroom vs. Quantisierungsrauschen

In einer Anwendung, in der nach dem D/A-Wandler nur noch eine Lautstärkeregelung und die Abhörmonitore folgen, ist die Entscheidung relativ einfach zu treffen. Bei dieser, häufig in rein Computer basierten Studios

verwendeten Konfiguration sollte sich der analoge Bezugspegel für 0 dBFS sehr nah an der Übersteuerungsgrenze des Monitorcontrollers bewegen. Da der 0 dBFS-Pegel nicht überschritten werden kann, ist auch die nachfolgende Anlogschaltung, selbst bei voll geöffnetem Lautstärkereger, vor Übersteuerungen geschützt. Wie nah man der Übersteuerungsgrenze in der Praxis kommen darf, hängt davon ab, mit welchen RMS-Pegeln der digitale Audiostrom am Wandler anliegt. Da es bei sehr hohen RMS-Pegeln zu sogenannten Inter-Sample-Peaks kommen kann, die umgerechnet bis zu +6 dBFS und mehr erreichen können, sollte man hier einen eventuellen Sicherheitsraum einplanen (Bild 4). Das Problem liegt jedoch darin, dass die Anlogschaltung des eigentlichen Wandlers bereits überfordert sein könnte. Sollte man also wirklich mit sehr hohen RMS-Pegeln arbeiten empfiehlt es sich, den Wandler analog mit 0 dBFS an die Übersteuerungsgrenze des Controllers zu kalibrieren, ihn jedoch nur mit -6 dBFS anzusteuern. Dadurch geht man digitalen und analogen Inter-Sample-Peaks wirksam aus dem Weg, ohne von der Dynamik des Systems mehr als unbedingt nötig zu verschenken. Bei der Anwendung in einem Masteringstudio steht man vor einer ähnlichen Problematik. Hier muss bei der Aussteuerung jedoch bedacht werden, dass Equalizer und Kompressoren den Pegel hinter dem Wandler eventuell anheben und dadurch in den Bereich der Verzerrung bringen. Hier sollte also unbedingt darauf geachtet werden, dass genug Headroom zur Verfügung steht um auch starke Pegelhübe nicht in den Grenzbereich des Systems zu verschieben. Für ein Masteringstudio kann sich zum Beispiel die Vorgehensweise nach ARD anbieten. Dabei liegt der analoge Pegel für 0 dBFS bei +15 dBu. Mit einem angenommenen Minimalheadroom bis +22 dBu liegt das System also im grünen Bereich. Sollte sich ein Gerät mit geringerem Headroom als +22 dBu in der Signalkette befinden, muss der Referenzwert natürlich nach unten korrigiert werden. Auch beim Einschleifen eines externen Gerätes in eine DAW bietet sich die ARD-Referenz an. Zu bedenken ist: Entgegen der allgemeinen Meinung ist es nicht immer die bessere Lösung, den digitalen Pegel möglichst hoch zu halten und erst nach der Wandlung in das Anlogsignal einzugreifen. Einige analoge Effekte haben keinen besonders herausragenden Dynamikumfang. Das heißt, dass eventuell durch digitale Pegeländerungen entstehende Artefakte und das erhöhte Quantisierungsrauschen in vielen Fällen durch das Rauschen des Gerätes verdeckt werden. Die digitale Regelung ist also zum Beispiel sinnvoll, wenn das System auf einen guten Dynamikbereich kon-

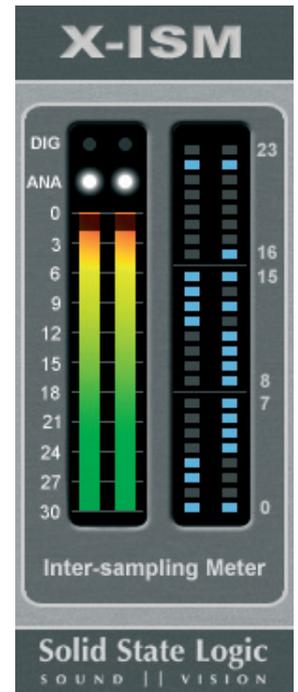
figuriert wurde und ein einzelnes Gerät mit schlechteren Werten eingebunden werden muss. Auch in Systemen, deren Konfiguration sich durch ein Steckfeld häufig ändert, kann das Signal vor dem Wandler digital reduziert oder angehoben werden. Komplex wird die Überlegung jedoch in folgendem Fall. Anwender, die den Komfort genießen ihre Mischungen auf einem analogen Mischpult durchzuführen, sollten nicht nur den Headroom des Eingangs jedes Kanals bedenken, sondern auch die Nichtlinearitäten des Kanalfaders in ihre Überlegungen einbeziehen. Theoretisch könnte jeder Kanal mit dem 0 dBFS Pegel knapp unter die Verzerrungsgrenze (mit einem Sicherheitsabstand von 6 dB) des Eingangs geführt werden. Dies funktioniert jedoch nicht, da die Kanalfader in diesem Fall beim Mischen sehr klein eingestellt werden müssten um die Summierungsstufe nicht zu übersteuern. Im unteren Bereich arbeitet ein Fader jedoch nicht mehr linear und bietet nicht die geforderte Auflösung um anspruchsvollen Aufgaben zu genügen. Die Eingangspegel des Mischpultes sollten daher abgestimmt werden, während sich die Kanalfader auf Unity-Gain (0 dB) befinden. Die Wahl des Pegels ist vor allem bei der Messung mit Sinustönen kompliziert. Da sich Sinustöne gleicher Phasenlage mit einem Pegelanstieg von 6 dB addieren, kommt man schnell in den Grenzbereich der Summe des Mischpultes. Diese Art des Summierens ist in der Praxis jedoch nicht relevant, da sich zwei unterschiedliche Signale in der Praxis mit einem Anstieg von nicht mehr als 3 dB (meist deutlich darunter) addieren. Das bedeutet, dass die Einmessung mit Sinustönen praktisch gesehen in den übersteuerten Bereich des Mischpultes führen kann. Eine hundertprozentige Empfehlung kann nicht ausgesprochen werden, da sie zu sehr von den Gegebenheiten im jeweiligen Mischpult abhängt. Die Firma adt-audio zum Beispiel empfiehlt für ihre Mischpulte (welche am Eingang bis +30 dBu vertragen), den Eingangspegel aller Kanäle um je 4 dB abzusenken. Es hat sich aus der Erfahrung ergeben, dass so der Gesamtwert in der Summe wieder ungefähr auf 0 dB heraus kommt. Da der Ausgangspegel des Wandlers nicht vorhersehbar ist, kann auch hier nur die ARD-Verfahrensweise als Richtwert empfohlen werden.

## Der Frequenzgang

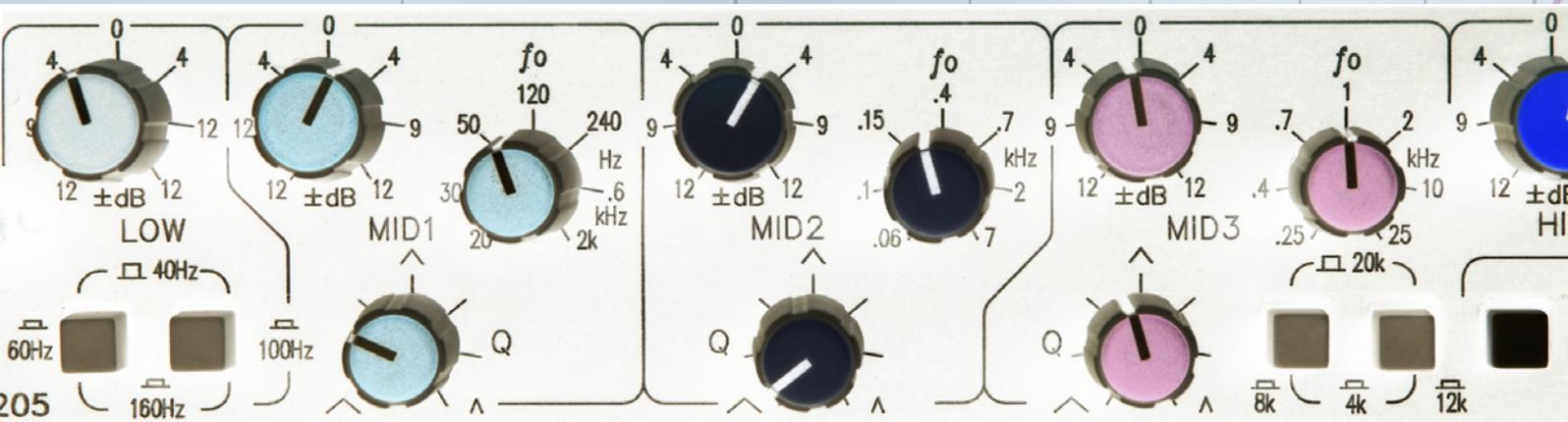
Auch dem Frequenzgang sei ein kleiner Abschnitt gewidmet, denn auch hier können sich vorteilhafte Kombinationen ergeben. Besonders brillante Mikrofone können zum Beispiel in Kombination mit einem eher matten Vorverstärker ein ausgeglichenes Klangbild wiedergeben.

Aber auch der Ausgang einer nicht ideal designten Schaltung kann sich im Frequenzgang verändern, wenn er an verschiedene Eingangswiderstände angeschlossen wird. Unglücklicherweise kommt man an dieser Stelle nur mit aufwändigen Messungen oder dem Verfahren ‚Versuch-und-Irrtum‘ weiter. Es empfiehlt sich, besonders gelungene Kombinationen zu notieren und auch anderen Anwendern weiter zu geben. Es gibt eben immer wieder Geräte am Markt, die trotz nicht ideal gelungener technischer Ausführung einen besonderen Charme versprühen und sich großer Beliebtheit unter den Anwendern erfreuen. Makel haben manchmal eben auch ihren Reiz. Ich möchte jeden Leser ermutigen sich in den einschlägigen Foren nach besonders angenehmen Kombinationen für ein ‚anspruchsvolles‘ Gerät umzuhören, welches sich in seiner Kombinierbarkeit als ‚schwierig‘ herausgestellt hat. Besonders manche Mikrofone (zum Beispiel manche Bändchenmikrofone) sind hier sehr empfindlich und reagieren stark auf die Wahl der Eingangsimpedanz. Immer mehr Mikrofonvorverstärker bieten daher die Möglichkeit den Eingangswiderstand umzuschalten. Auch wenn dies auf eine technische Schwäche hindeutet (bei einem guten Mikrofon sollte sich bei der Impedanzumschaltung höchstens der Rauschpegel verändern), kann so oftmals ein besonders reizvolles Ergebnis erreicht werden. Es ist wichtig zu akzeptieren, dass ein Mikrofonverstärker nicht immer die ‚Schuld‘ daran trägt, wenn er mit dem persönlichen ‚Lieblingmikrofon‘ nicht wie erwartet klingt. Oftmals ist die Kombination schuld und nicht das Gerät selbst.

Es kann sich wirklich lohnen etwas Planungsarbeit in die Verbindungen zwischen analogen Geräten zu investieren. Tontechnik ist eben eine Profession und sollte, trotz einfachster Bedienung heutiger Computerprogramme und all der gebotenen Möglichkeiten für Jedermann, nicht in seiner Komplexität unterschätzt werden. Aber wenn es so einfach wäre, würde es ja auch keinen Spaß machen.



Vom kostenlosen SSL X-ISM Plug-In detektierte Inter-Sample-Peaks



Friedemann Kootz, Abbildungen: Friedemann Kootz

# Filtertechnik Teil 1

## Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern – 2009

Betrachtet man die Menge und Verfügbarkeit von Geräten in einem Tonstudio, so ist der Equalizer das wohl am häufigsten vorhandene Werkzeug für jeden Tonschaffenden. Analog gibt es ihn in fast jedem Mischpultkanalzug und, manchmal in spezialisierten Versionen, als Outboard-Gerät. Digital kann er als Plug-In in jede digitale Audioworkstation geladen werden, wenn er nicht auch hier bereits fest in jeden Kanalzug integriert wurde. Aber was geschieht in einem Equalizer eigentlich genau und worin unterscheiden sich die verschiedenen Designs in analoger und digitaler Ausführung? Und vor allem: Wo liegen die Gemeinsamkeiten, sprich, wie viel wurde bei Software-Equalizern wirklich in der analogen Welt abgeschaut? Um diesen Fragen auf die Spur zu kommen, möchten wir in dieser kleinen Serie in die Tiefen der Klangregelung eintauchen und uns in dieser ersten Folge ganz den Grundlagen und ihrer analogen Umsetzung widmen: Feinster Tech-Talk zwischen Mathematik und Kondensatoren sozusagen. Teil 2 wirft dann einen Blick hinter die Kulissen des Codes moderner Plug-Ins und auf die Möglichkeiten, die Spule und Co. verwehrt bleiben.

Der Begriff ‚Equalizer‘ stellt einen Überbegriff für verschiedene Formen der Klangregelung dar, die gezielte Eingriffe in den Amplitudenfrequenzgang eines Tonsignals gestatten. Der Begriff als solches kommt aus dem Englischen und könnte wörtlich mit ‚Angleicher‘ umschrieben werden, begrifflich stellt ‚Entzerrer‘ die deutsche Entsprechung dar. Equalizer sind dabei aus einem oder mehreren Filtern aufgebaut, wobei ein einzelnes Filter eigentlich nicht als Equalizer bezeichnet wird. Ein Beispiel hierfür sind die Tiefensperren im Mischpultkanal, die oft als separates Werkzeug des Kanals angesehen und räumlich nicht in die Funktionsgruppe des eigentlichen Equalizers integriert werden. Technisch gesehen bieten sie jedoch die gleiche Funktionalität. Im Folgenden werden die Begriffe ‚Filter‘ daher für ein einzelnes Band des Equalizers oder ein separates Filter und der Begriff ‚Equalizer‘ für eine Funktionsgruppe aus mindestens zwei Filtern verwendet. Und noch eine Begriffsfrage sollte geklärt werden. Hochpassfilter und Tiefpassfilter umschreiben ihre Funktion zwar technisch völlig korrekt in ihrem Namen, sorgen in der Praxis aber immer wieder für Verwirrungen – beziehungsweise fordern zumindest einen kurzen Moment bewussten Überlegens. Daher hat es sich bewährt diese Filter eher mit den Frequenzbereichen zu umschreiben, die von ihnen abgesenkt werden. Damit entsprechen sie in der Benennung ihren Shelving-Pendants. Ein Low-Pass und ein Low-Shelve bieten nämlich Eingriff auf genau gegensätzliche Frequenzbereiche, ein High-Cut und ein High-Shelve hingegen bearbeiten den gleichen Bereich. Daher bieten sich Bezeichnungen wie Low-/High-Cut-Filter, Tiefen-/Höhensperre, Rumpel-/HF-Filter oder ähnliches in der Praxis eher an.

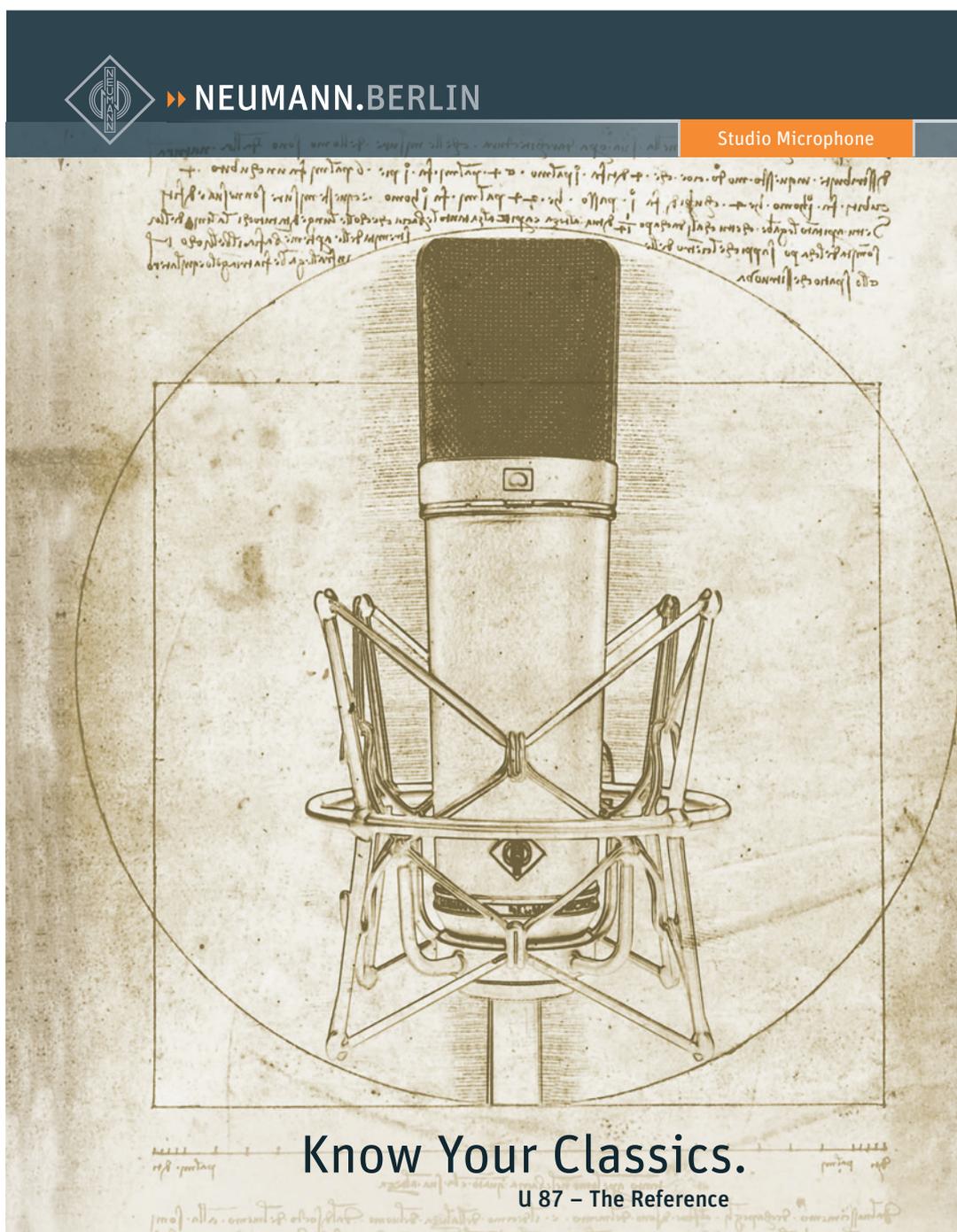
## Cut-Filter

Die einfachste Form der Filterung stellen die klassischen Höhen- und Tiefensperren (sogenannte Cut-Filter; to cut engl. (ab)schneiden) dar. In der praktischen Anwendung werden diese Filter vor Allem eingesetzt, um Störungen im Tiefenbereich (zum Beispiel Rumpeln, Windgeräusche und Trittschall oder Übersprechen tieffrequenter Instrumente) oder Hochfrequenzstörungen, wie Einstreuungen anderer Geräte oder Netzteile, auszufiltern. Oft können diese Filter im Signalweg nur aktiviert, aber nicht in ihren Parametern angepasst werden. Aufwändige Mischpulte bieten meist die Möglichkeit die Ansatzfrequenz der Filter frei zu wählen. Auf die Filterart und



▶ NEUMANN.BERLIN

Studio Microphone



Know Your Classics.

U 87 – The Reference



Available as **studio set** incl. U 87 Ai and elastic suspension

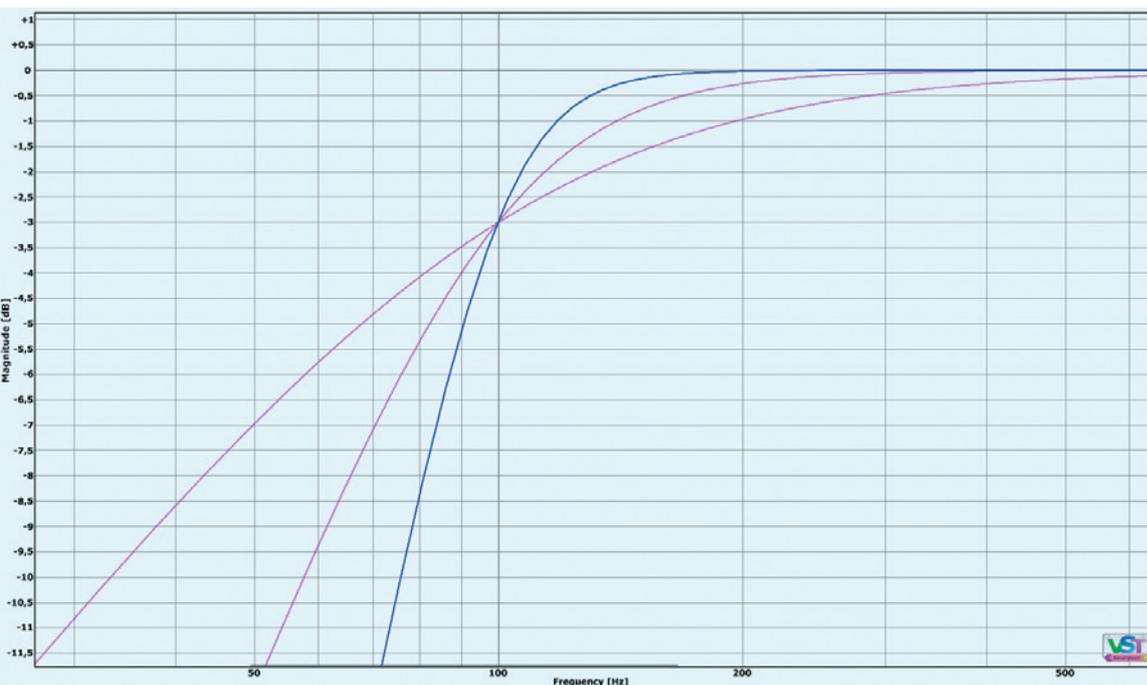


Abbildung 1: Hochpassfilter 1., 2. und 4. Ordnung

die Filterordnung kann nur bei sehr wenigen, zumeist digitalen Filtern zugegriffen werden. Meistens ist von außen ohne Messungen leider nicht erkennbar, mit welcher Kurvenart und bei welcher Ordnung das verwendete Filter arbeitet. In preiswerten Geräten werden jedoch sehr häufig Filterdesigns erster Ordnung realisiert, da sich der Bauteilaufwand im Extremfall auf einen Schalter und einen Kondensator beschränkt. Solche einfachen Tiefensperren sind zum Beispiel auf eine Grenzfrequenz von 80 oder 100 Hz

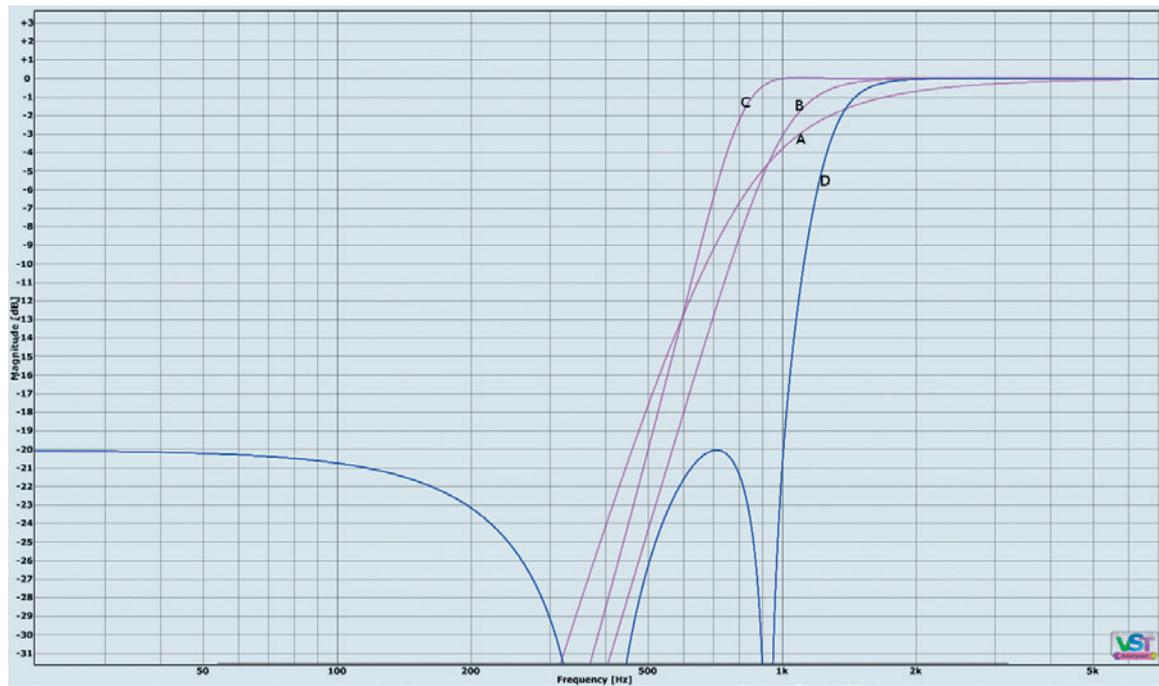
fest eingestellt. Die Grenzfrequenz definiert den Punkt, an dem das Filter drei Dezibel Pegelabsenkung gegenüber seinem Eingang verursacht hat. Sie gilt als Trennpunkt zwischen Sperrbereich und Durchlassbereich des Filters. Der 3dB-Punkt wurde gewählt, da sich verschiedene Filterarten in ihrer Kurvenform derart unterscheiden, dass ein gemeinsamer Definitionspunkt festgelegt werden musste. Je weicher eine Filterkurve in ihren Durchlassbereich ausläuft, desto unauffälliger wird die Filterung wahr-

genommen. Diese Filterkurven bieten jedoch nur eine eingeschränkte Absenkung im Sperrbereich und sind für viele Anwendungen nicht steil genug. In Abbildung 1 [ABBILDUNG FILTERORDNUNG] wird deutlich, wie sehr sich der Einfluss eines Filters auf die Bereiche vor und hinter der Grenzfrequenz, allein durch steigende Filterordnung, verändert. Die Ordnung definiert sich durch die Stärke der Absenkung zwischen einer Frequenz und ihrer Oktave (Frequenzverdopplung oder -halbierung). Ein Filter erster Ordnung erreicht eine Absenkung von 6 dB pro Oktave. Jede Erhöhung der Filterordnung steigert die Absenkung um weitere 6 dB. Es ergeben sich daher Absenkungen von 6, 12, 18 und 24 dB pro Oktave. Diese Reihe kann weiter geführt

Kurve	Filter	Vorteilhafte Eigenschaften	Nachteilige Eigenschaften
A	<i>Bessel</i>	- besonders günstiger Phasenfrequenzgang im Durchlassbereich - gute Sprungantwort	- geringe Flankensteilheit im Grenzbereich
B	<i>Butterworth (Maximum Flat-Filter)</i>	- geringer Einfluss auf den Frequenzgang des Durchlassbereichs - Durchlassbereich verläuft zur Grenzfrequenz lange linear - schnelles Abknicken der Kurve im Grenzbereich	- Überschwingen der Sprungantwort
C	<i>Tschebyscheff Typ I</i>	- hohe Flankensteilheit im Grenzbereich	- Welligkeit im Durchlassbereich - starkes Überschwingen der Sprungantwort
D	<i>Tschebyscheff Typ II (inverser Tschebyscheff-Filter)</i>	- hohe Flankensteilheit im Grenzbereich	- Welligkeit im Sperrbereich - starkes Überschwingen der Sprungantwort

Tabelle 1: Filterformen und ihre Eigenschaften

Abbildung 2: (A) Bessel-, (B) Butterworth-, (C) Tschebyscheff- und (D) Inverser Tschebyscheff-Filter 4. Ordnung



werden, in der praktischen Anwendung werden im Audiobereich jedoch sehr selten Filter oberhalb vierter Ordnung eingesetzt. Die beiden Frequenzen der Messoktave zur Ordnungsbestimmung, müssen weit im Sperrbereich des Filters liegen; in unmittelbarer Umgebung der Grenzfrequenz werden die definierten Werte nicht genau erfüllt. Eine Erhöhung der Filterordnung kann durch das Filterdesign selbst bestimmt, aber immer auch durch die Reihenschaltung mehrerer Filter erreicht werden. Dies kann in der Praxis zum Beispiel genutzt werden, wenn mehrere Geräte einer Bearbeitungskette Filter anbieten, die in ihrer Summe die Steilheit und Kurvenform der Gesamtfiltrung beeinflussen. Neben der Filterordnung definiert die mathematische Funktion, auf der das Filter basiert, und ihre entsprechende Umsetzung in elektronischen Parametern, dessen Filterkurve. Die am häufigsten in der Audio-technik verwendeten Kurvenformen sind vor allem Butterworth (Maximum Flat), sowie Bessel und seltener Tschebyscheff. Die Tabelle 1 listet die häufigsten in der Audioanwendung genutzten Filter mit ihren Eigenschaften. Die Vor- und Nachteile ergeben sich dabei nicht nur aus der Funktion des Eingriffs auf den Amplitudenfrequenzgang im Sperr- und Durchlassbereich des Filters, sondern auch auf den Phasengang beider Bereiche, auf den im Abschnitt ‚Das Phasenproblem‘ genauer eingegangen wird. Die Abbildung 2 zeigt die Unterschiede der Filterkurven dieser vier gelisteten Filtertypen bei gleicher Ansatzfrequenz und gleicher Ordnung. Vor allem der Einfluss auf den Bereich unmittelbar vor und hinter der Grenzfrequenz wird deutlich.

## Filterbauarten

Im Kasten „Technisch betrachtet“ finden Sie prinzipielle Grundlagen elektronischer Filterschaltungen. Beispielhaft werden dort passive Resonanzfilter erklärt, um die Prinzipien von Filtern allgemein zu verdeutlichen. Praktisch betrachtet gibt es natürlich viele andere Schaltungsdesigns, die bestimmte Probleme von passiven Filtern umgehen und den Aufwand bei Filtern höherer Ordnung verringern. Außerdem können aktive Filterschaltungen besser auf äußere Einflüsse, wie zum Beispiel die Quell- und Lastimpedanz vor- und nachgeschalteter Funktionsgruppen, angepasst werden. Im Folgenden sollen einige der wichtigsten Schaltungsarten für den Audiobereich kurz angesprochen werden.

**Universalfilter:** Das sogenannte Universalfilter setzt sich aus vier miteinander verschalteten Operationsverstärkern zusammen und bietet den großen Vorteil, dass an jedem der Ausgänge dieser OP-Amps eine andere Filtercharakteristik abgegriffen werden kann. Ausgang (1) liefert ein Notch-Filter, (2) einen Hochpass, (3) einen Bandpass und (4) einen Tiefpass. Alle Filter liegen in zweiter Ordnung vor. Sie können jedoch nicht in allen Kombinationen gleichzeitig verwendet werden. Universalfilter haben den Nachteil, dass sie oft starke TIM-Verzerrungen (siehe Abschnitt ‚Sprungantwort‘) aufweisen. Außerdem besitzen ungünstig designte Universalfilter die Eigenschaft, dass die Güte bei Anhebung und Absenkung nicht identisch verläuft. Das bedeutet, dass eine Anhebung eine geringere Güte aufweisen kann, als ihre entsprechende Absenkung.

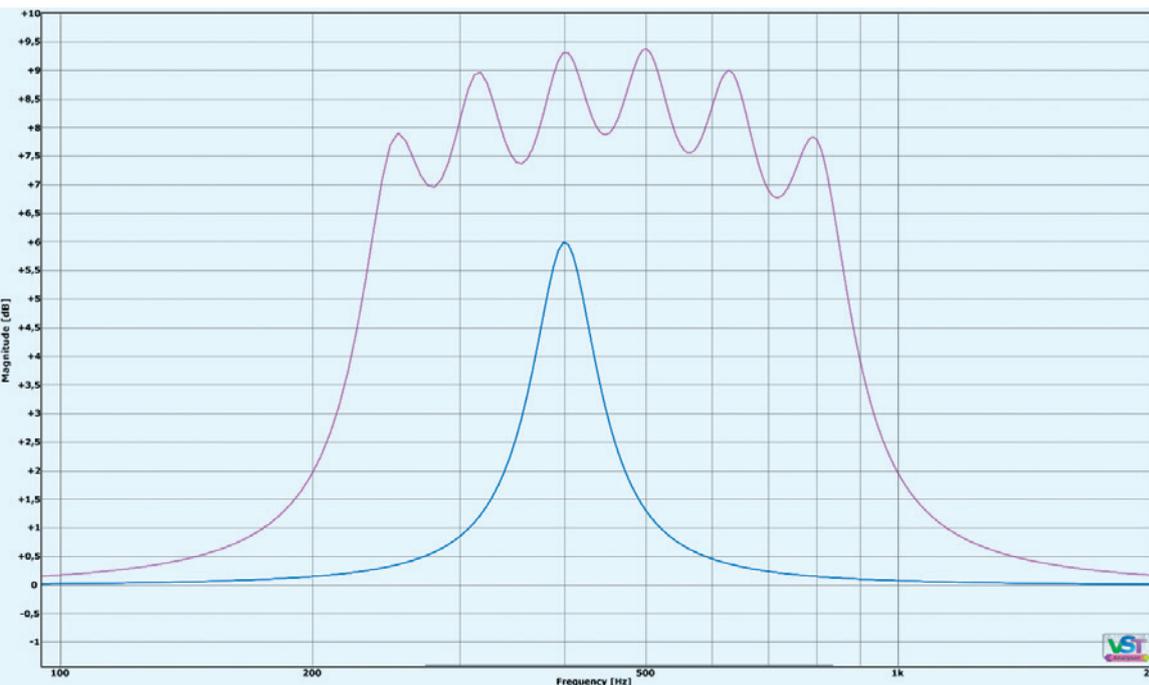


Abbildung 3: Nebeneinander liegende Glockenfilter addieren sich in ihrer Anhebung

**Doppel-Shelving-Filter:** Vor allem in den oberen und unteren Randbändern werden oft Shelving-Filter eingesetzt. Diese können bei manchen Geräten zu Glockenfiltern umgeschaltet werden. Das geschieht technisch meist durch Hinzuschalten eines entgegengesetzten Shelving-Filters. Die beiden ansteigenden Flanken bilden zusammen eine dem Glockenfilter ähnliche Kurvenform. Diese Bauform ist einfach zu realisieren und vor allem durch seine leichte Umschaltbarkeit zwischen Shelving- und Glockenfilter in vielen Geräten realisiert worden. Ihr Nachteil liegt darin, dass die Regelung der Güte nur sehr ungenau erfolgen kann und die Kurvenform der ‚künstlichen Glocke‘ ihrem Pendant nicht vollständig entspricht. Weiterhin kann es durch Bauteilabweichungen zu asymmetrischen Flanken kommen.

**Gyrator-Filter:** Bei diesem Filter wird mit Hilfe zweier OP-Amps die Anwesenheit einer Spule (bzw. einer Induktivität) simuliert. Auf diese Weise ist es möglich eine induktive Filterschaltung aufzubauen, ohne einige Nachteile von Spulen hinnehmen zu müssen. Die Gyrator-Schaltung weist jedoch das Problem der Instabilität auf, die aufwändig kompensiert werden muss. Ein stabiles Gyrator-Filter färbt das Ausgangssignal stark, klingt jedoch sehr ansprechend.

**Wien-Brücken-Filter:** Die Wien-Brücken-Bauart gehört zu den am besten klingenden Designs, fordert auf der anderen Seite jedoch hohe Ansprüche an die technische Umsetzung und die Bauteilgleichheit. In ihrer Grundform liefern Glockenfilter in W-B-Bauart eher geringe Gütefaktoren. Die Erhöhung der Güte ist technisch anspruchsvoll. Hier kommt es vor allem

darauf an, dass das an sich passive Filter geschickt in eine aktive Schaltung integriert wird. Sind diese Probleme jedoch gelöst und die Bauteile entsprechend aufwändig selektiert, erinnern Wien-Brücken-Filter in ihrem weichen Klang an den reizvollen Sound von passiven Equalizern, wie etwa dem berühmten Pultec-EQ.

Egal welche Bauart genutzt wird, kommt es letztlich doch auf das Know-how des Entwicklers an einen gut klingenden Filter aufzubauen. Man muss daher festhalten, dass es durchaus gut klingende Universalfilter und zweifelhafte Wien-Brücken-Filter geben kann. Elektronikdesign ist eben auch halb Handwerk und halb Kunst, wie die Tontechnik.

## Gerätebauarten

Im professionellen Audiobereich haben sich zwei generelle Bauarten etabliert, die zwar oft ihre spezialisierten Einsatzbereiche haben, prinzipiell jedoch alle Aufgaben erfüllen können. Die Auswahl des Werkzeugs bleibt dem Tonschaffenden überlassen und manchmal können unkonventionelle Werkzeuge besonders reizvolle Ergebnisse liefern.

## Grafische Equalizer

Rückblickend betrachtet hatten sich grafische Equalizer vor allem für die Abhörkorrektur im Studio und die Summenentzerrung im Livebereich etabliert. In den letzten Jahren sind jedoch gehäuft Modelle in der (wieder) modernen Kassettentechnik auf den Markt zurück gekehrt, die sich hervorragend für Aufgaben im Aufnahme- oder Mischbereich einsetzen las-

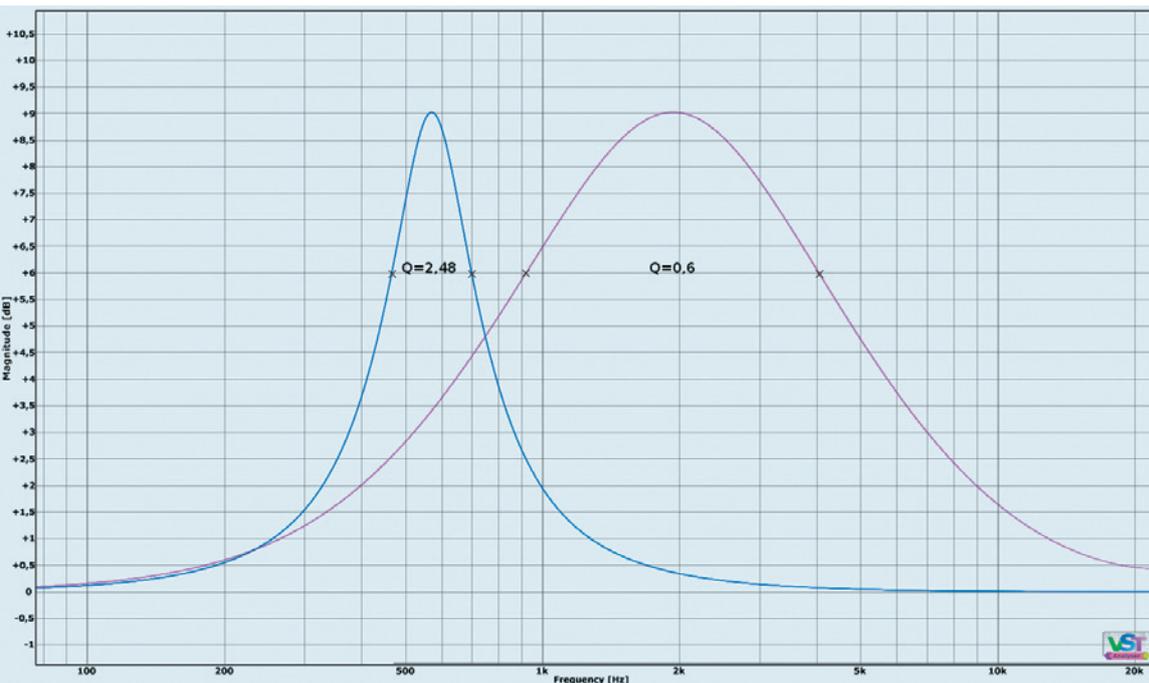


Abbildung 4: Grenzfrequenzen und resultierende Gütefaktoren zweier Glockenfilter

sen. Diese sind oft mit wenigen Bändern ausgestattet, die entweder sehr breit ausgelegt wurden und somit eher grobe Eingriffe in das Frequenzspektrum gestatten oder nur einen beschränkten Frequenzbereich abdecken, der eine Spezialisierung für bestimmte Aufgabenbereiche erlaubt. Die ‚klassische‘ Variante stellt der mit 31 Bändern ausgestattete Terzbandequalizer dar. Hier werden 31 gleichartige Filter an nach ISO-Norm definierten Frequenzpunkten geschaltet. Die einzelnen Filter überlappen sich deutlich, sie decken in ihrer Güte eine Terz ab. Dies erlaubt es dem Anwender, die resultierende Filterung grafisch an der Stellung der Regler abzuschätzen. Diese Analogie ist natürlich nur als Überblick zu betrachten und entspricht dem wirklichen Kurvenverlauf nur grob. Abbildung 3 zeigt, wie die Filterung aussieht, wenn mehrere Bänder auf den gleichen Wert gesetzt werden. Neben der ‚welligen‘ Form der resultierenden Frequenzkurve, wird auch der auftretende Pegelanstieg der Gesamtfilterung deutlich. Wie an der einzelnen Glockenkurve zu erkennen ist, beträgt der maximale Hub der Einzelbänder nur  $\pm 6$  dB. Der Anwender muss beim Einsatz mehrerer Bänder daher aufpassen, dass er nicht über das Ziel hinaus schießt.

## Parametrische Equalizer

Vor allem in der Filterung von Einzelsignalen und bei präzisen Frequenzeingriffen bieten sich parametrische Equalizer an. Sie verschaffen dem Anwender die Möglichkeit die zu bearbeitende Frequenz stufenlos einzustellen und dort eine Anhebung oder Absenkung bei variabler Bandbreite vorzunehmen. Aus Kostengründen wird manchmal auf die stufenlose

Einstellung des Gütefaktors, zu Gunsten einer einfachen Umschaltung zwischen einer breiteren und einer schmaleren Glockenform, verzichtet. Bei halbparametrischen Equalizern ist der Gütefaktor festgelegt und lässt sich überhaupt nicht verändern. Besonders aufwändige Equalizer bieten die Option die Filtercharakteristik der Glockenfilter umzuschalten. Diese Umschaltung kann zum Beispiel vom Glocken- zum Kerbfilter (Notch) erfolgen. Da solche Umschaltungen jedoch hohe Bauteilkosten verursachen, werden sie meist nur in digitalen Equalizern realisiert.

## Die Güte

Egal mit welcher Filterbauform man zu tun hat, kommt man doch immer wieder mit der Filtergüte (oder Q-Faktor) in Berührung. Grundsätzlich stellt die Güte ein Maß für die ‚Breite‘ des vom Glockenfilter erfassten Frequenzbereiches dar. Um die Güte eines Filters zu verstehen, muss zunächst seine Bandbreite betrachtet werden. Die Bandbreite  $B$  ist als Differenz der oberen und unteren Grenzfrequenzen eines Filters definiert. Bei Glockenfiltern sind diese Grenzfrequenzen die beiden Punkte 3 dB unterhalb der Mittenfrequenz der Filterkurve. Abbildung 4 zeigt die beiden Grenzfrequenzpunkte für zwei verschiedene Filterkurven. Der Abstand der beiden Punkte definiert die Bandbreite. Das bedeutet, dass zunächst die untere Grenzfrequenz von der oberen abgezogen werden muss, um die Bandbreite des Filters zu erhalten. Mit Hilfe der Bandbreite  $B$  und der Mittenfrequenz der Filterglocke  $f_0$ , kann nun der Güte- oder Q-Faktor (von englisch: Quality) errechnet werden:

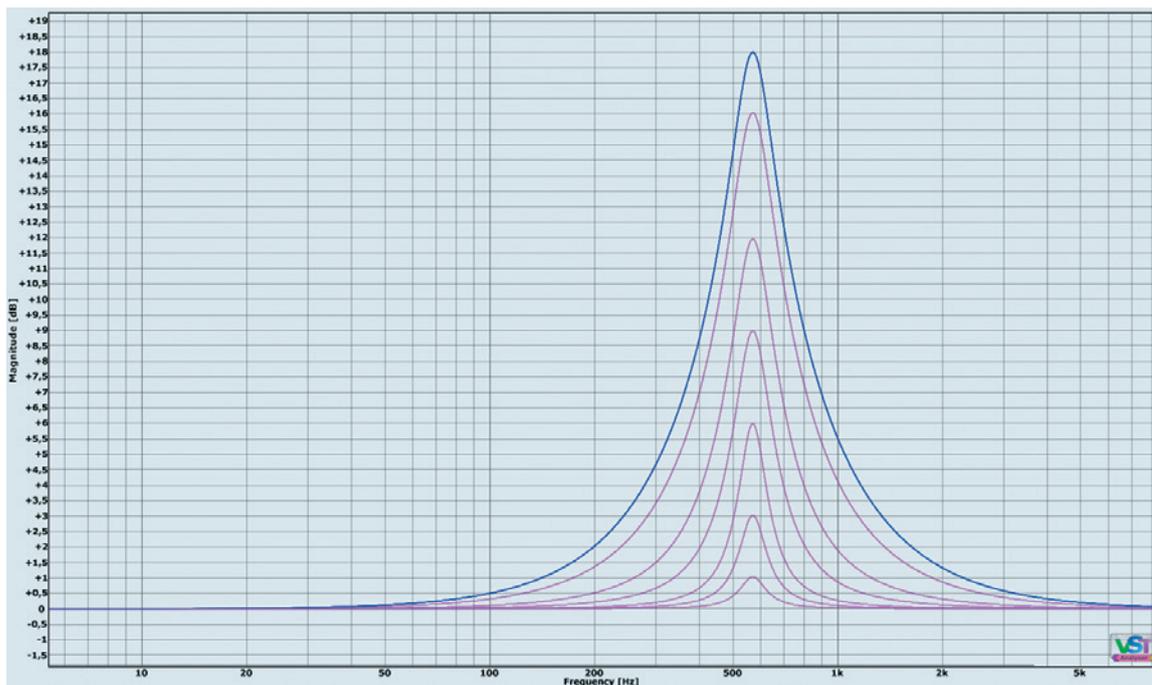


Abbildung 5: Filter mit konstanter Güte

$$B = f_2 - f_1$$

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

Da die Güte einen Faktor zweier Frequenzen darstellt, verändert sie sich nicht über die Frequenz. Das bedeutet, dass sie auch in musikalische Intervalle umgerechnet werden kann. Tabelle 2 listet die Intervalle einer Oktave und ihre (leicht gerundeten) zugehörigen Gütefaktoren. Wichtig ist, dass der Anwender verinnerlicht, dass die Güte nicht die Breite der gesamten Glocke definiert. Je nach Pegel der Anhebung oder Absenkung kann die Glockenbreite mehrere Oktaven über den Gütefaktor hinaus reichen. Einige Hersteller verzichten aus diesem Grund bewusst auf die Beschriftung mit Güte-Werten und symbolisieren stattdessen nur die beiden Extremstellungen des Gütereglers mit einer abstrahierten schmalen und weiten Frequenzglocke. Letztendlich sollte die Güte, wie alle anderen Parameter, nach klanglichen und nicht skalenbezogenen Gesichtspunkten eingestellt werden. Standardmäßig ist die Regelung der Güte bei einem Filter vollständig unabhängig von anderen Parametern. Das bedeutet, dass sie sich nicht verändert, wenn der Pegel angehoben oder abgesenkt wird. In Abbildung 5 wird das Verhalten eines solchen Constant-Q-Filters dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass die Güte bei allen Kurven den Wert 4 beibehält. Es gibt jedoch auch Filter, deren Aufbau die beiden Parameter Anhebung/Absenkung und Güte verknüpft. Dies kann zum Beispiel über ein Potentiometer mit mehreren Ebenen erreicht werden. In diesem Fall steigt die Güte mit steigender Verstärkung (oder Absenkung) an. Dies

führt zu einem weicheren Übergang zum unbearbeiteten Bereich des Spektrums und hat vor allem bei stärkeren Eingriffen einen besonderen klanglichen Reiz. Diese Filter werden als Variable-Q-Filter bezeichnet. Abbildung 6 stellt die resultierende Kurve eines solchen Filterbandes bei verschiedenen Verstärkungswerten dar.

## Das Phasenproblem

Die Phase eines reinen Sinus ist relativ leicht nachvollziehbar. Sie stellt die Verschiebung einer Schwingung von einer Bezugsschwingung mit definiertem Anfangspunkt dar. Liegt dieser Anfangspunkt im Nulldurchgang zur positiven Halbwelle, so beträgt der Phasenwinkel der Schwingung Null Grad und entspricht der Bezugsschwingung. Liegt er zum Beispiel im Nulldurchgang zur negativen Halbwelle, so ist der Phasenwinkel der Schwingung um 180 Grad verschoben. Im Wendepunkt der oberen Halbwelle liegt er bei 90

<b>Kleine Sekunde</b>	17,3
<b>Große Sekunde</b>	8,65
<b>Kleine Terz</b>	5,76
<b>Große Terz</b>	4,32
<b>Quarte</b>	3,42
<b>Verminderte Quinte</b>	2,87
<b>Quinte</b>	2,46
<b>Kleine Sexte</b>	2,145
<b>Große Sexte</b>	1,9
<b>Kleine Septime</b>	1,71
<b>Große Septime</b>	1,54
<b>Oktave</b>	1,41

Tabelle 2: Musikalische Intervalle und ihre korrespondierenden Gütefaktoren (gerundet)

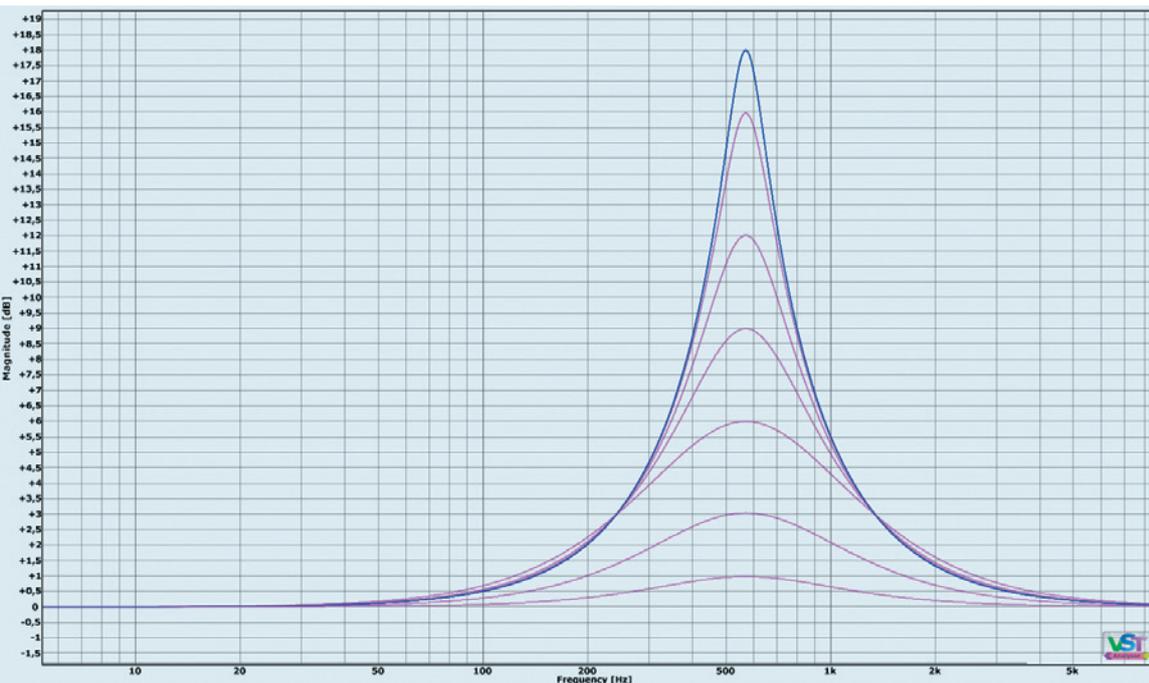
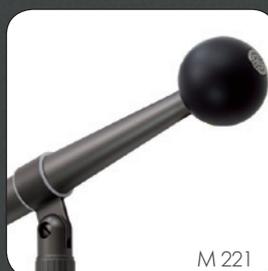


Abbildung 6:  
Filter mit variabler Güte

Grad, im unteren bei 270 Grad. Ein Sinus kann in jedem beliebigen Phasenwinkel vorliegen. Diese Unterscheidung wird bei komplexen Signalen ungleich schwieriger und ist in den meisten Fällen nicht eindeutig zu definieren. Vor allem bei natürlichen, endlichen Signalen mit Einschwingung und Ausklang ist die Bestimmung der absoluten Phase nicht mehr möglich. Nichtsdestotrotz kann ihre Phase relativ zwischen Ein- und Ausgang einer technischen Schaltung betrachtet werden. Wird ein Signal in eine Baugruppe eingespeist, kann der Phasenunterschied über die Frequenz gemessen und grafisch dargestellt werden. Diese Messkurve wird als Phasenfrequenzgang bezeichnet. Sie

ist vom Amplitudenfrequenzgang zu unterscheiden, der Pegeländerungen über die Frequenz, ebenfalls zwischen Ein- und Ausgang, misst. Im Gegensatz zum Phasenfrequenzgang kann der Amplitudenfrequenzgang auch absolut gemessen werden. Das theoretische Ideal für den Phasenfrequenzgang einer Filterschaltung wäre Linearität innerhalb ihrer Übertragungsbandbreite. Dies ist mathematisch möglich, kann aber nur digital realisiert werden. Auf diese spezielle Form der phasenlinearen Equalizer werden wir jedoch erst in der nächsten Ausgabe zu sprechen kommen. In der analogen Domäne ist es bereits theoretisch unmöglich eine analoge Schaltung vollständig phasenneutral zu ge-

**MICROTECH GEFELL**   
microphones & acoustic systems - founded 1928 by Georg Neumann



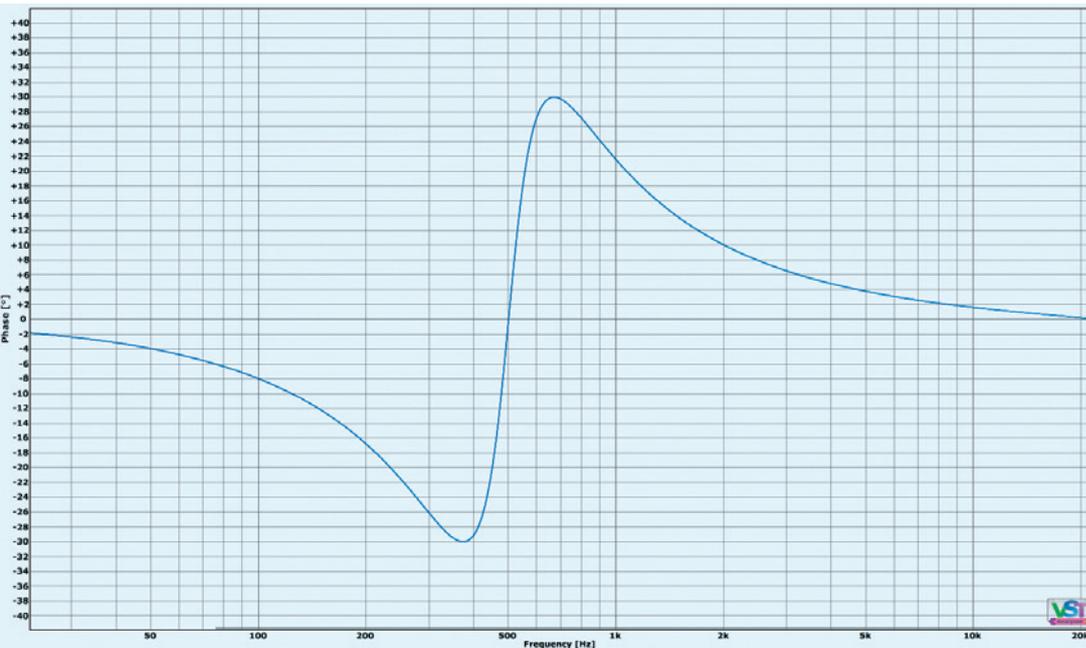


Abbildung 7: Phasenfrequenzgang eines einfachen Glockenfilters bei 500 Hz, 9,5 dB Anhebung und einem Gütewert von 4

stalten. Praktisch gesehen kann man sich ihr etwas annähern und den Beginn der Phasenverschiebung weit in die Randbänder verschieben. Sobald jedoch in den Amplitudenfrequenzgang eingegriffen wird, ist die lineare Phase dahin. Abbildung 7 demonstriert den Phasenfrequenzgang eines einfachen Glockenfilters bei 500 Hz, 9,5 dB Anhebung und einem Gütewert von 4. Wir alle sind als Hörer somit seit Beginn der elektronischen Schallaufzeichnung mit Phasenveränderungen konfrontiert und es stellt sich die Frage, ob die Abwesenheit dieser Veränderung nicht als unnatürlich wahrgenommen wird. Es fällt zum Beispiel auf, dass eine bestimmte, negative Phasenverschiebung in den Höhen für den Charakter populärer Vintage-Geräte zu einem Teil mitverantwortlich ist. Die Verschiebung der Phase zwischen Ein- und Ausgang sollte daher nicht als grundsätzlich kritisch angesehen werden. Ein weit verbreitetes Missverständnis stellt die Wahrnehmbarkeit der Phase eines Signales dar. Verschiedentlich findet sich die Aussage, dass das menschliche Ohr nicht in der Lage sei die Phase eines Signales wahr zu nehmen. Dies stimmt jedoch nur für reine Sinusschwingungen. Gibt man einen Sinuston über Lautsprecher wieder und verändert dabei die Phase des Signals, wird der Proband keinen Unterschied feststellen können. Das ist auch ganz gut so, denn sonst würde der Mensch permanent jede Phasenmodulation, die ihm begegnet, als störend wahrnehmen. Dies wäre in fast jeder Lebenssituation der Fall, es sei denn man liegt absolut still am Boden

– eine eher schlechte Position um etwa einen Konzertbesuch zu genießen. Jede Bewegung des Kopfes, jede Bewegung der Schallquelle und sei sie auch noch so klein, moduliert die Phase des Signals. Die Unfähigkeit der Absolutphasenwahrnehmung ist also ein kluger Schritt der Evo-

lution. In der Praxis können Phasenveränderungen jedoch trotzdem wahrgenommen werden. Dies geschieht etwa unter folgenden Voraussetzungen:

- Wenn sie in komplexen Signalen auftreten und sich über die Frequenz ändern. Das heißt, dass die spektralen Anteile des Signals immer stärker gegeneinander verdreht werden. Würde man die Phase bei jeder Frequenz um den gleichen Winkel verschieben (digital möglich), entspräche dies akustisch der Phasenneutralität und wäre nicht hörbar.
- Wenn sie zwischen Ein- und Ausgang einer Schaltung auftreten und somit im A/B-Vergleich erkannt werden können. Das Vergleichssignal wird, gegenüber dem mit ungünstigerem Phasenfrequenzverlauf, oft als ‚definierter‘ oder ‚präziser‘ empfunden.
- Bei Verschiebung der Phasenverhältnisse korrelierter Kanäle. Wenn also zum Beispiel der linke und rechte Kanal eines Stereosignals unterschiedlichen Phasenveränderungen ausgesetzt wird. Solche Verschiebungen werden als Lokalisationsunschärfe, Eindimensionalität oder im Extremfall sogar deutlicher Kammfiltereffekt (also indirekt durch ihren Einfluss auf den Amplitudenfrequenzgang) wahrnehmbar.

Es muss jedoch festgehalten werden, dass die Veränderungen in der Phase nichtkorrelierender Signale im Vergleich zu anderen Parametern eher Nuancen in der Klangwahrnehmung darstellen. Oft werden Verschiebungen im Bassbereich als ‚Verschmiertheit‘ oder ‚Mulmigkeit‘ wahrgenommen. Verschiebungen in den Höhen werden, wie bereits erwähnt, manchmal als akustisch angenehmer und zum Teil sogar als sehr reizvoll empfunden. Die Erklärung für die unvermeidbare Phasenverschiebung in analogen Filtern finden Sie im Kasten ‚Phasenverschiebung‘ auf Seite 47.

## Technisch betrachtet

Die folgenden Grundlagenbetrachtungen sollen die Grundsätze hinter einer Filterschaltung beleuchten und erfüllen einen exemplarischen Zweck. Dabei werden absichtlich die in der Praxis natürlich relevanten Ein- und Ausgangsimpedanzen außer Acht gelassen.

### Spannungsteiler

Um die elektrischen Vorgänge in einem analogen Filter zu verstehen, muss zunächst eine der einfachsten Schaltungen der Audiotechnik verstanden werden. Sie besteht aus zwei Widerständen und wird als Spannungsteiler bezeichnet. Abbildung 8 zeigt das Schaltbild eines einfachen Spannungsteilers. Sie werden in der Audiotechnik zum Beispiel zum Abschwächen von Signalen verwendet (etwa als sogenanntes PAD in einem Mischpult oder Mikrofon). Ihre Funktion ist schnell erklärt. Das Ohmsche Gesetz besagt, dass sich der Strom  $I$  durch Division der Spannung  $U$  mit dem Widerstand  $R$  berechnen lässt:

$$I = \frac{U_e}{R_1 + R_2} = \frac{U_e}{R_{\text{Gesamt}}}$$

Für die Schaltung bedeutet dies, dass zunächst der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers berechnet werden muss. Da die beiden benutzten Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  in Reihe geschaltet sind, addieren sie sich zu  $R(\text{Gesamt})$ . Die Eingangsspannung  $U_e$  ist bekannt. Da nun der Strom, die Werte der Widerstände und die Eingangsspannung bekannt sind, kann die Ausgangsspannung der Schaltung berechnet werden:

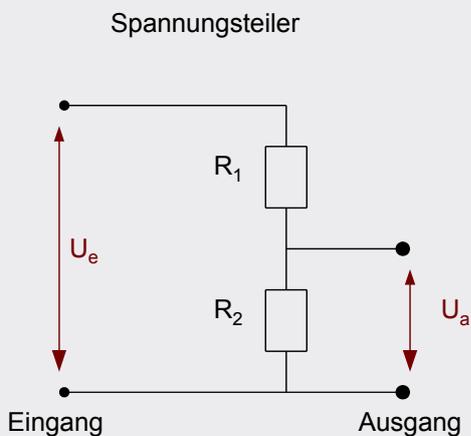


Abbildung 8: Schaltbild Spannungsteiler

$$U_a = I \cdot R_2 = \frac{U_e}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

Es zeigt sich somit, dass die Stärke der Dämpfung zum Beispiel durch die Dimensionierung des Widerstands  $R_2$  bestimmt werden kann. Sind  $R_1$  und  $R_2$  gleich, beträgt die Dämpfung 6 dB. Dies entspricht einer Halbierung der Spannung. Dies sei an einem Beispiel illustriert:

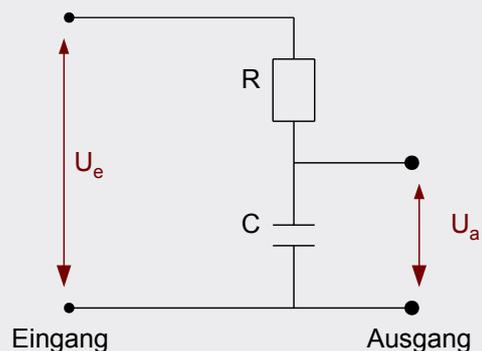
$$U_a = \frac{0,775 V}{300 \Omega + 300 \Omega} \cdot 300 \Omega = 0,001291 A \cdot 300 \Omega = 0,387 V$$

Ist  $R_2$  größer als  $R_1$ , verringert sich der Dämpfungsgrad; wählt man  $R_2$  kleiner als  $R_1$ , ergibt sich eine höhere Dämpfung. Die Dämpfung eines solchen Spannungsteilers ist über den Audiofrequenzbereich konstant.

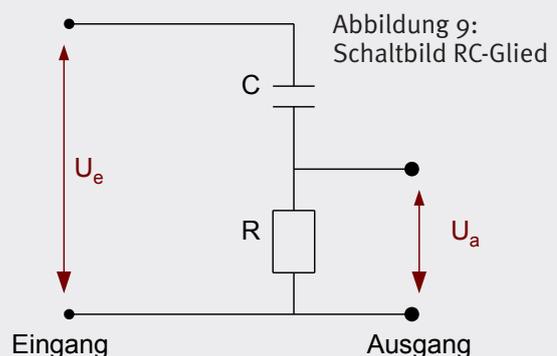
### Hoch- und Tiefpass

Basierend auf der Schaltung eines Dämpfungsgliedes, muss diese nun frequenzabhängig gestaltet werden, um als (passives) Filter zu arbeiten. Die technisch einfachste Art einen Hoch- oder Tiefpass für den Audibereich zu realisieren liegt darin, einen Widerstand ( $R$ ) mit einem Kondensator ( $C$ ) zu kombinieren. Die Abbildung 9 zeigt die

#### Tiefpassfilter (1.Ordnung)



#### Hochpassfilter (1.Ordnung)



Schaltbilder für beide Filterarten. Die auf diese Art realisierten Schaltungen, werden als RC-Glied bezeichnet. Ein Hochpass bezeichnet einen Filter, oberhalb dessen Grenzfrequenz das Eingangssignal (relativ) unverändert passieren kann, wobei das Signal unterhalb der Grenzfrequenz abgeschwächt wird. Ein Tiefpassfilter hingegen arbeitet invertiert. Signalanteile oberhalb der Grenzfrequenz bleiben unbearbeitet, während unterhalb dieser Frequenz eine Absenkung des Eingangssignals stattfindet. Diese Betrachtung ist jedoch nicht ganz genau, da die Grenzfrequenz wie bereits erwähnt als -3 dB Punkt definiert ist und somit der Durchlassbereich je nach Filterkurve und Filterordnung mehr oder weniger stark mit beeinflusst wird. Die Stärke der Abschwächung wird durch die Filterordnung bestimmt.

Die elektrische Funktion von Hoch- und Tiefpassfiltern ist mit der des Dämpfungsgliedes vergleichbar, es müssen jedoch die komplexen Widerstände der beteiligten Bauteile betrachtet werden. Zunächst gilt es daher den sogenannten kapazitiven Blindwiderstand ( $X_c$ ) des Kondensators zu ermitteln:

$$X_c = -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Dieser Blindwiderstand trägt, wie der ohmsche Widerstand, das Formelzeichen Omega. Es muss also genau darauf geachtet werden, um welchen Widerstand es sich handelt. Denn anders als zwei ohmsche Widerstände, die sich in Reihenschaltungen einfach addieren lassen, geschieht die Addition eines ohmschen und eines Blindwiderstandes als geometrische Addition nach dem Satz des Pythagoras. Gemeinsam bilden sie die sogenannte Impedanz (Z):

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ hier } Z = \sqrt{X_c^2 + R^2}$$

Nun kann die Gesamtformel eines Hochpassfilters dargestellt werden:

$$U_a = U_e \cdot \frac{R}{Z} = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$$

Mit Hilfe dieser Formeln kann die Ausgangsspannung für jede einzelne Frequenz berechnet werden. Sie muss lediglich in die Formel für den Blindwiderstand übernommen werden. Für die praktische Anwendung ist es natürlich noch interessanter zu wissen, bei welcher Frequenz die Grenzfrequenz (engl. Cutoff frequency  $f_c$ ) der Schaltung liegt. Diese kann direkt errechnet werden, wenn die Kapazität (C) des Kondensators und der Wert des Widerstands (R) bekannt sind:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R}$$

Als Beispiel wird ein Hochpassfilter erster Ordnung mit der Grenzfrequenz von 80 Hz, also etwa ein klassisches Rumpelfilter, berechnet:

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \mu F \cdot 2k \Omega} = 80 \text{ Hz}$$

Abschließend sei noch erwähnt, dass die Berechnung eines Tiefpassfilters der des Hochpassfilters entspricht. Es muss lediglich der ohmsche Widerstand R durch den Betrag des kapazitiven Blindwiderstand  $X_c$  ersetzt werden:

$$U_a = U_e \cdot \frac{X_c}{Z} = U_e \cdot \frac{X_c}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$$

Es ist außerdem möglich die gleichen Filterschaltungen mit Spulen anstatt Kondensatoren aufzubauen. Da das mathematische Prinzip sich jedoch nicht ändert, verzichten wir darauf, an dieser Stelle darauf einzugehen.

## Bandpassfilter

Beim Aufbau eines einfachen Bandpassfilters wird die Spule eingesetzt. Die Umsetzung eines Glockenfilters als Bandpassfilter kann über die Reihenschaltung einer Spule (L), eines Kondensators (C) und eines Widerstandes (R) geschehen und wird in Abbildung 10 gezeigt.

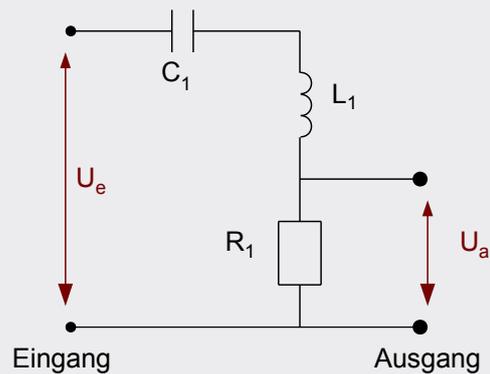


Abbildung 10: Schaltbild LRC-Glied

Diese Schaltung wird als LRC-Glied bezeichnet und stellt technisch einen Bandpass zweiter Ordnung dar, da beide Filterflanken erster Ordnung gezählt werden. Glockenfilter sind daher immer geradzahlig Ordnung. Mathematisch gesehen stellt ein Bandpassfilter die Kombination eines Hoch- und Tiefpassfilters dar. Viele der bereits bekannten Formeln helfen daher direkt bei der Berechnung der Parameter eines Glockenfilters. Bei dieser Schaltung sind die Berechnungen für zwei Parameter, die Grenzfrequenzen und die Güte (Q-Faktor)

---

---

der Filterkurve, besonders interessant. Die Güte kann direkt aus den Parametern der Filterbauteile gewonnen werden:

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Mit Hilfe der Güte und der bekannten Mittenfrequenz kann nun die obere und untere Grenzfrequenz bestimmt werden:

$$f_{oben} = f_0 \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2} + \frac{1}{2Q}} \right)$$

$$f_{unten} = f_0 \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2} - \frac{1}{2Q}} \right)$$

---

## Sprungantwort

Eine weitere wichtige Kenngröße von elektronischen Filtern ist ihre Sprungantwort. Zur Durchführung dieser Messung wird am Eingang des Filters eine plötzliche Zustandsänderung herbeigeführt. Dies kann zum Beispiel das Einschalten einer Gleichspannung sein. Diese am Eingang theoretisch senkrechte Funktion kann mit dem Ausgang des Filters verglichen werden. Je nach Filterschaltung wird diese (annähernd) ideale Flanke mehr oder weniger verzerrt. Solche Verzerrungen äußern sich zum Beispiel durch Amplitudenüberschwinger des Ausgangs oder durch weich ansteigende Kurven, die die Flanke eines Transienten ‚abschleifen‘. Dies hat in der Praxis besonders bei transientenreichen Eingangssignalen Relevanz. Die entstehenden Verzerrungen werden als Transienten-Intermodulationsverzerrungen (TIM) bezeichnet.

---

## Phasenverschiebung

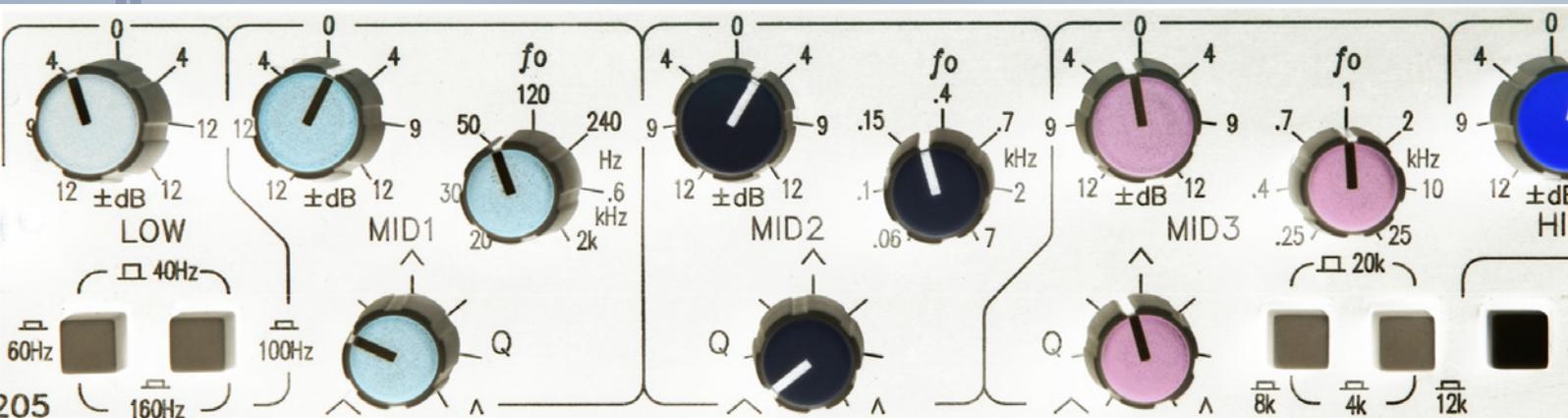
In einer analogen Filterschaltung treten immer Induktivitäten und Kapazitäten auf. Dies kann zum Beispiel an Kondensatoren oder Spulen, aber auch an integrierten Schaltkreisen und natürlich durch die parasitären Effekte aller Bauteile und der Gesamtschaltung geschehen. Tritt in einer Schaltung eine Induktivität auf, verschiebt sich der Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom um 90 Grad. Das bedeutet, dass der Strom der Spannung nacheilt. Bei Kapazität wird die Spannung um -90 Grad verschoben und eilt somit dem Strom nach. Beide Effekte fließen in die Berechnung der Impedanz ein. Man kommt also bei analogen Filterschaltungen nicht darum herum eine Phasenveränderung prinzipiell ‚in Kauf zu nehmen‘. Hinzu kommen Signallaufzeiten, die vor allem zu hohen Frequenzen eine Rolle spielen. Betrachten wir nochmals das bereits beschriebene Bandpassfilter aus einer in Reihe geschalteten Spule, einem Kondensator und einem ohmschen Widerstand, so setzt sich seine Impedanz aus einem reellen Widerstand (in diesem Fall der ohmsche Widerstand),

---

## Zwischenbilanz

Diese Grundlagen von Filtern sind eigentlich relativ leicht zu verstehen, auch wenn die vielen Formeln zunächst abschrecken mögen. Mit den besprochenen Parametern von analogen Filtern und ihren Grundlagen haben wir bisher natürlich nur an der Oberfläche gekratzt. In der nächsten Folge soll es weiter um Filter gehen, jedoch wird der Fokus dann zu digitalen Modellen verschoben. Sollten Sie Anregungen und Fragen zum Thema Filter haben, schreiben Sie eine E-Mail an [friedemann@studio-magazin.de](mailto:friedemann@studio-magazin.de). Zuletzt möchten wir Gerd Jüngling (adt-audio) unseren besonderen Dank für die technische Beratung ausdrücken.

einem kapazitiven und einem induktiven Blindwiderstand zusammen. Der ohmsche Widerstand verhält sich dabei phasenneutral und geht mit null Grad Verschiebung vollständig in den Gesamtwiderstand (Impedanz) ein. Die beiden Blindwiderstände werden hingegen in einer geometrischen Addition (Satz des Pythagoras) bei gleichem Phasenwinkel, aber mit entgegengesetzten Vorzeichen zum ohmschen Widerstand addiert. Ein Sonderfall tritt ein, wenn der Betrag des kapazitiven der Hälfte des induktiven Blindwiderstands entspricht. In diesem Fall beträgt die Gesamtphase der Schaltung 45 Grad. Dieser Phasenwinkel tritt bei Filtern erster Ordnung immer an der Grenzfrequenz auf. Bei komplexeren Filtern höherer Ordnung treten stärkere Phasenverzerrungen auf, wobei auch die interaktiven Einflüsse mehrerer Filterstufen eine große Rolle spielen. Zwei passive Filter erster Ordnung können nur mit einer Impedanzanpassung kombiniert werden, da ihr Frequenz und Phasenverhalten sonst außer Kontrolle gerät.



Friedemann Kootz, Abbildungen: Friedemann Kootz

# Filtertechnik Teil 2

## Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern – 2009

Willkommen zurück im zweiten Teil unserer Kurzserie zum Thema Filtertechnik. Ich hoffe, dass Sie sich vom ersten Artikel nicht erschlagen gefühlt haben, denn machen Sie sich keine Hoffnung: Diesmal wird alles noch viel schlimmer. Aber natürlich auch genauso spannend, denn nun werfen wir einen Blick unter die Haube von digitalen Filtern. Sie werden staunen, dass sich hier mehr überraschende Eigenschaften verbergen als man im ersten Moment annehmen mag.

Bei der Betrachtung von digitalen Filtern und ihren Algorithmen, ist es zunächst egal auf welche Weise und in welche Systeme sie integriert sind. Laufen können diese Programme zum Beispiel direkt auf dem Systemprozessor Ihres Studiocomputers, auf einem DSP in einem externen Gerät oder aber auch auf einem FPGA, der auf einer Steckkarte untergebracht sein könnte. Das Prinzip und auch der mathematische Unterbau sind dabei gleich, lediglich die Aufbereitung für den jeweiligen ‚Rechner‘ unterscheidet sich. Auch die Anforderungen an Leistung und Geschwindigkeit des Rechners sind dabei sehr unterschiedlich. Ein speziell programmierter FPGA muss gar nicht so schnell wie ein gleichwertiger CPU-Kern rechnen können. Er kann seinen Geschwindigkeitsnachteil durch hohe Spezialisierung ausgleichen oder sogar die Nase vorn haben. Es ist also möglich ein Filter in verschiedene Systeme zu integrieren, ohne dass sich sein Klangcharakter unterscheidet. Grundsätzlich sortieren sich digitale Filter in zwei prinzipielle Herangehensweisen. Die eine wird als IIR-Filter bezeichnet und orientiert sich klanglich und mathematisch eher an analogen Filtern, die andere als FIR-Filter bezeichnete Bauart bietet Möglichkeiten, die der analogen Welt versagt bleiben, muss diese jedoch nicht zwingend nutzen und kauft sie immer auf Kosten des Arbeitstempos. Es ist praktisch überhaupt kein Problem, analoge Filter mit Hilfe eines FIR-Filters zu emulieren oder aber komplett neue Filterformen und -verhalten zu erzeugen. Doch bevor es weiter um die Möglichkeiten von digitalen Filtern gehen kann, müssen die Grundlagen durchgearbeitet werden.

---

## Theorie

---

Die wichtigste Grundlage der digitalen Audiotechnik ist die Tatsache, dass digitales Audiomaterial sowohl in der Frequenzebene, als auch in der Zeitebene in all seinen Parametern erfasst und beschrieben werden kann. Dies begegnet uns tagtäglich in der Praxis, in verschiedenen Ausprägungen. So ist die Darstellung einer Wellenform in der Audioworkstation ein Abbild der Zeitdarstellung des Audiomaterials. Auf der anderen Seite kann der Frequenzbereich zum Beispiel mit einem Analyzer überwacht werden. Beide Betrachtungen entsprechen sich vollständig. Wobei die Grafikdarstellung in der Praxis von der realen Situation abweicht und oft eine Vereinfachung darstellt. Ein Analyzer ist nicht genau genug um die einzelnen Frequenzen in der notwendigen Schmalbandigkeit anzuzeigen und die Darstellung der Wellenform entspricht nicht vollständig dem Signal, welches wir am Ende aus unseren Lautsprechern hören. Gerade bei letzterem Punkt liegt immer wieder ein Missverständnis bei vielen Anwendern vor. Man sollte daher aufpassen, die Wellenformdarstellung nur mit entsprechendem Hintergrundwissen zu bewerten. Mathematisch gesehen können die beiden

Formen vollständig ineinander übertragen werden. Hierfür werden Algorithmen, wie zum Beispiel die Fourier-Transformation, genutzt, deren mathematischer Kern und Formel Ihnen an dieser Stelle erspart bleiben soll. Die Transformation stellt jedoch einen wichtigen Aspekt in der Filterung dar und sollte daher erwähnt werden. Sie finden einen kurzen Überblick dazu im Kasten ‚Fourier-Transformation‘. Filter können aufgrund der Übertragung sowohl in der Zeitebene, als auch in der Frequenzebene arbeiten. Das Problem dabei liegt darin, dass sie niemals in beiden gut sind. Ein gutes Zeitverhalten wird durch ein schlechtes Frequenzverhalten erkauft und umgekehrt. Zur Ermittlung des Verhaltens eines Filters in beiden Ebenen sind vor allem zwei Messverfahren in der Praxis relevant: Die Betrachtung der Sprungantwort und die Betrachtung der Impulsantwort. Beide sind im Kasten ‚Messmethoden‘ erklärt. Betrachtet man die Impulsantworten verschiedener Filter, sollte man sich nicht über die zum Teil stark schwingenden Kurvenformen erschrecken. Filterimpulsantworten müssen abklingen und dürfen dabei auch schwingen, sonst wären

---

## Fourier-Transformation

---

Wie bereits erwähnt, sind die mathematischen Hintergründe der Fourier-Transformation zu komplex, um sie im Rahmen eines solchen Artikels ausreichend genau zu beschreiben. Es genügt dabei zu verstehen, dass die zugrundeliegende Theorie besagt, dass jedes komplexe Signal (also jede Signalform, außer der eines reinen Sinus) in diskrete Sinussignale unterschiedlicher Frequenz und Phasenlage zerlegt werden kann. Dies kann in der umgekehrten Form verdeutlicht werden, wenn man ein Rechtecksignal durch Hinzufügen von Sinussignalen steigender Frequenz immer weiter seiner ‚Optimalform‘ annähert. Abbildung 5 zeigt dies mit 1., 2., 6. und 15. Näherung. Hierdurch wird auch deutlich, wie sich der Zusammenhang zwischen Zeit- und Frequenzebene verhält. Durch das Hinzufügen immer hochfrequenterer Signalanteile steigt die Steilheit der Flanken des Rechtecksignals. Im Umkehrschluss wird somit deutlich, dass jedes System mit hoher Bandbreite auch ‚schneller‘ in der Zeitebene wird. Überträgt man diese Betrachtung zum Beispiel auf ein Mikrofon, so zeigt sich, dass ein ‚muffig‘ oder ‚dumpf‘ klingendes Mikrofon ungeeignet wäre, um schnelle Impulse, zum Beispiel von Trommeln, natürlich zu übertragen. Es

muss hier zwangsläufig zu Verzerrungen und Abrundung der Transienten kommen, die mit einem breitbandigen Mikrofon nicht so stark auftreten würden. Dabei wird auch klar, dass zum Beispiel ein Tauchspulenmikrofon durch die systembedingte Trägheit seines Wandlers hohe Frequenzen niemals so gut übertragen kann, wie etwa ein Kondensatormikrofon, welches mit seiner sehr leichten Membran entsprechend schnell auf eintreffende Schallwellen reagieren kann.

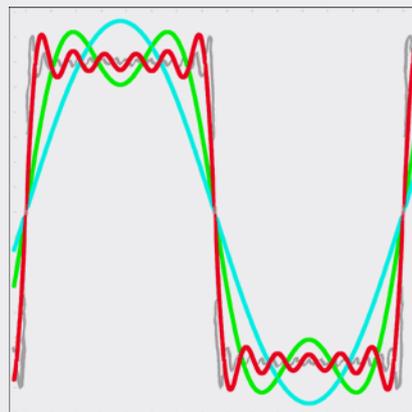


Abbildung 5: Rechteckwelle in 1. (blau), 2. (grün), 6. (rot) und 15. (grau) Näherung (Quelle Wikipedia)

## Messmethoden

Da Frequenz- und Zeitverhalten jeweils getrennt gewonnen werden können, genügt es, eines von beiden zu ermitteln, um die Eigenschaften eines linearen Systems vollständig zu beschreiben. Da ein digitales Filter als solches ein absolut lineares System ist, kann es abschließend über eine der beiden Funktionen beschrieben werden. Bei einem analogen Filter wird die Linearität durch äußere Einflüsse beeinträchtigt, sie kann jedoch auch hier angenommen werden. Es hat sich in der Praxis bewährt auf die beiden Methoden der Sprungantwort und der Impulsantwort zurückzugreifen. Diese sind beide Messmethoden in der Zeitebene.

## Impulsantwort

Hierzu wird ein Impuls von einem Sample Länge auf den Eingang des Filters gegeben. Dieser Impuls wird als sogenannte Delta-Funktion oder Dirac-Impuls bezeichnet. Abbildung 1 zeigt die Delta-Funktion exemplarisch, ohne Absolutwerte auf der Y-Achse. Am Ausgang kann nun gemessen werden, wie das Filter auf einen Impuls reagiert. Messbar werden hierdurch zum Beispiel die Durchlaufverzögerung, die Anstiegsdauer der Flanke, eventuelles Überschwingen und das Abklingverhalten des Filters. In Abbildung 2 [ABBILDUNG IMPULSANTWORT] ist die Impulsantwort eines typischen Filters dargestellt. Die Erklärung zum Verhalten des Filters, finden Sie im Abschnitt IIR. Wichtig ist, dass eine Begrifflichkeit verinnerlicht wird: Der Ausgang eines Systems wird als Impulsantwort bezeichnet, wenn am Eingang ein Impuls angelegt wird. Soll diese Impulsantwort jedoch als Ziel-Frequenzkurve für ein Filter verwendet werden, so wird sie in ihrer in Filterkoeffizienten umgerechneten Form als Filterkern bezeichnet.

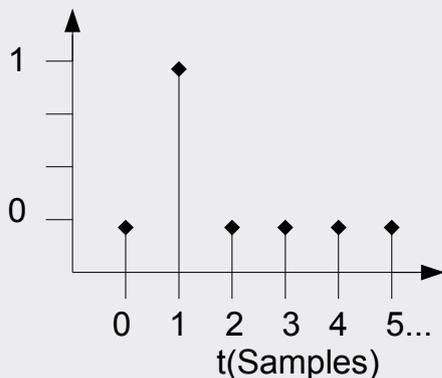


Abbildung 1: Dirac-Impuls auch Delta-Funktion genannt

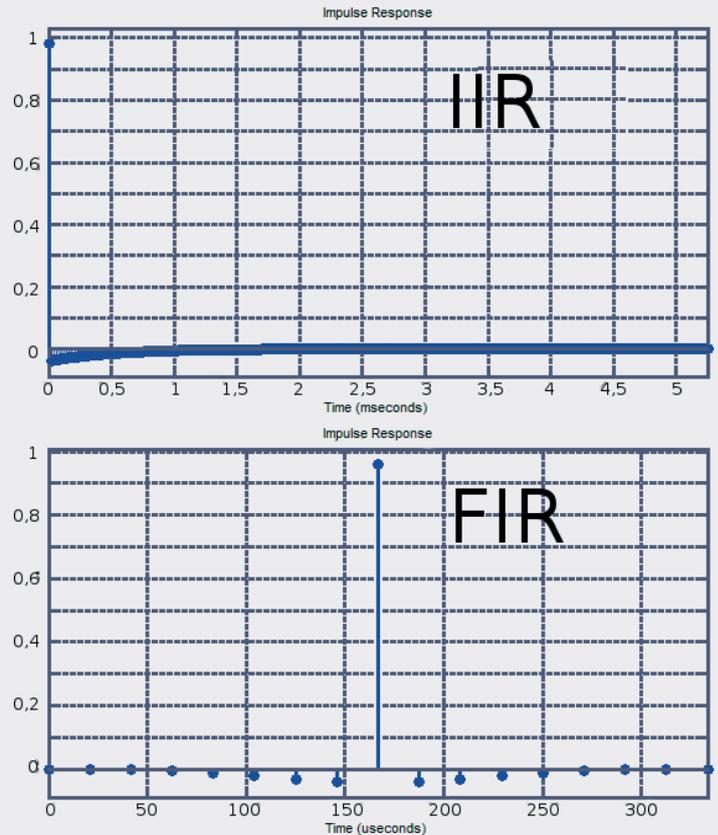


Abbildung 2: Impulsantwort je eines IIR und FIR-Filters, angeregt durch Delta-Funktion

## Sprungantwort

Da es unter Umständen kompliziert sein kann, einen exakt ein Sample langen Impuls zu generieren und sinnvoll zu nutzen (überhaupt ist dies nur digital möglich und auch dort oft mit einigen Komplikationen verbunden), wird anstelle der Impulsantwort gern die sogenannte Sprungantwort ausgewertet. Hierbei wird ebenfalls eine steile Flanke

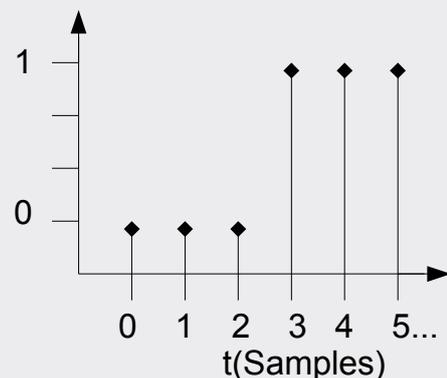
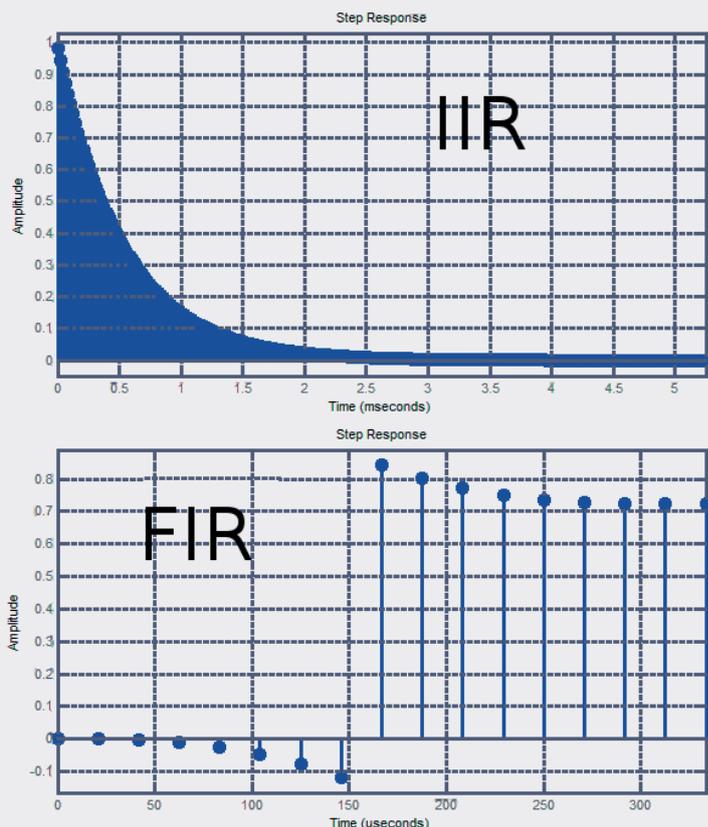


Abbildung 3: Sprungfunktion

ke durch das Umschalten von einem Zustand in einen anderen erzeugt, das System verbleibt anschließend jedoch im erreichten Zustand. Bildlich gesehen entspricht dies dem Einschalten einer Lampe. Vom Zustand ‚dunkel‘ wird mit sehr kurzer Anstiegszeit in den Zustand ‚hell‘ geschaltet, in dem das System anschließend verbleibt. Abbildung 3 stellt die exemplarische Funktion eines Sprungs dar. Auch hier wurde auf einen Absolutwert auf der Y-Achse verzichtet. Die Sprungantwort des Filters verdeutlicht Abbildung 4. Es handelt sich um dasselbe Filter wie in Abbildung 2. Mit Hilfe mathematischer Transformation kann aus der Sprungantwort sowohl die Impulsantwort, als auch der Frequenzgang der Systems ermittelt werden.

Abbildung 4: Sprungantwort je eines IIR- und FIR-Filters



sie keine Filter. Würde man in einen Algorithmus einen Impuls hinein geben und die Impulsantwort sähe aus wie der Impuls am Eingang, dann würde dieser Algorithmus nichts tun. Keine Dämpfung, keine Verschiebung, also keine Filterung. Aber genau diese definieren ein Filter. Um jedoch zu beantworten warum Filter häufig schwingen, muss zunächst die Grundschaltung eines Filters betrachtet werden.

## IIR

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten ein Filter digital zu realisieren. Diese werden nach ihrer Impulsantwort bezeichnet. Die erste wird als IIR-Filter bezeichnet. IIR steht für ‚Infinite Impulse Response‘, also ein Filter, dessen Impulsantwort bis in die Unendlichkeit abklingt, wobei die Bezeichnung auf einer theoretischen Betrachtung beruht und in der Praxis auch nicht zutreffen muss, bzw. kann. Denn da uns die Unendlichkeit in der Audiopraxis egal sein muss, können wir froh sein, dass eine unendliche Impulsantwort in einem digitalen System spätestens dann beendet wird, wenn das kleinstwertige Bit eines Sampleworts dauerhaft den Wert 0 erreicht hat. Hier besteht sozusagen ein Grenzwert, der durch die Bit-Auflösung des Systems bestimmt wird. Die Impulsantwort in einem 8-Bit-System klingt also deutlich kürzer ab, als die Impulsantwort des gleichen Filters bei 24 Bit Auflösung. Auf diesen Sachverhalt werden wir gleich noch einmal kurz zurück kommen. Betrachtet man die Grundstruktur eines ein-

fachen IIR-Filters in Abbildung 6 fällt auf, dass im Prinzip nur zwei Grundrechenarten und ein wenig Speicher benötigt werden. In den Addierstufen werden zwei oder mehr Eingänge mit einer einfachen Addition zusammen geführt. In den Verzögerungsstufen wird das eingehende Sample für einen definierten Zeitraum zwischengespeichert und somit verzögert. Diese Verzögerung beträgt in vielen Fällen ein Sample, kann jedoch auch einen größeren Wert annehmen. Die rechnerisch schwierigste Bearbeitung findet in den drei Multiplikationsstufen statt. Da es sich bei den Eingangssignalen um sehr lange Zahlen mit zwei Grenzwerten handelt (odBFS und Quantisierungsrauschen), kommt es bei der Multiplikation zwangsweise relativ häufig zu Rundungen, die im Ergebnis ungenaue Nachkommastellen liefern. Da eine Rundung dem Namen nach niemals ein exaktes Ergebnis liefert, bezeichnet man dies als Rundungsfehler, der sich durchaus auf das Klangergebnis auswirken kann. Die Rechartiefe des Filters ist daher einer der wichtigsten Unterscheidungsunkte zwischen verschiedenen Filterimplementationen. Wie eben erwähnt wirkt sich die Bit-Tiefe außerdem auf die Länge der Impulsantwort aus. Auch hier führt ein frühes Abschneiden zu einem verschlechterten Ergebnis. Dadurch wird auch klar, warum einige Hersteller bei ihren Plug-Ins mit Bit-Tiefen arbeiten und auch werben, die weit über denen des zu bearbeitenden Audiomaterials liegen. Nimmt man ein 24 Bit Sample von einer Audiospur und führt mehrere Multiplikationen durch, ist es ziemlich wahrscheinlich, dass am Ende ein Ergebnis heraus kommt,

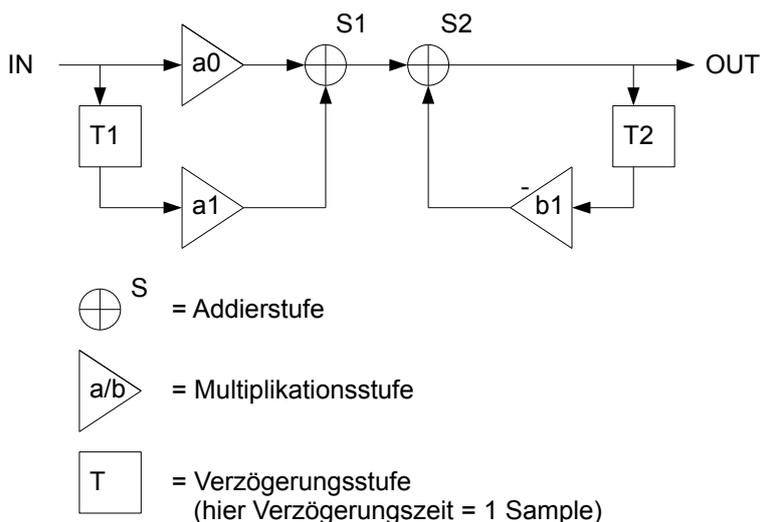


Abbildung 6: Einfaches IIR-Filter 2. Ordnung

welches mehr Stellen hat, als in 24 Bit codiert werden können. Trotzdem die Überhang-Bits am Ausgang verworfen werden müssen, liefert dieses Verfahren ein genaueres Ergebnis, als wenn bereits innerhalb der relevanten 24 Bit Rundungen auftreten müssen. Die Faktoren, mit denen die einzelnen Multiplikationen ausgeführt werden, sind der eigentliche Kern eines Filters. Sie werden als Filter-Koeffizienten bezeichnet. Achten Sie darauf, dass die Koeffizienten auf der linken Schaltungsseite (mit a bezeichnet), einen positiven und die Koeffizienten der rechten Seite (mit b bezeichnet) ein negatives Vorzeichen besitzen. Durch die Auswahl der Koeffizienten wird die Filterart (Höhensperre, Tiefensperre, Bandsperre, Bandpass etc.), die Filterordnung und somit die Filtersteilheit, die Trennfrequenz und die Kurvenform des Filters bestimmt. Das ganze Geheimnis eines Filters liegt somit in ein paar mehr oder weniger einfachen Multiplikatoren. Die Koeffizienten und die Verschaltungsstruktur sind fast alles, was man als Programmierer braucht um die eigentliche Filterfunktion einer Software zu realisieren. Dies könnte auch der Grund sein, warum es eine große Anzahl mittelmäßiger Filter auf dem Markt gibt – sie sind sehr einfach zu realisieren. Doch ganz so einfach ist es nun auch wieder nicht, denn die Koeffizienten müssen zunächst bestimmt werden. Hierfür bedient man sich bei weiteren mathematischen Funktionen, mit deren Einzelheiten wir hinter dem Berg halten möchten um nicht in die Hölle mathematischer Funktionen hinab steigen zu müssen und den Teufel der dreiseitigen Erklärung herauszufordern. Dennoch sind diese Funktionen für die Entwicklung der Koeffizienten zu relevant um sie ganz zu übergehen. Eine Möglichkeit der Berechnung besteht in der sogenannten Z-Transformation. Mit ihrer Hilfe kann die gewünschte Frequenzkurve in Filterkoeffizienten umgerechnet werden. Sie hilft auch dabei, Filter mit mehreren Stufen in kürzeren Filtern zusammen zu fassen oder die Kur-

venformen von analogen Filtern in Filterkoeffizienten zu berechnen. Da die Z-Transformation sehr komplex ist, drücken sich viele Entwickler davor, sie beherrschen zu lernen und vollständig zu verstehen. Dies wird dadurch begünstigt, dass es noch andere, einfachere Möglichkeiten gibt, die gesuchten Koeffizienten zu gewinnen. Der einfachste Weg besteht darin, in diversen Fachbüchern abgedruckte Tabellen für viele Standardfilterkurven zu verwenden und in den eigenen Algorithmus zu übernehmen. Außerdem können die Koeffizienten mit etwas Geduld genähert werden. Nach einigen Versuchen kommt man auf diesem Weg auch nach relativ kurzer Zeit zu funktionierenden Filterkurven. Werden jedoch falsche Koeffizienten verwendet, kann das Filter instabil werden oder in Resonanz geraten. Der Ausgang liefert in diesem Fall eine zufällige Anordnung von Krach. Greift man als Anwender in den Frequenzgang des Filters ein, indem man die klassischen Regler für Frequenz, Güte oder Anhebung/Absenkung bedient, so bedeutet dies, dass intern die Filterkoeffizienten in gegenseitiger Abhängigkeit angepasst werden. Sollen oder müssen IIR-Filter schnell rechnen können, so können die Koeffizienten in sogenannten Look-Up-Tables abgelegt sein. Der Rechner greift also auf eine Tabelle fertiger Werte zu, anstatt sie leistungs- und zeitintensiv zu berechnen. Da nun der theoretische Unterbau eines IIR-Filters soweit betrachtet ist, erklärt sich auch sehr schnell warum Filter schwingen können und warum diese Schwingung bei IIR-Designs theoretisch unendlich lang anhalten könnten. In Tabelle 1 ist die Filterreaktion auf eine Delta-Funktion an 8 durchlaufenden Samples dargestellt. Angenommen sei hier, dass die Filterkoeffizienten  $a_0$ ,  $a_1$  und  $b_1$  alle den Wert 0,5, bzw. -0,5 angenommen hätten. Die Praxistauglichkeit dieser Werte spielt für die Illustration keine Rolle. Es fallen hierbei vor allem zwei Tatsachen auf: Erstens wird sehr deutlich, dass das Filter oszilliert. Sein Ausgang schwingt mit immer kleiner werdenden Werten um die Nullachse, wobei die Nachkommastellen theoretisch immer länger werden könnten. Als zweites kann man sehen, dass sich ab Schritt 4 nur noch die rechte Hälfte an der Signalverarbeitung beteiligt. Dies liegt daran, dass sie sich im Gegensatz zur linken Seite in Rückkopplung befindet. Wegen dieser Rückkopplungsschleifen werden solche IIR-Designs auch als Rekursionsfilter bezeichnet. Da der Eingangswert nach dem Impuls auf 0 stehen bleibt, liefert die linke Filterseite, nachdem die Speicher leer gelaufen sind, keinen Ausgang mehr und ist somit am Gesamtergebnis unbeteiligt.

## Die Phase

Allgemein wird angenommen, dass IIR-Filter zwangsweise Verzerrungen der Phase des Signals verursachen. Dies stimmt nur bedingt, denn es gibt einen Weg das Ausgangs-

Tabelle 1 Durchlauf einer Delta-Funktion in einem IIR-Filter

Zeit (in Samples)	IN	a0	T1	a1	S1	T2	b1	OUT
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0,5	1	0	0,5	0,5	0	0,5
3	0	0	0	0,5	0,5	0,25	-0,25	0,25
4	0	0	0	0	0	-0,125	-0,125	-0,125
5	0	0	0	0	0	0,0625	0,0625	0,0625
6	0	0	0	0	0	-0,03125	-0,03125	-0,03125
7	0	0	0	0	0	0,015625	0,015625	0,015625
8	0	0	0	0	0	-0,0078125	-0,0078125	-0,0078125
9	0	0	0	0	0	0,0039062	0,0039062	0,0039062

IIR-Filter mit Koeffizienten  $a_0$ ,  $a_1 = 0,5$  und  $b_1 = -0,5$

signal eines IIR-Filters phasenneutral zu gestalten. Dies ist jedoch in der Praxis nur bei der Offline-Berechnung einer Audiodatei und nicht bei laufender Modulation möglich. Nachdem die gesamte Datei das Filter von vorn nach hinten durchlaufen hat, muss dies noch einmal rückwärts vollzogen werden. Nehmen wir an, dass das zu berechnende Material 10 Samples lang ist, würde der erste Durchgang somit von Sample 1, 2, 3, bis 10 ablaufen, wohingegen der zweite Durchgang von Sample 10, 9, 8 bis 1 vollzogen wird. Das Resultat wäre ein in der Frequenzebene zum einfachen Durchlauf identisches, jedoch in der Phasenlage neutralisiertes Ergebnis. Leider kann dies nicht manuell durch Umkehren der Datei und nochmaliges durchrechnen simuliert werden, da das Filter noch immer von Eingang zu Ausgang durchlaufen wird und nicht rückwärts. Könnte man einer Anwendung jedoch das Kommando geben eine Datei rückwärts von Ausgang zu Eingang zu berechnen, dann wäre es

möglich jedes beliebige Filterergebnis linearphasig zu machen. Haben Sie schon einmal ihr Lieblingsfilter als linearphasige Version gehört? Vielleicht könnte man einige DAW-Softwarehersteller oder Plug-In-Programmierer überzeugen, solch eine Funktion in die Offline-Werkzeuge einzufügen? Doch zurück zur Phase einer digitalen Filterung. Der Impulsantwort eines Filters lässt sich direkt entnehmen, ob das Filter Phasenverschiebungen verursacht, eine Nullphase besitzt (also die Phase von oberer bis unterer Grenzfrequenz immer den Wert Null Grad einnimmt) oder sich linearphasig verhält (Das heißt, die Phase verläuft linear zwischen oberer und unterer Grenzfrequenz. Es ist dabei irrelevant, bei welchem Absolutwert sie beginnt oder endet, denn es hat zur Folge, dass die Verschiebung über alle Frequenzen gleich stark ist und somit keine Rolle spielt). Die Impulsantwort eines die Phase verzerrenden IIR-Filters ist daran zu erkennen, dass es keine Mittelachse gibt, zu der sie sich sym-

**FOR-TUNE**

Vertrieb für professionelle Studiotechnik • Kruppenackerstr. 218 • D-73733 Esslingen/Neckar

**Damit jede Silbe sitzt**

ADR CONTROL

TANGO SMARTCONSOLE

Tel.: 0711-46915185 • Fax: 0711-46915187 • <http://www.for-tune.de>

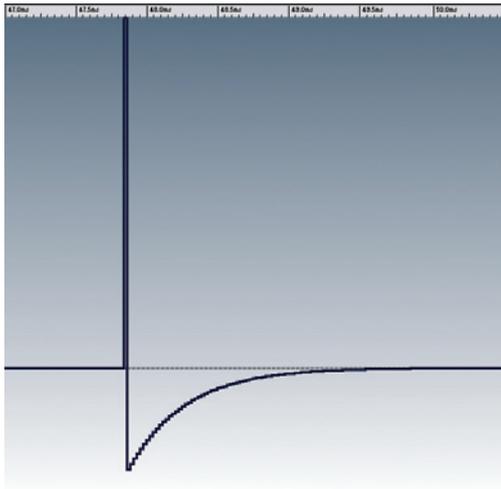


Abbildung 7: Unsymmetrische Impulsantwort eines IIR-Filters

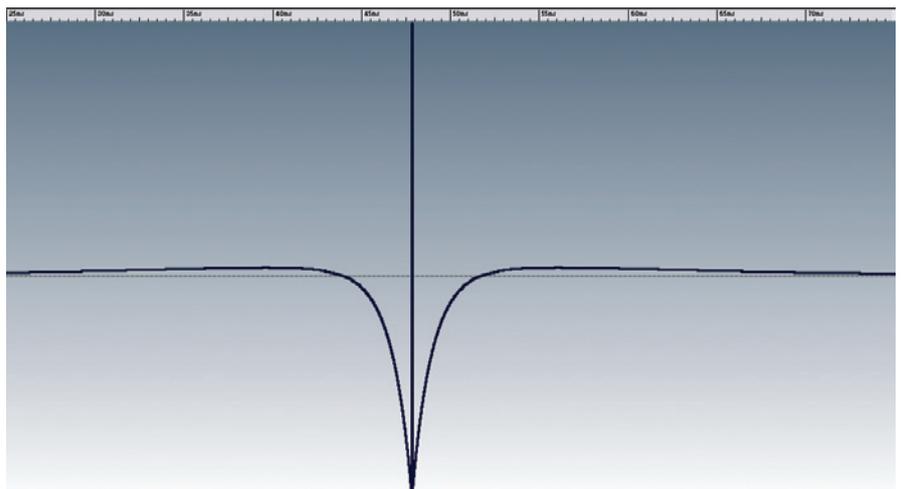


Abbildung 8: Symmetrische Impulsantwort eines FIR-Filters

metrisch verhalten könnte. Abbildung 7 zeigt deutlich den Impuls mit dem Ausschwingverhalten eines einfachen Hochpassfilters niedriger Ordnung. Symmetrie ist hier nicht zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist in Abbildung 8 sichtbar, dass der Bereich vor dem Impuls die symmetrische Spiegelung des Bereiches dahinter darstellt. Dieses Filter wird sich phasenneutral verhalten.

## FIR

Aber auch, wenn sich FIR-Filter in der Praxis vor allem durch ihre Phasenneutralität auszeichnen, muss diese nicht zwingend gegeben sein. Im Gegenteil ist es möglich mit FIR-Filtern jedes beliebige Phasenverhalten zu erzeugen. Dies hat bei den meisten Anwendungen im Audibereich jedoch keine Relevanz. Der Unterschied zur IIR-Filterung wird bereits im Namen dieser zweiten Digital-Filterart deutlich. Die Abkürzung steht hier für eine garantiert endliche Impulsantwort, also eine ‚Finite Impulse Response‘. Dies wird normalerweise dadurch realisiert, dass das Filterdesign keinerlei Rückkopplungen in der Verschaltung kennt (Ausnahmen bestätigen hier wie immer die Regel). Das System kann daher nicht in Oszillation geraten und wird außerdem niemals instabil. Seine Impulsantwort ist genau in den Filterkoeffizienten definiert und umfasst oft viele hundert oder gar tausend Samples. Man erkaufte diese Vorteile damit, dass FIR-Filter eine vergleichsweise hohe Durchlaufzeit besitzen. Ihr Einsatz in zeitkritischen Anwendungen ist daher nur eingeschränkt möglich. Die Durchlaufzeit eines FIR-Filters richtet sich nach seiner Ordnung. Doch auch hier ergibt sich ein wichtiger Unterschied. Bei analogen und IIR-Filtern entspricht eine Ordnung einer Flankensteilheit von etwa 6 dB. Dies trifft auf FIR-Filter nicht zu. Hier müssen Filter von zwei- bis vierstelliger

Ordnung eingesetzt werden, um die gleiche Flankensteilheit und vergleichbare Kurvenformen zu realisieren. Theoretisch gibt es hierfür keine Grenze und so können FIR-Filter gigantischer Ordnungen entworfen werden, die sehr steile Filterflanken berechnen können. Pro erhöhter Filterordnung wird das Ausgangssignal jedoch auch stärker verzögert. Das bedeutet, dass ein Filter mit einem zum Beispiel 512 Samples (ein häufig genutzter Wert) langen Filterkern auf einem nicht sehr leistungsfähigen Prozessor mehrere hundert Millisekunden benötigen kann, um die Faltung des Signal zu berechnen und am Ausgang auszugeben. Die Berechnung eines FIR-Filters läuft über die sogenannte ‚Diskrete Fourier-Transformation‘, abgekürzt DFT ab. Hier haben wir es wieder mit einem der Toningenieur fressenden Monster aus der ‚Mathehöhle‘ zu tun und deshalb soll es nur theoretisch betrachtet und nicht in seinem Formelwahn erfasst werden. Dabei wird bei der DFT das Signal aus der Zeitebene in die Frequenzebene verrechnet und mit dem Eingangssignal gefaltet. Der Ausgang zeigt das gesuchte Filterergebnis, mit den gewünschten Frequenz- und Phasengangparametern. Diese Form der Berechnung hat neben dem Hauptnachteil der hohen Rechenzeit den weiteren Nebeneffekt, dass es zu relativ starken Rundungsfehlern kommen kann. Als Alternative bietet sich die schnelle Fourier-Transformation, die sogenannte FFT, an. Hierbei wird das Signal zunächst in mehrere Spektralbereiche zerlegt, die parallel transformiert werden können. Dadurch werden die Berechnungszeiten im Verhältnis drastisch reduziert und es ergeben sich weniger kritische Rundungsfehler. Ein FIR-Filter mit FFT hat in der Praxis, bei einfachen Samplerrates von 44,1 oder 48 kHz, Latenzen zwischen 10 und 40 Millisekunden, was in vielen Anwendungen tolerierbar ist. Bei doppelten oder vierfachen Samplerrates verringern sich die Latenzzeiten entsprechend. An die weni-

---

---

ge Samples dauernde Rechenzeit eines IIR kann ein FIR-Filter allerdings schon rein theoretisch nicht heran reichen, egal wie schnell Computer in der Zukunft rechnen können werden. Um die Filtereigenschaften, wie Flankensteilheit oder Dämpfung (aber nie beides gleichzeitig) eines FIR zu verbessern, kann eine Technik genutzt werden, die als Fensterfunktion oder Windowing bezeichnet wird. Sie stellt eine Gewichtung der Impulsantwort dar und gestaltet den Filterkern so um, dass er zum Beispiel mit einer besseren Dämpfung arbeiten kann. Die Form dieser Gewichtungskurven ist dabei, ebenso wie der Filterkern, symmetrisch gestaltet, um die Phasenneutralität zu erhalten. Die Form der beiden Schenkel kann in vielen Variationen vorliegen, die fast alle nach ihren Entwicklern benannt sind. Zu den bekanntesten gehören das Blackman-, Blackman-Harris-, Hamming- und Kaiser-Window. Die Fensterfunktion hat jedoch noch eine andere Aufgabe. Wenn die gewünschte Frequenzkurve eines Filters mit Hilfe der inversen Fouriertransformation in eine Impulsantwort umgerechnet wird, so ist diese zunächst (theoretisch) unendlich lang. Die Fensterfunktion dient nun dazu, diese Impulsantwort auf den gewünschten Ausschnitt (zum Beispiel 512 oder 1024 Samples) zu begrenzen und zu beiden Enden auszublenzen.

## Oder eben ohne

---

In der Welt der Mathematik und Physik kommt man nicht darum herum, dass eine Funktion einen theoretischen Unterbau hat. Aber man muss einen Algorithmus nicht zwingend direkt integrieren, sondern es gibt noch einen anderen Weg. Dieser wird vor allem genutzt, wenn es darum geht analoge Systeme zu simulieren. Es hat sich zum Trend entwickelt, Software nach analogen Vorbildern zu modellieren, die oft in der Kategorie „Vintage-Equipment“ einzuordnen sind. Die Herangehensweise kann dabei sehr konkret am Vorbild orientiert sein. Hierzu werden digitale Modelle von einzelnen Elektronikbausteinen anhand der analogen Schaltungslayouts verknüpft. Diese müssen natürlich zunächst von irrelevanten Komponenten bereinigt werden, denn es macht wenig Sinn zum Beispiel Spannungsstabilisatoren eines Netzteils zu simulieren. Der Vorteil dabei ergibt sich dahingehend, dass die spezifischen, oft durch Schaltungsfehler entstandenen Eigenschaften analoger Filterschaltungen übertragen werden können. So können gegebenenfalls Nichtlinearitäten, Sättigungseffekte oder Unregelmäßigkeiten, wie etwa unsymmetrische Filterkurven, ähnlich ihrer analogen Vorbilder auftreten. Eine weitere Möglichkeit bietet die komplexe Faltung mit Impulsantworten, die durch die Originalgeräte gewonnen wurden. Bei Software kann dieser Vor-

gang relativ einfach über einen Sprung oder eine Delta-Funktion am Eingang des zu messenden Systems und die resultierende Impulsantwort gewonnen werden. Bei analogen Geräten sollte die Impulsantwort eher über leichter realisierbare Messsignale gewonnen werden. Die Verzerrungen einer Delta-Funktion durch die D/A-Wandler des Messsystems wären so stark, dass die Messung nicht die erforderte Präzision erreichen würde. Durch die Verwendung von Sweeps oder anderen Signalen können die Fehler in der Impulsantwort minimiert werden. Das Problem liegt jedoch darin, dass ein Gerät mit mehreren Parametern sowohl mit allen möglichen Einstellungskombinationen, als auch mit vielen Dynamikstufen gesampelt werden muss. Hier werden die Grenzen der Faltung deutlich, denn es ist nicht möglich alle dynamischen Stufen eines komplexen Systems zu einhundert Prozent in Impulsantworten zu erfassen. Die Ergebnisse können jedoch dennoch durchaus erstaunlich sein und in der praktischen Anwendung zumindest eine Alternative bilden. Ein Beispiel für diese komplexe Faltung bildet zum Beispiel das ‚Liquid‘-System von Focusrite. Hier wird die als ‚dynamic convolution‘ bezeichnete Faltung verwendet, welche eine Überblendung zwischen verschiedenen Impulsantworten unterschiedlicher Dynamikstufen darstellt. Sättigungseffekte bleiben jedoch auch bei diesem System statisch, was von Profis mit goldenen Ohren und viel Erfahrung mit dem Verhalten der ‚Originalgeräte‘ durchaus wahrgenommen werden kann. Bei dieser komplexen Faltung bleibt das bereits beschriebene Problem bestehen, dass sie eine relativ lange Zeit benötigt. Dieses Verfahren kann daher nur in Latenz kompensierten Systemen und dann nur in Situationen die eine gewisse Latenz gestatten, eingesetzt werden. In Frage kommen etwa die Mischphase oder Aufnahmen, bei denen der Mix nicht durch den Computer hindurch gewonnen werden muss.

Der Einsatz schneller Filter hat also große Vorteile. Da einige Hersteller jedoch auch bei schnellen Filtern nicht auf den Marketingvorteil von ‚nachgebildeten Analogsystemen‘ als Plug-In verzichten möchten, gehen sie einen weiteren Weg und kombinieren relativ einfache IIR-Algorithmen mit Generatoren, die dem Ausgang analoge Artefakte zu mischen. Diese können im einfachsten Fall Rauschen sein. Ausgeklügeltere Implementierungen verwenden eine Verzerrstufe um dem Ausgang Harmonische hinzuzufügen, die sich dynamisch dem Eingangssignal anpassen. Hierdurch werden solche Systeme in einem gewissen Maße klanglich ‚analoger‘. Solche Obertongeneratoren sind nicht unbedingt leicht zu implementieren und können, gut umgesetzt, sehr realistische Ergebnisse erzeugen. Letztendlich spielt es keine Rolle, ob ein Filter Obertöne während des eigentlichen Filtervorgangs erzeugt oder diese später realitätsnah hinzugefügt werden. Eine exakte Nachbildung

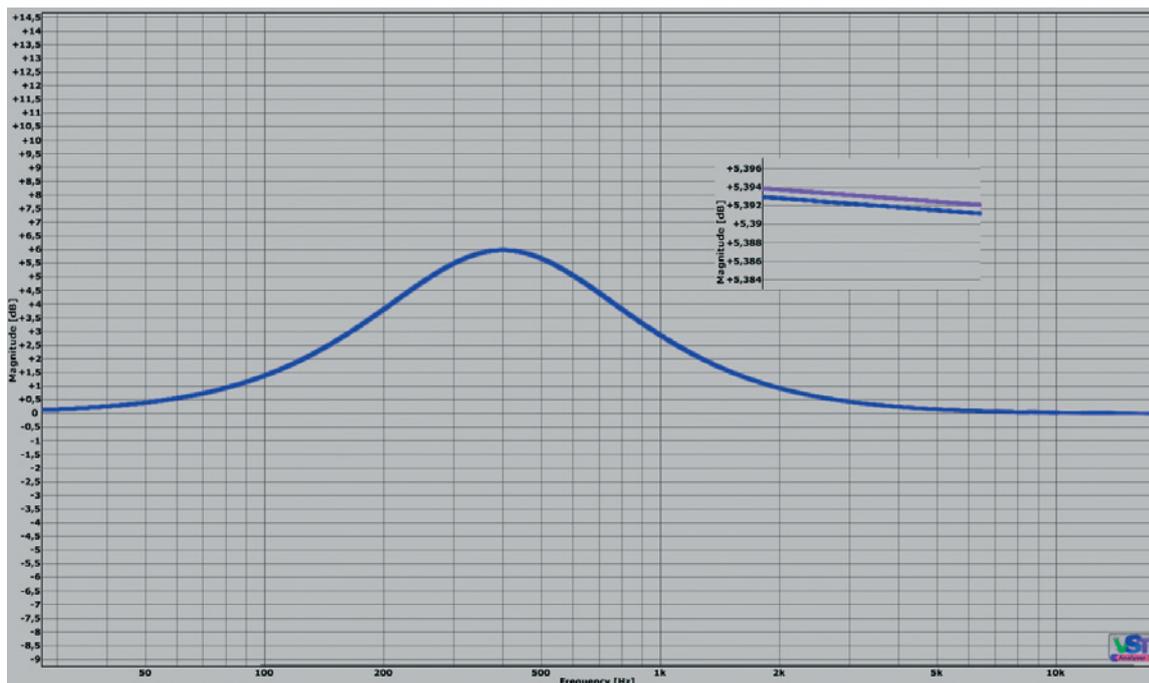
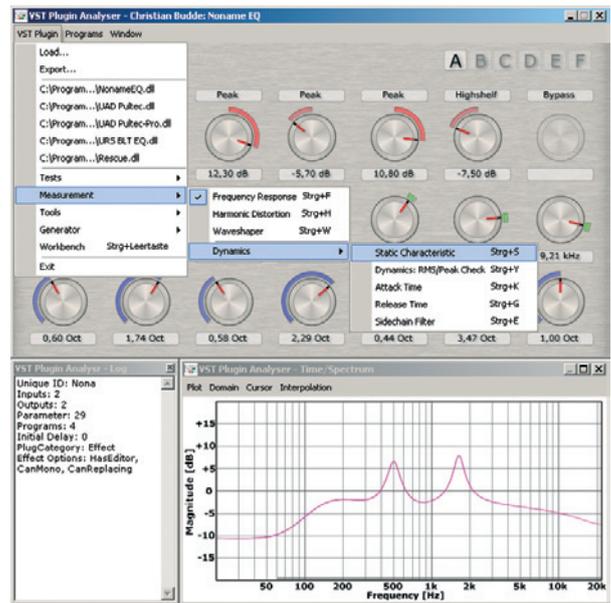


Abbildung 9: Abgegliche Frequenzkurven zweier Filter-Plugins. Durchschnittliche Abweichung: 0,002dB

aller Artefakte der Originalschaltungen können sie jedoch nicht bieten. Sind keine solche ‚Analoggeneratoren‘ im Signalweg vorhanden oder können ausgeschaltet werden, wird erstaunlich deutlich, wie wenig sich die meisten Filter-Plug-Ins unterscheiden. Den Extremfall stellt dabei die Tatsache dar, dass es uns mit Hilfe eines FFT-Analyzers gelungen ist, die Filterkurven zweier unterschiedlicher, kommerzieller Plug-Ins so genau aufeinander anzupassen, dass sich die Ausgänge bei Summierung mit gegensätzlicher Polarität vollständig auslöschten. Andere Kombinationen lieferten Rauschen und Artefakte, die durch unterschiedliche Rechen-tiefen entstehen können. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die meisten Filter mit einem sehr flexiblen IIR-Universalfilter nachgebaut werden können. Diese Feststellung soll jedoch keinen Pranger für etwaige Plug-Ins darstellen! Letztendlich gibt es nur sehr wenige IIR-Filterformen, die im Audibereich genutzt werden können. Diese weisen, egal wie sie programmiertechnisch umgesetzt wurden, identische Amplituden- und Phasenfrequenzgänge auf und können somit gegeneinander ausgetauscht werden. Die Befreiung von diesem Problem liegt für den Programmierer wie bereits erwähnt in der Verwendung von FIR-Filtern, die in ihren Eigenschaft fast vollständig frei bestimmt werden können – auf Kosten der benötigten Rechenzeit. Der einzig kritische Schluss aus dieser Feststellung zeigt, dass es manchmal zu genügen scheint, ein besonders schönes Bild der Originalhardware als grafische Bedienoberfläche zu gestalten, um den Nutzer vom Klangeindruck der Software zu überzeugen. Solch schwarze Schafe bilden jedoch

die Ausnahme oder finden sich im Hobby- und Freewarebereich. Doch auch dies klingt nach einem härteren Vorwurf, als er wirklich stehen bleiben kann und soll. Denn es spielen noch andere Faktoren eine Rolle, die ein bestimmtes Plug-In bei identischem Unterbau zu einem besseren Werkzeug werden lassen können. Hierzu zählt zum Beispiel die Ergonomie der Bedienoberfläche. Ist diese besonders bedienerfreundlich gestaltet, kann es sein, dass der Anwender schneller zum klanglichen Ziel kommt, als bei einem gleichen Filter mit schlechterer Steuerung. Außerdem gefallen in manchen Fällen die bereits erwähnten Sättigungs- und Artefaktgeneratoren, die ebenfalls einen Einfluss auf das resultierende Klangbild haben. Manchmal können diese sogar die entscheidendere Ursache für guten Klang sein, als die eigentliche Filterung. Ein einfaches Filter mit einem gut ausgeführten Sättigungsalgorithmus kann vielleicht besser klingen als eine komplexe Simulation von analogen Schaltkreisen, die nicht gut ausgearbeitet wurde. Weiterhin besteht ein wichtiger Unterschied zwischen möglicherweise gleich arbeitenden Implementierungen in der benötigten Rechenleistung. Vor allem bei nicht ganz brandneuen Computern kann es sinnvoll sein ein, Filter-Plug-In zu erwerben, das besonders wenig Rechenleistung aus dem System zieht. Diese sind bei gleicher Qualität jedoch komplizierter zu entwickeln und zu realisieren, womit sich ein höherer Verkaufspreis durchaus rechtfertigen lässt. Als letzter Punkt bleibt die Selbst-Suggestion. Es ist wissenschaftlich schwer zu rechtfertigen, aber manchmal genügt die reine Überzeugung, dass etwas besser klingt, um das Endergeb-

nis – real – besser klingen zu lassen. Ein Anwender, der ein Filter mit besonderer Begeisterung bedient, kommt manchmal zu einem besseren Ergebnis, als wenn er ein vermeintlich schlechteres Filter für die gleiche Anwendung nutzt. Allein die mentale Einstellung kann Menschen dazu bringen, präziser nach einem guten Ergebnis zu suchen oder im anderen Fall mit dem Vorurteil, dass das doch sowieso nichts wird mit dem Ding‘ gegebenenfalls schlechtere Ergebnisse hinzunehmen und als notwendiges Übel der ‚schlechten Technik‘ darzustellen. Diese Voraussetzung ist eine der vielen Ursachen für die Subjektivität der musikalischen Wahrnehmung auf allen Gebieten der Audiotechnik und kann als menschliche Schwäche schwer verurteilt werden. Diese verschiedenen Argumente sollen jedoch nur die Nutzung mehrerer, gleichwertiger Plug-Ins rechtfertigen. Keinesfalls sollen sie schlechte Filter-Plug-Ins in Schutz nehmen! Wir möchten unsere Leser daher zur Besonnenheit aufrufen. Prüfen Sie vor einer Kaufentscheidung ruhig einmal, ob Sie ein Filter wirklich benötigen oder ob es sich in seiner Anwendung vielleicht nur durch unterschiedliche Wertangaben von einem anderen Filter unterscheidet. Vielleicht ist eine gewünschte Anwendung bereits durch eines Ihrer bestehenden Filter abgedeckt, ohne dass Sie davon wüssten. Als Hilfe können Sie den VST-Analyzer von Christian-W. Budde kostenlos von dessen Website herunterladen. Die Adresse finden Sie am Ende des Artikels. Dort können Sie beliebige VST-Plug-Ins auf verschiedene Parameter untersuchen. Erstellen Sie eine oft genutzte Kurvenform an Ihrem Lieblings-Filter-Plug-In und speichern Sie diese als Preset ab. Nun laden Sie ein anderes Filter-Plug-In in die Anwendung und versuchen Sie, die Parameter so genau wie möglich anhand der Frequenzkurve abzugleichen. Sie werden vielleicht überrascht sein, dass die Regler in manchen Fällen auf sehr unterschiedliche Werte gestellt werden müssen um die Kurven genau abzugleichen. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel, wie nah die Kurven zweier Filter aufeinander angepasst werden können, obwohl beide von gänzlich unterschiedlichen Herstellern entwickelt wurden. Lassen Sie nun beide Plug-Ins mit den entsprechenden Presets in eine Kopie des gleichen Audiomaterials einrechnen oder laden Sie sie als Insert in den jeweiligen Mischpultkanal. Hören Sie sich die Unterschiede, am besten in einem Blindtest, an und entscheiden Sie anschließend neutral, ob Sie wirklich einen Unterschied wahrnehmen konnten. Es gibt auch noch eine Extremform, die allerdings nur bei wenigen Plug-Ins wirklich funktioniert. Mischen Sie hierzu beide Ausgänge zusammen und invertieren Sie auf einer der Spuren die Polarität. Sollten beide Plug-Ins wirklich die gleichen theoretischen Rechen-

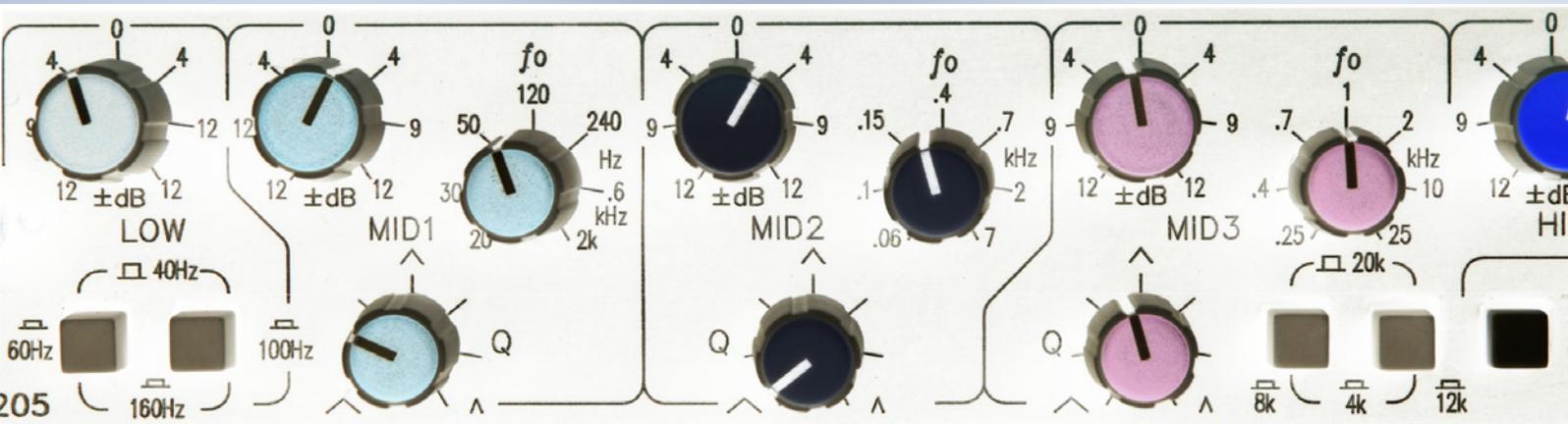


Christian Buddes VST-Analyzer

grundlagen verwenden, werden sich beide Signale vollständig auslöschen. Wichtig ist, dass Sie die beiden Dateien samplegenau anlegen. Achten Sie sehr genau darauf, da manche Plug-Ins das Signal um wenige Samples verzögern und dies dem Latenzgleich ihrer Audiosoftware entgehen könnte. Der Grund, warum das Auslöschen bei vielen Plug-Ins nicht vollständig gelingt, liegt oft nicht darin, dass sich die Filter unterscheiden, sondern dass sich nicht alle Parameter bei allen Plug-Ins genügend präzise einstellen lassen. Auch dies kann somit ein Unterscheidungsmerkmal sein.

## Abspann

Letztlich bleibt als vollständig befriedigende Lösung für analogen Klangcharakter und garantiert individuelle Filter nur der Rückgriff auf eine echte, analoge Schaltung. Wer hätte das gedacht... In Sachen Präzision, Steilheit und Betrag der Absenkung, sowie ihrem Phasenverhalten sind digitale Filter jedoch nicht zu schlagen und wenn wir ehrlich sind, kommen einige Emulationen ihren Vorbild erstaunlich nahe. Damit kommen wir zum Ende unseres zweiten Teils. Hoffentlich konnten Sie Einblicke gewinnen, die Ihnen bisher noch nicht bekannt waren. Im Verlauf der Arbeit an diesem Artikel haben sich noch viele weitere Aspekte von Filtern ergeben, die uns dazu bewogen haben, einen dritten Teil zu verfassen. Sie können also gespannt bleiben, in der nächsten Folge springen wir nochmals in die Wellen der Filtertechnik. Bis dahin bleiben Sie uns bitte gewogen. Schreiben Sie bei Fragen und Anregungen eine E-Mail an [friedemann@studio-magazin.de](mailto:friedemann@studio-magazin.de)



Friedemann Kootz, Abbildungen: Friedemann Kootz

# Filtertechnik Teil 3

## Hintergrundbetrachtung zu analogen und digitalen Equalizern – 2009

Willkommen zum dritten Teil unserer Serie, die einen kleinen Einblick in die Technik hinter analogen und digitalen Filtertechnologien bieten soll. Wir sind uns bewusst, dass wir Ihnen zum Teil harten Tobak auftischen mussten, hoffen jedoch trotzdem, dass Sie für sich daraus etwas gewinnen konnten. Manchmal ist es recht hilfreich, wenn man zumindest grundlegend versteht, was in den Geräten und Programmen geschieht, die man tagtäglich benutzt. In diesem dritten und letzten Teil soll es nun um ein Phänomen gehen, das jedem in der täglichen Arbeit begegnet, aber von den wenigsten Anwendern bisher überhaupt bemerkt wurde. Warum also sollte man überhaupt darüber nachdenken? Manchmal kann es eben sinnvoll sein, durch kleine Anpassungen im Arbeitsalltag das Ergebnis zu verbessern - und danach streben wir doch alle, oder?! Bevor es nun jedoch los geht, möchte ich dieses Mal nicht versäumen, Sie am Anfang des Artikels zum Durchhalten zu motivieren! Zwar wird auch dieses Mal die Mathematik nur eine sehr kleine Nebenrolle spielen, aber trotzdem muss man sich erst einmal durchbeißen. Guten Appetit!

---

## Das Problem

---

Die in der praktischen Arbeit am meisten genutzte Filteranwendung ist das Absenken tiefer Frequenzbereiche. Dies kann in den einzelnen Kanälen geschehen, um etwa Trittschall zu entfernen, oder aber auch in Summen und Gruppen, um Dynamikprozessoren präziser arbeiten zu lassen. Manchmal ist es sogar im Mastering notwendig, mit einem steilen Filter in das Endprodukt einzugreifen, um tieffrequente Störungen zu entfernen oder ein Signal für den Vinylschnitt vorzubereiten. Dummerweise weist ausgerechnet die Tiefenabsenkung über Tiefensperren oder auch Kuhschwanzfilter ein Problem besonders stark auf, welches in einigen Fällen zu Problemen führen kann: Der Gesamtpegel des Filterausgangs liegt über dem des Filtereingangs. Dieses Problem scheint auf den ersten und vielleicht sogar zweiten Blick vollkommen unlogisch. Denn warum sollte ein Signal, welches weniger Spektralanteile aufweist, lauter sein als das gleiche Signal vor der Filterung, wo es unbearbeitet auch mehr Energie enthält? Das Problem taucht hin und wieder in Audio-Internetforen auf und wird jedes Mal auf hilflose Art und Weise über bekannte Filtereigenschaften erklärt. Überschwinger der Filterfrequenzkurve, sogenanntes Ripple, sind dabei meist der Ansatz, mit dem sich die Fragergemeinschaft zufrieden gibt.

Abgesehen davon, dass die meisten im Audibereich genutzten Filter keine Überschwinger im Frequenzgang verursachen, möchten wir Ihnen gleich zu Beginn mitteilen: Hier liegt die Ursache nicht. Die Anhebung des Gesamtpegels geschieht ohne Veränderung des Spektrums (natürlich von der gewünschten Filterwirkung abgesehen) und hat bestimmte Eigenschaften, die zwar immer auf das Signal wirken, jedoch nur bei spezifischen Signalen relevant werden. Um den Einfluss von Filter-Ripple im Frequenzgang als Ursache auszuschließen, wurde von uns ein Rauschsignal mit einem simulierten Ripple von  $\pm 2$  dB versetzt. Im Ergebnis konnten wir unter realistischen Bedingungen keine Auswirkung oberhalb von 0,1 dB erreichen. Selbst diese Veränderung war bereits schwierig zu verursachen, da sich der Energiegewinn durch die Anhebungen mit den Absenkungen in den Tälern der Filterung weitgehend aufhebt. Ein theoretischer, ideal ausschwingender Ripple würde überhaupt keine Änderung des Gesamtpegels verursachen. Der Unterschied im Ausgangspegel ist in der Praxis somit so gering, dass er als Ursache für das beschriebene Problem nicht in Frage kommt.

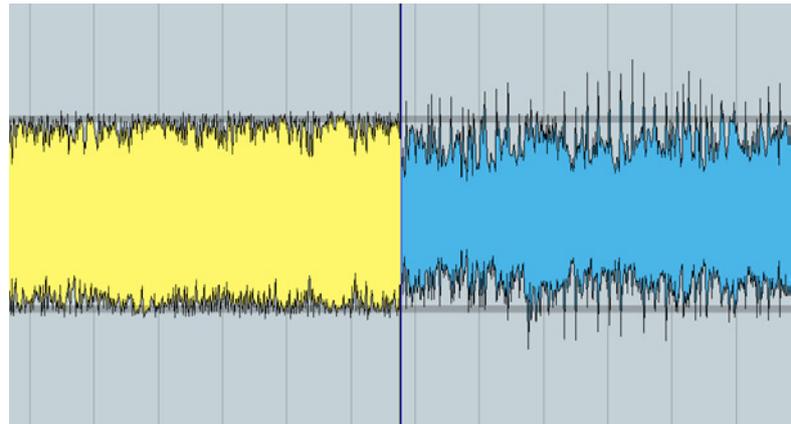


Abbildung 1: Rockmusik (2007) gelb Original, blau gefiltert mit 173Hz Hochpass

---

## en detail

---

Um das Phänomen jedoch genauer zu analysieren, sollte zunächst geklärt sein, was eigentlich genau das Problem ist. In Abbildung 1 ist ein kurzer Ausschnitt aus einem von CD importierten Musikstück zu sehen. Es handelt sich um moderne Rockmusik aus dem Jahr 2007, welche sich auf dem heute leider üblichen Lautheitsniveau bewegt. Die gelbe Wellenform zeigt die unbearbeitete Originalversion. Die blaue Wellenform wurde nicht von Hand in ihrem Pegel verändert - es wurde lediglich eine einfache Tiefensperre mit einer Ansatzfrequenz von 173 Hz (zufällig gewählt) eingerechnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Wellenformspitzen deutlich über denen des Originals befinden. Dieser Effekt kann prinzipiell mit den meisten Filtern (Hochpass, Tiefpass, Bandpass, Bandsperre etc.) verursacht werden. Dabei ist es fast egal, welche Eingriffe vorgenommen werden, auch wenn die Stärke des Effekts je nach Filtertyp variiert und manchmal kaum Einfluss auf das Ergebnis hat. Es ist nicht schwer, die Problematik dieses Verhaltens zu erkennen: Wird ein Filter in einen Audiosignalweg geschaltet, dessen Spitzen bereits vorher bis 0 dBFS reichen, so wird der Ausgang des Filters eventuell übersteuert. Da die Pegelanhebung nach unseren Messungen bis zu 6 dB betragen kann, müssen dies nicht nur vereinzelte Clippings sein, sondern es können sehr gravierende Übersteuerungen auftreten. Unabhängig von ihrer Intensität sollten digitale Übersteuerungen, zum Beispiel des D/A-Wandlers, natürlich in jedem Fall vermieden werden. Aber nicht nur Wandler sind gefährdet, überfahren zu werden, auch bei der digitalen Übertragung muss auf die Obergrenze von 0 dBFS genauestens geachtet werden. Wie stark der Pegel hinter einem Filter ansteigt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Einer davon ist die Filterkurve selbst. Ein Butterworth-Filter mit seiner sehr lange neu-



Abbildung 2: Sprungantwort Hochpassfilter erster Ordnung, steigende Flanke

tral verlaufenden Kurve und relativ scharfem Abknick in den Sperrbereich verursacht den Pegelanstieg stärker als zum Beispiel ein Bessel-Filter mit seiner sehr weich in den Durchlassbereich auslaufenden Kurve. Außerdem sind Cut-Filter am stärksten von der Problematik betroffen, gerade weil ihre Anwendung oft an kritischen Positionen notwendig wird. Vor allem bei Filteranhebungen wird das Problem nicht bemerkt, da es ohnehin einen gewollten Pegelhub am Ausgang gibt, der den zusätzlichen Hub maskiert. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Steilheit der Filterkurve, also die sogenannte Filterordnung. Je steiler die Kurve, desto stärker sind die Einflüsse auf den Ausgang des Filters. Zu diesem speziellen Punkt kommen wir weiter unten gesondert. Als letztes bleibt natürlich noch die Ansatzfrequenz. Mit einem einfachen Tiefenfilter konnten wir experimentell eine Grenzfrequenz beziehungsweise einen Grenzbereich beobachten, bis zu dem der Pegel anstieg. Bei dessen Überschreitung war der Gesamtpegel wieder rückläufig. Ab diesem Punkt heben sich wahrscheinlich das beobachtete Phänomen und der Energieverlust durch die Filterung auf und das Ergebnis sieht wieder ‚erwartungsgemäß‘ aus.

## Sprungverschiebung

Genau genommen gibt es drei Ursachen für dieses Phänomen, die in unterschiedlicher Gewichtung für den Pegelhub am Ausgang verschiedener Filter verantwortlich sind. Welche jeweils als Hauptursache in Betracht kommt, hängt von der jeweils verwendeten Filterart ab; es müs-

sen auch nicht in jedem Fall alle drei Effekte zusammen auftreten. Die wichtigste Rolle bei Hochpassfiltern scheint ein Verhalten zu spielen, welches wir in Ermangelung eines vorhandenen Fachwortes als ‚Sprungrückung‘ bezeichnen möchten. Zum weiteren Verständnis muss zunächst ein erweiterter Rückblick in den zweiten Teil unserer kleinen Serie zur Filtertechnik erfolgen. Sollen die Eigenschaften eines Filters in seinen technischen Parametern erfasst werden, so geschieht dies am einfachsten über seine Sprungantwort. Die Sprungantwort selber ist keine Eigenschaft des Filters, sondern nur ein Messwert, aus dem die meisten seiner Eigenschaften extrahiert werden können. ‚Zeig mir Deine Sprungantwort und ich sage Dir wer Du bist‘ – das trifft, zu-

Hochpassfilter (1.Ordnung)

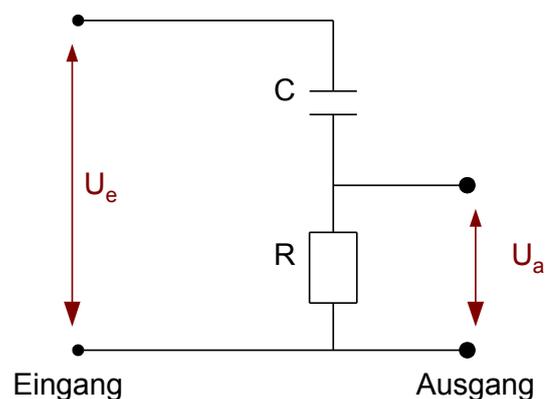


Abbildung 3: CR-Glied in der Schaltungsform eines Hochpassfilter erster Ordnung

mindest auf Filter, wirklich zu. Hierzu wird ein Sprung auf den Eingang des Filters gegeben und seine Reaktion am Ausgang gemessen. Dieser Sprung kann zum Beispiel das Einschalten einer Spannung sein. Etwa ein Sprung von 0 V auf +1 V. Die Sprungantwort wird dabei umso präziser, je steiler die Flanke des Anstiegs ist. In der digitalen Welt ist es deutlich einfacher, eine annähernd perfekte Flanke zu erzeugen, als dies analog möglich wäre.

Der Vorteil einer Sprungantwort gegenüber der Impulsantwort, aus der im Ergebnis die gleichen Daten gewonnen werden können, liegt darin, dass ein Sprung leichter zu erzeugen ist als ein extrem kurzer Impuls. Aufmerksame Leser der ersten beiden Folgen wissen bereits, dass ein digitales Filter auf derselben mathematischen Grundlage beruht wie ein analoges Filter. Da die Vorgänge in einem analogen Filter jedoch deutlich leichter vorstellbar sind, sollen diese zur Verdeutlichung heran gezogen werden. Abbildung 2 zeigt die Sprungantwort eines einfachen Hochpassfilters erster Ordnung. Betrachtet man dazu die Schaltung, so wäre diese im einfachsten Fall als sogenanntes CR-Glied, also aus einem Kondensator (C) und einem Widerstand (R) bestehend, aufgebaut. Ein solch einfacher Aufbau ist in Abbildung 3 zu sehen. Zum Erzeugen der Sprungantwort wird eine geschaltete Gleichspannung von +1 V verwendet. Da es sich um ein Hochpassfilter handelt und eine Gleichspannung theoretisch betrachtet eine Wechselspannung mit unendlich tiefer Frequenz

darstellt, fällt diese in jedem Fall in den Sperrbereich des Filters, egal wie tief dessen Ansatzfrequenz gewählt wurde. Ein Kondensator besitzt einen frequenzabhängigen Wechselstromwiderstand. Dieser ist abhängig von seiner Kapazität und bestimmt so, zusammen mit dem erwähnten Widerstand, die Grenzfrequenz der Schaltung.

Elektrisch betrachtet geschieht nun Folgendes. Schaltet man den Gleichstrom ein, fließt dieser so lange, bis der Kondensator aufgeladen ist. Ist der Kondensator geladen, sperrt er einen weiteren Stromfluss fast vollständig ab. Dies ist deutlich an der abfallenden Kurve in der Sprungantwort zu erkennen. Theoretisch läuft diese Kurve niemals vollständig auf den Nullpunkt zurück, weshalb diese Filterbauart als Filter mit unendlicher Impulsantwort bezeichnet wird. Dies ist aber für unsere praktische Betrachtung unerheblich. Fakt ist, dass nach einer gewissen Zeit (fast) kein Strom mehr fließen kann. Nutzt man die Fouriertransformation, um den Frequenzgang dieser Sprungantwort zu ermitteln, fällt auf, dass er den klassischen Verlauf eines Hochpassfilters erster Ordnung darstellt. Dies war auch wenig überraschend und ist sehr leicht verstehen, wenn man sich in Erinnerung ruft, dass eine Signalfanke umso steiler wird, je mehr Oberwellen sie enthält. Da das Einschalten einer Gleichspannung genau eine einzige, sehr steile Flanke besitzt, sind für diesen Impuls sehr viele hohe Frequenzanteile vorhanden. Anschließend bleibt nur der konstante Gleichstromfluss vorhanden und es wird verständ-

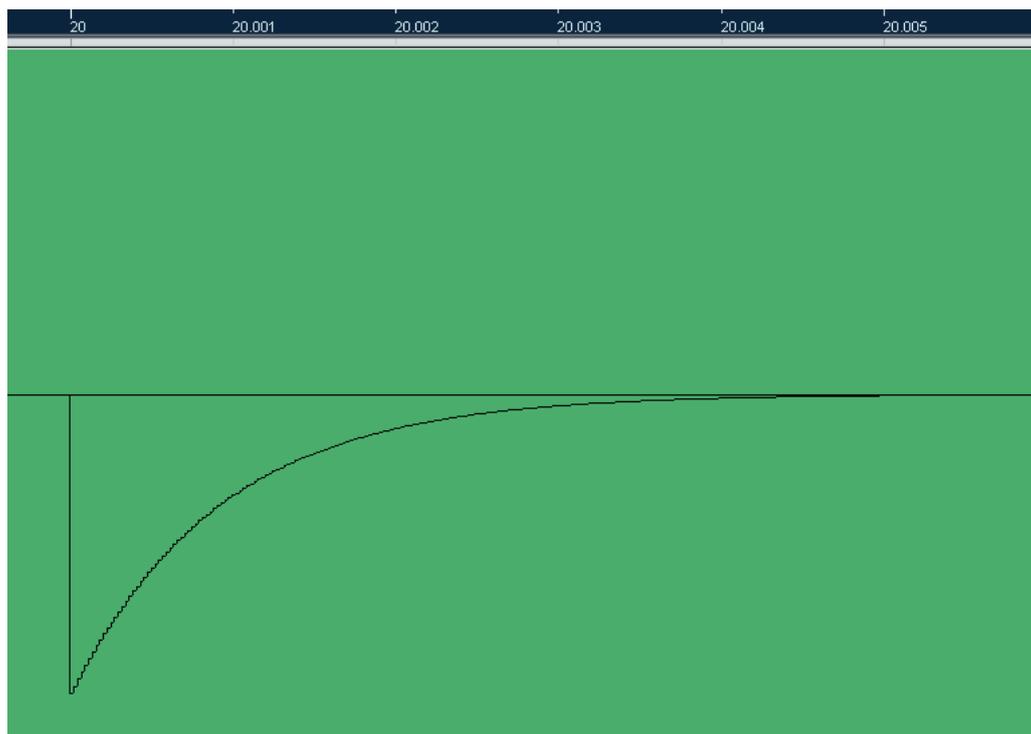


Abbildung 4: Sprungantwort Hochpassfilter erster Ordnung, fallende Flanke

lich, dass nach dem Abklingen dieser Oberwellen nur die Grundwelle mit besagt unendlich tiefer Frequenz vorhanden sein kann. Diese lässt das Filter aber nicht passieren, somit klingt der Impuls ab und der Ausgang des Filters endet bei Null. Der Vollständigkeit halber zeigt Abbildung 4 die Antwort des Filters auf das Ausschalten des Signals. Die Sprungrichtung entscheidet darüber ob die Flanke der Sprungantwort in den Bereich der positiven oder negativen Halbwelle ausschlägt.

Ist dies verstanden, nutzen wir nun im nächsten Schritt ein Signal, dessen Grundton nicht unendlich tief, aber dennoch im Sperrbereich des Filters liegt. Die Flanken sollten die gleiche Steilheit aufweisen wie die des einfachen Sprungs. Diese Eigenschaften treffen auf die Rechteckwelle zu, die im elektrischen Sinne etwa dem zyklischen Ein- und Ausschalten eines Schalters entspricht. Da wir es im Audibereich mit mehr oder weniger symmetrischen Signalen zu tun haben, welche um die Nullachse schwingen, springt das Signal jedoch nicht von 0 auf 1, sondern von -1 auf +1 und umgekehrt. Es handelt sich somit um ein Signal, welches die bereits bekannten Sprungantworten des Filters zyklisch auslöst. Abbildung 5 zeigt das Resultat dieses Durchlaufs mit einer erstaunlichen Feststellung: Der Pegel der einzelnen Signalspitzen hat sich verdoppelt, liegt also um 6 dB über dem des Eingangssignals. Außerdem haben die einzelnen Sprünge ihre Symmetrie verloren.

Mit dieser Feststellung haben wir nun die erste Ursache gefunden. Die Welle hat durch die Filterung einen stark gedämpften Grundton. Zur theoretischen Betrachtung kann angenommen werden, dass der Grundton entfernt wurde. Das bedeutet, dass die Welle keinen statischen Zustand ‚eingeschaltet‘ mehr besitzt. Genau wie bei der Betrachtung mit Gleichstrom wurde der Kondensator beim Durch-

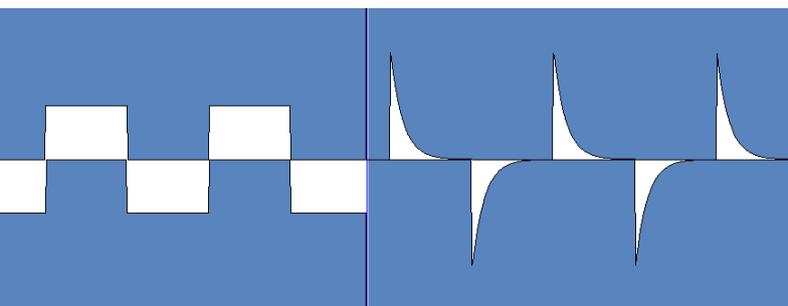


Abbildung 5: Rechteckwelle nach Filterung mit IIR-Tiefpassfilter

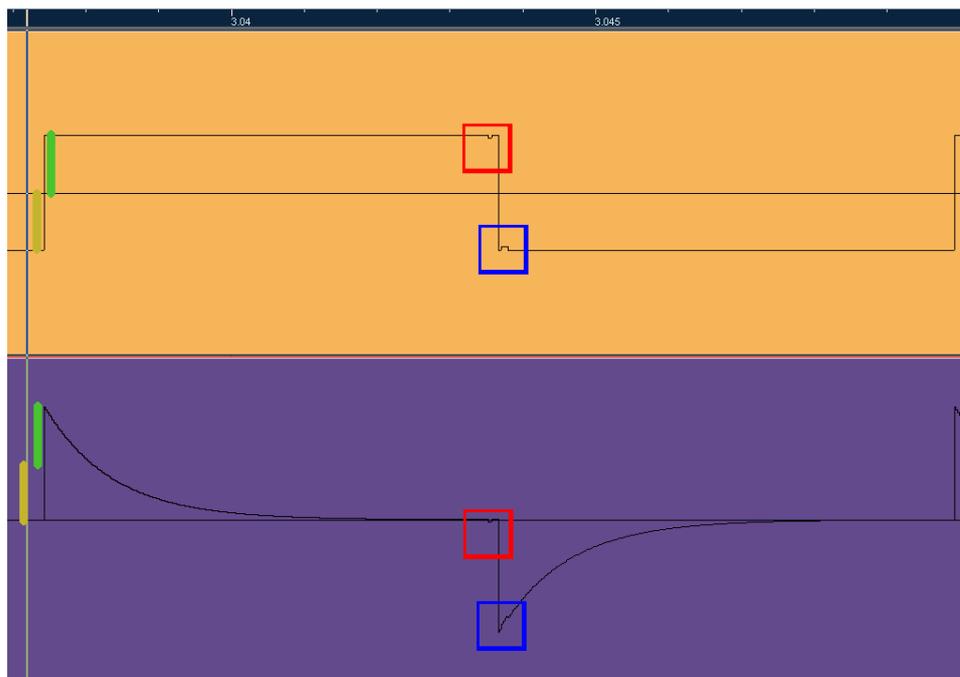


Abbildung 6: Markierte Rechteckwelle vor und nach der Filterung - Die Sprungverschiebung ist deutlich zu erkennen

lauf der Flanke aufgeladen und erlaubt keinen weiteren Stromfluss. Dieses Sperrverhalten wird nur unterbrochen durch die zyklisch auftretenden Flanken, welche aufgrund ihrer spektralen Zusammensetzung im Durchlassbereich des Kondensators liegen und somit (fast) ungehindert zum Ausgang durchlaufen können. Diese Flanken behalten auch nach der Filterung die gleiche, absolute Amplitude. Der Unterschied liegt darin, dass es keinen statischen ‚Gleichstromzustand‘ mehr gibt, von dem der Sprung ausgeht. Der ‚Absprungpunkt‘ wird auf die Nullachse verschoben. Somit wird der Sprung unsymmetrisch in den Bereich der positiven oder negativen Halbwelle, aber dort mit doppelter Amplitude, vollzogen. Ein Beispiel: Hatte die Rechteckwelle vor der Filterung einen Sprung von +1 V auf -1 V, so wird sie nach der Filterung von 0 V auf -2 V springen. Diesen Vorgang bezeichne ich als Sprungverschiebung. Abbildung 6 hilft, dieses Verhalten zu verstehen. Hier wurde eine Periode der Rechteckwelle mit einer ‚Kerbe‘ markiert. Nach der Filterung ist zu erkennen, dass die Flanke ihre Nulldurchgangssymmetrie verloren und sich auf die negative Seite der Halbwellen verschoben hat. Die ‚Kerbe‘ liegt nun am Nulldurchgang an. Dieses Verhalten ist prinzipiell bei allen komplexen Signalen zu beobachten, die ein Filter durchlaufen. In einer komplexen Modulation mit vielen, kurz aufeinander folgenden Flanken ist die Beobachtung natürlich nicht ganz so einfach wie bei einem zyklischen Signal. Abbildung 7 zeigt jedoch auch hier die Verschiebung der Signalspitzen. Manchmal kann es so-

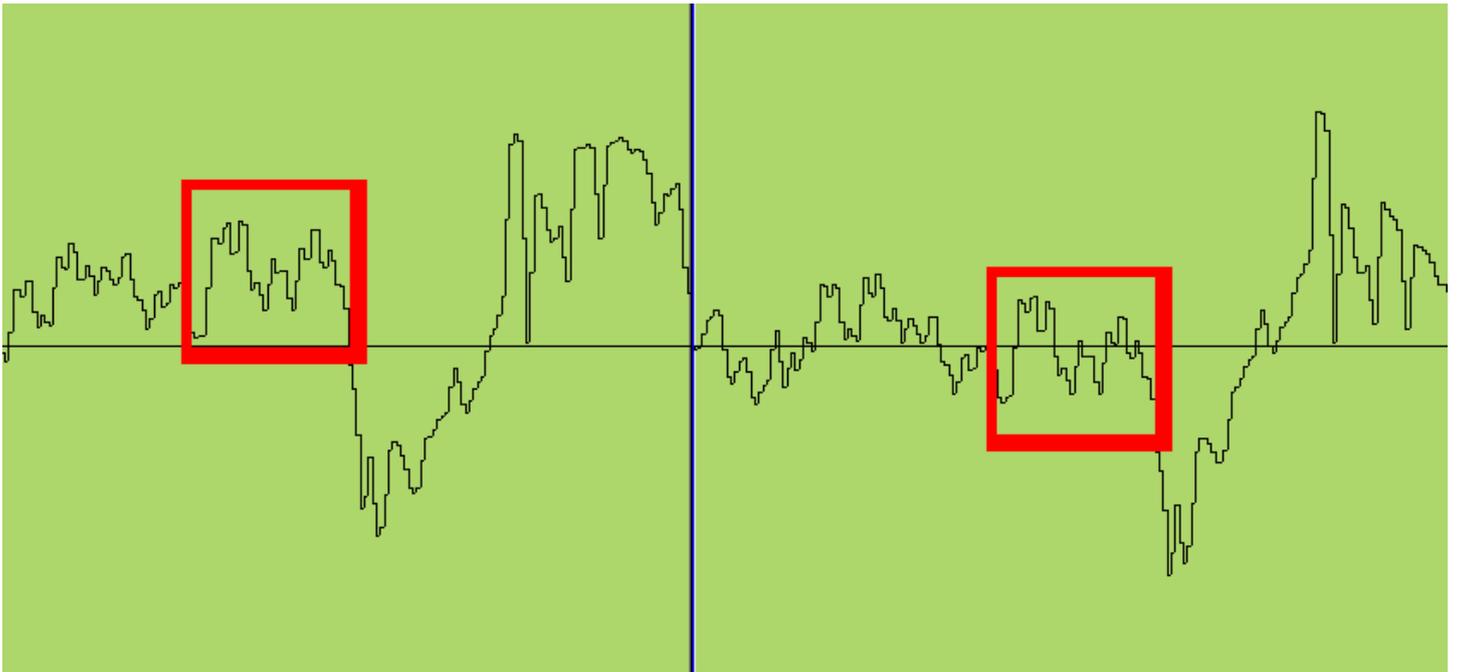


Abbildung 7: Verschiebung von Signalkomponenten nach einer Filterung

gar dazu kommen, dass ein Einbruch in einer Halbwelle so weit über die Nullachse verschoben wird, dass er zu einem Anstieg wird. Dies wäre zum Beispiel bei oben gezeigter ‚Einkerbung‘ der Fall. Natürlich muss bedacht werden, dass sich eine reale Filterung in den seltensten Fällen so stark auswirkt wie hier gezeigt. Real ist die Reaktion des Systems daher meist deutlich geringer als in diesem Experiment, 2 bis 4 dB können jedoch sehr oft beobachtet werden. Diese Sprungverschiebung kann mit dem Entfernen eines statischen Offsets, wie er zum Beispiel in schlechten Soundkarten durch eine überlagerte Gleichspannung (DC-Offset) verursacht wird, verglichen werden. Die Signale am Ausgang weisen durch die Filterung weniger oder keinen DC-Offset auf. Das Problem in der digitalen Welt liegt darin, dass die 0 dBFS-Grenze mit beiden Halbwellen erreicht werden kann. Dem Samplewort ist es also egal, ob das Signal symmetrisch oder einseitig auf 0 dBFS schwingt.

## FIR

Völlig anders verhalten sich Filter, die keinen Einfluss auf den Phasengang des Signals ausüben. In der letzten Folge konnte gezeigt werden, dass sich die Sprungantwort eines phasenstarrten FIR-Filters in einem wichtigen Punkt von der anderer Filter unterscheidet: Sie ist immer symmetrisch. Diese Symmetrie tritt nicht nur um einen zeitlichen Nullpunkt, sondern auch um einen horizontalen Amplitudenwert auf. Die Amplitudensymmetrieachse ist dabei die Nullachse des Signals, denn sonst würde das Filter ei-

nen DC-Offset verursachen. In dieser Symmetrie liegt auch der Grund für die Formbarkeit des Phasenverhaltens eines FIR-Filters. Da beide ‚Seiten‘ der Filterantwort genau gegensätzlich auf die Phase wirken, wird diese in der Summe neutralisiert. Ein FIR muss jedoch nicht phasenneutral arbeiten. Durch unterschiedliche Veränderungen an beiden Seiten kann die Phasenreaktion des Filters frei gestaltet werden. Da dies jedoch immer voraussetzt, dass das Filter ‚in die Zukunft schauen‘ kann, funktioniert diese Art der Filterung nur mit einer Zwischenspeicherung und kann somit nicht in Echtzeit eingesetzt werden. Betrachtet man nun das bereits bekannte Rechtecksignal und bearbeitet es nicht mit einem IIR- oder Analog-, sondern mit einem FIR-Filter, so fällt auf, dass sich im Ergebnis keine Sprungverschiebung ergibt. Bei genauerer Betrachtung der entstandenen Wellenform wird auch deutlich, warum: Durch die Symmetrie der Sprungantwort holt das Signal zunächst vor der Flanke aus, springt in die andere Halbwelle und klingt dort zur Nulllinie ab. Da bei einem FIR-Filter die Sprungrichtung nicht egal ist, wiederholt sich dieser Vorgang am Ende der Halbwelle mit umgekehrten Vorzeichen. Das Resultat entspricht in seinen Eckpunkten der ursprünglichen Rechteckwelle, zeigt jedoch den fehlenden Anteil im Tieftonbereich durch eine ‚Einbeulung‘ zwischen den jeweiligen Sprüngen. Das Signal ist immer symmetrisch, selbst wenn nur eine Halbwelle gefiltert wird. Abbildung 8 zeigt die gefilterte Wellenform mit ihrer letzten Halbwelle. Hier wird deutlich, dass auch diese im Eingangssignal vollständig asymmetrische Welle am Ausgang des Filters zum Nulldurchgang symmetriert wurde. Obwohl

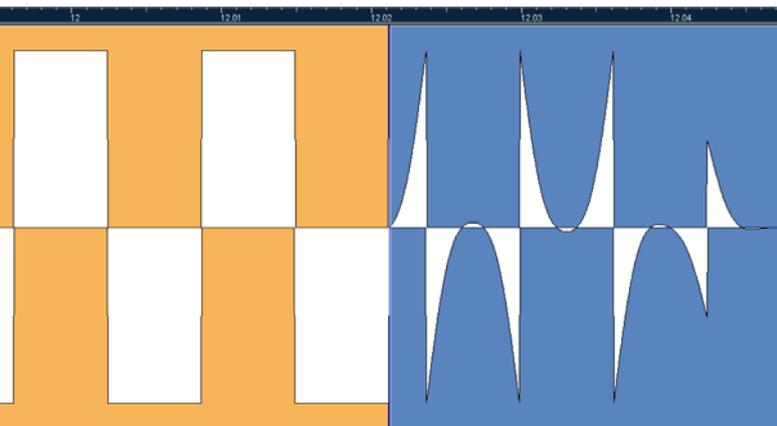


Abbildung 8: FIR-gefilterte Rechteckwelle. Die Symmetrierung der letzten Halbwellen ist deutlich erkennbar

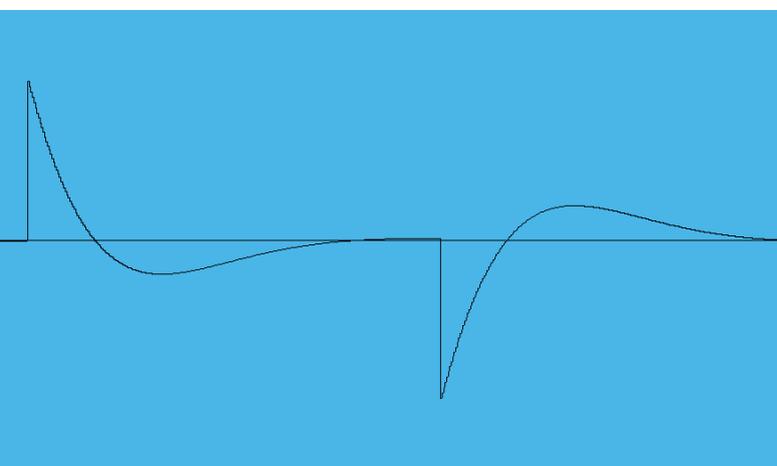


Abbildung 9: Sprungantwort Hochpassfilter zweiter Ordnung, beide Flanken

das Filter also eine Verschiebung der Wellenform verursachen kann, geschieht dies immer zugunsten der Symmetrie. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein FIR-Filter die beschriebene Pegelanhebung verursacht, zwar geringer, möglich ist es aber auch hier. Es bleiben jedoch noch zwei weitere Ursachen, denen auch ein FIR hilflos ausgesetzt ist.

## Überschwinger

Um das zweite Problem zu verstehen, müssen wir noch einmal an den Anfang zurück und Filter höherer Ordnung betrachten. In der Audiotechnik finden relativ wenige Filter erster Ordnung Anwendung. Meistens ist die erreichte Absenkung nicht stark genug, und so wird in vielen Fällen auf Filter mit der doppelten Flankensteilheit zurückgegriffen. Diese werden Filter zweiter Ordnung genannt und können auf vielfältige Art und Weise aufgebaut werden. Am einfachsten ist es, zwei passive Filter erster Ord-

nung in Reihe zu schalten. Alternativ können weitere Komponenten, zum Beispiel eine Spule, in die Schaltung integriert werden. Ganz wie in der Elektrotechnik ist es beim Programmieren eines Digitalfilters möglich, mehrere Instanzen eines Filteralgorithmus' erster Ordnung hintereinander zu schalten. Der Nachteil ist, dass dies mehr Zeit- und Rechenaufwand bedeutet, und so werden auch hierfür komplexere Algorithmen verwendet, die in der Summe weniger Rechenoperationen erfordern als sie in einer Reihenschaltung nötig wären. Ein Filter zweiter Ordnung besitzt in jedem Fall zwei Komponenten, die die Filterung vornehmen und miteinander interagieren. Das bedeutet, dass Daten oder Strom zwischen diesen beiden Operatoren umgelagert werden. Diese Umlagerung verursacht sogenannte Überschwinger in der Impulsantwort. Der Effekt verstärkt sich bei Filtern höherer Ordnungen. Abbildung 9 zeigt die Sprungantwort eines klassischen Hochpassfilters zweiter Ordnung. Elektrisch gesehen ist auch hier erkennbar, dass zunächst ein Stromfluss stattfindet, der sich aus hochfrequenten Komponenten zusammensetzt und so die Anstiegsflanke formt. Die sich anschließende, tieffrequente Gleichspannung wird vom Filter unterdrückt. Die rücklaufende Filterantwort bleibt jedoch nicht in der Nullstelle stehen, sondern schwingt in die Gegenrichtung über. Dies wiederholt sich, bis das Filter stabilisiert ist. In der letzten Ausgabe findet sich eine Tabelle, in der zu sehen ist, dass der gleiche Vorgang auch bei Digitalfiltern zu beobachten ist. Die Problematik dieser Überschwinger liegt darin, dass relativ viel Zeit abläuft, bis das Filter eingeschwingen ist. Tritt in diesem Zeitablauf nun eine erneute Flanke auf, wird diese durch die noch ausschwingende Spannung überlagert und um den Wert des Überschwingers verschoben. Dies kann ebenfalls als Pegelhub beobachtet werden.

Abbildung 10 zeigt, wie eine Rechteckwelle diesem Effekt unterliegt und die Impulse in ihrem Pegel angehoben werden. Je nachdem, in welche ‚Richtung‘ der verschobene Impuls zeigt, kann dieser Effekt auch zu einer Absenkung seines Pegels führen. Ob der Pegel steigt oder sinkt, hängt also weitgehend vom Zufall ab, wobei abgesenkte Impulse natürlich keine ‚Gefahr‘ für die nachfolgende Schnittstelle bedeuten. Nur um Missverständnissen aus dem Weg zu gehen, möchten wir darauf hinweisen, dass hier die Rede von einigen Millisekunden ist. Es muss sich also niemand darum Gedanken machen, dass schnelle Musik stärker von diesem Effekt betroffen sein könnte als langsame. Prinzipiell unterliegt jedes Signal diesen Verschiebungen. Die meisten befinden sich jedoch in einem Pegelbereich, in dem sie den Ausgangs-Gesamt-

pegel nicht beeinflussen. Entscheidend sind besonders steile Flanken, die einen großen Hochfrequenzanteil aufweisen. Diese Flanken müssen nicht unbedingt auf Transienten im klassisch verstandenen Sinne zurückzuführen sein. Die meisten Flanken weist eine Modulation auf, die zuvor in ihrer Dynamik begrenzt wurde. Wird ein Limiter auf ein Signal angewendet, um die Spitzen sehr stark zu reduzieren, so erhöht sich der Hochfrequenzanteil enorm. Wird nun der Grundton dieser angenäherten Rechteckwellen durch ein Filter entfernt, entstehen viele einzelne Spitzen, die gegebenenfalls den beschriebenen Effekten unterliegen. Je lauter ein Signal gefahren wird, desto höher ist die Gefahr für Übersteuerungen an einem Filter! Einen Extremfall stellen einige Filter dar, die nicht nur schwingen, sondern die eingehende Flanke überhöhen. Man spricht in diesem Fall von einem Filter-Overshoot. Dieser tritt jedoch nur bei wenigen Filtern auf. Sollte dies der Fall sein, spielt dieser Overshoot eine wichtige Rolle bei der Amplitudenüberhöhung am Filterausgang. Bei den normalerweise verwendeten Filtern gibt es jedoch keinen Overshoot, der eine Rolle spielen könnte.

## Gibbssches Phänomen

Als drittes Problem bei der Filterung macht uns unsere vereinfachte Vorstellung von Wellenformen einen Strich durch die Rechnung. Denn das, was wir auf dem Bildschirm sehen, ist noch lange nicht das, was wir auch zu hören bekommen. Bei Tiefpassfiltern spielt das sogenannte ‚Gibbssche Ringing‘ eine wichtige Rolle. Dieses nach dem Physiker Josiah Willard Gibbs benannte Phänomen bewirkt vor allem bei der Arbeit mit Tiefpassfiltern kontinuierliche Overshoots. Und damit wird es nicht nur besonders heikel im Umgang mit Filtern als Werkzeug, sondern es tritt immer und in jedem Fall auf, wenn ein Signal in seiner Obertonreihe bandbegrenzt wird. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn ein Signal von der digitalen in die analoge Domäne gewandelt wird. Jeder Wandler muss Filter besitzen, die das gewandelte Signal glätten. Viele Anwender glauben, dass die Wellenform, die in ihrer DAW angezeigt wird, dem entspricht, was aus den Lautsprechern kommt. Dies ist aber nur die halbe Wahrheit, denn in der Realität ist es für ein System weder möglich noch erwünscht, solche ‚Klötzchen‘ ans Ohr zu bringen. Aus dem Blickwinkel der technischen Logik scheitert dies schon daran, dass in einem Wandlungsprozess immer das sogenannte Aliasing verhindert werden muss. Hierbei handelt es sich um Frequenzen, die oberhalb der halben Samplefrequenz liegen und bei der Wandlung zu Problemen

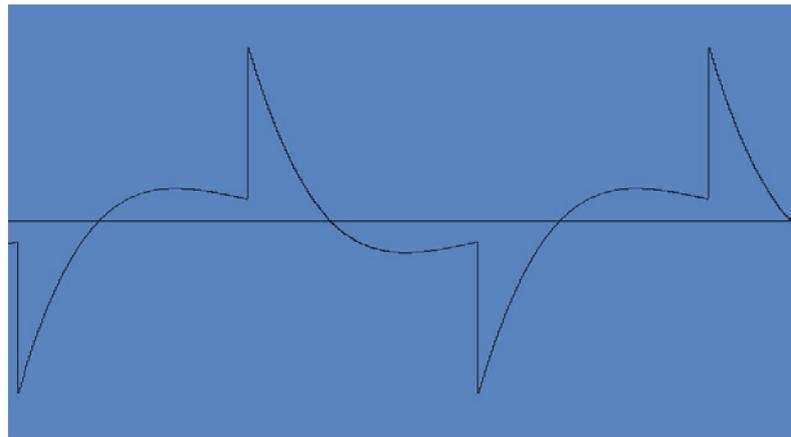


Abbildung 10: Pegelverschiebung durch Aufmodulation auf einen Filterüberschwinger

führen. Man kommt um das Wegfiltern hoher Frequenzen bei der Wandlung also nicht herum. Gibbs fand jedoch heraus, dass ein Signal mit steiler Flanke bei Bandbegrenzung sein Sprungziel verfehlt und um bis zu 18% der Sprunghöhe ‚über das Ziel hinaus schießen‘ kann. Anschließend schwingt das Signal um seinen Zielwert herum, bis es schließlich eingeschwungen ist. An jeder Sprungstelle wiederholt sich dies und resultiert in einem erhöhten Pegel am Ausgang.

Quantitativ ist dieser Einfluss in der Praxis natürlich deutlich geringer, da komplexe Wellenformen nicht so stark schwingen, wie es reine Rechteckwellen im Experiment tun. Dennoch ist hier, neben der Gefahr der Übersteuerung eines Filters auf der digitalen Seite, immer auch die Gefahr von Inter-Sample-Peaks gegeben. Den Elektronen ist die Auflösung des Signals in der Anzahl Samples egal. Das bedeutet, dass sie immer um das Sprungziel herum schwingen, auch wenn sich keine Samples in diesem Bereich befinden. Dennoch können wir etwas Beruhigung in die nun möglicherweise entstandene Aufregung bringen: Für gemasterte Aufnahmen mit ‚flachen Dächern‘ an der 0 dBFS-Grenze spielt Gibbs‘ Beobachtung nur eine sehr geringe Rolle, solange die analogen Komponenten nach der Wandlung Inter-Sample-Peaks vertragen können. Können sie es nicht, sind im Lautheitswahn bearbeitete Produkte ohnehin nur mit Vorsicht zu genießen – und darauf wird im heutigen ‚Loudness War‘ sowieso keine Rücksicht genommen. Innerhalb eines digitalen Systems sorgt das Gibbssche Phänomen ‚nur‘ für Verzerrungen des Frequenzganges, ist aber relativ ungefährlich bei Übersteuerungen. Denn: schwingt eine Rechteckwelle im Bereich der Auflösung, so hat dies keinen Einfluss auf Übersteuerungen. Liegt der Maximalwert jedoch an der 0 dBFS-Grenze an,

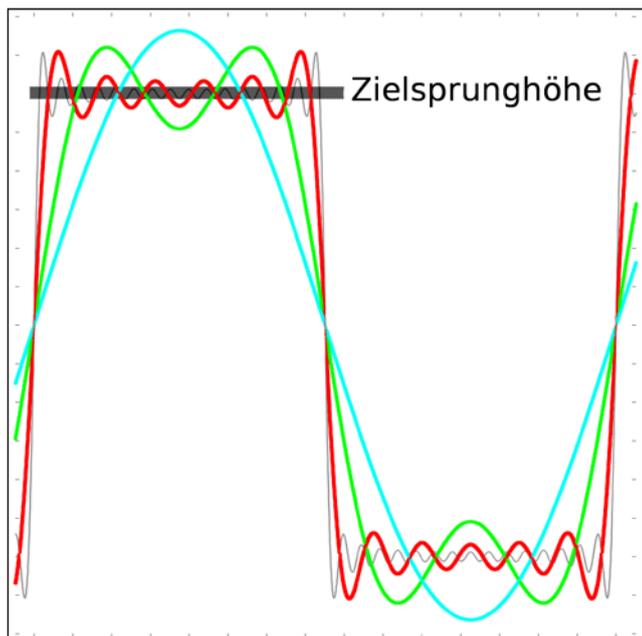


Abbildung 11: Rechteckwelle in verschiedenen Auflösungen mit dem jeweils resultierenden ‚ringing‘

kann es zumindest auf Sample-Ebene nicht nach oben ausschlagen. Abbildung 11 zeigt mehrere Beispiele des Gibbschen Phänomens.

## Technische Schlussbetrachtung

Es bleibt nun noch einiges festzuhalten, damit der Leser ein Gesamtbild dieser Beobachtungen gewinnen kann. Wichtig ist, dass all diese Effekte immer aus einer Kombination von Umständen entstehen. Das heißt, dass schwer vorhersehbar ist, welche Signalspitzen am Ausgang erhöhten Pegel aufweisen werden. Es kann, muss aber nicht zu Problemen kommen. Es ist daher wichtig, sich das Phänomen bewusst zu machen und nur gegebenenfalls Konsequenzen daraus zu ziehen. Vorsicht ist geboten, wenn sich Signale sehr nah an der 0 dBFS-Grenze bewegen, hier kann es wirklich zu Übersteuerungen aufgrund zu hoher Pegel kommen. Filter sind aber keine Verstärker. Wenn Amplituden verschoben werden, dann immer durch (De-)Modulationen und nicht, weil Energie hinzugefügt würde. Alle beschriebenen Effekte beeinflussen sich in hohem Maße gegenseitig. Hinzu kommen alle anderen Eigenschaften von Filtern, welche in ihrer Gesamtheit den Charakter einer Filterung ausmachen.

Nun, da die Ursachen bekannt sind, muss leider festgestellt werden, dass gegen diese ‚Laune der Natur‘ nichts zu machen ist. Seien Sie Ihren Filtern also nicht böse, sie können gar nicht anders. Es bleibt dem Anwender nur die

Möglichkeit, den Pegel entsprechend zu reduzieren und im Zweifelsfall niemals am Ende einer Bearbeitungskette zu filtern. Vor allem beim Mastering ist es wichtig, nicht nach dem letzten Limiter zu filtern. Auf der Geräteseite bleibt zu hoffen, dass die Hersteller sich dieser Problematik bewusst sind und in ihre Geräte eine entsprechende Reserve eingebaut haben. Doch wenn ein Filter über eine digitale Schnittstelle mit voll ausgesteuertem Material versorgt wird, dann liegt das Problem nicht unbedingt im Gerät selbst. Die meisten Filter rechnen mit einer sehr hohen Bittiefe und können solche Überhöhungen oft problemlos wegstecken. Den Flaschenhals stellt die anschließende Schnittstelle dar, denn diese kann auf keinen Fall mehr als Full Scale (digitale Vollaussteuerung) transportieren. Hier muss also sehr penibel auf die Aussteuerung geachtet werden. Bei Plug-Ins sieht die Welt viel entspannter aus, da die meisten DAWs intern nicht übersteuerbar sind. Das bedeutet, dass ein Plug-In nur dann ein Problem verursacht, wenn der anschließende Signalweg in seiner Amplituden-Bandbreite begrenzt ist. Machtlos ist der Anwender, wenn es darum geht, Lautsprecher digital anzusprechen. Denn auch in einer digitalen Frequenzweiche finden sich die problematischen Filter – wer seine Lautsprecher mit digitalen Vollpegelsignalen anfährt, sollte also genau hinhören und hoffen, dass die Entwicklungsabteilung des Herstellers seines Vertrauens ihre Hausaufgaben gemacht hat. Da das Problem nach unseren Recherchen nicht sehr bekannt ist, ist dies aber reine Spekulation. Wer auf Nummer Sicher gehen will, sollte das Ausgangssignal mindestens 6 dB unter Vollpegel ausgeben. Erinnern Sie sich noch an unseren Artikel über Pegelbezüge in Heft 05/09? Dort finden Sie interessante Anregungen zum Umgang mit analogen und digitalen Pegeln, die Sie vor den beschriebenen (und vielen anderen) Überraschungen bewahren. Wir bleiben dran und werden in Zukunft noch weitere kritische Aspekte von Filtern unter die Lupe nehmen. Damit ist unser kleiner Exkurs in die Welt der Filter zunächst beendet. Die Hintergrund-Reihe des Studio Magazins wird natürlich fortgesetzt. Wenn Sie Fragen, Anregungen oder Kritik haben, schreiben Sie uns bitte eine E-Mail. Auch wenn Ihnen ein Problem unter den Nägeln brennt, welches in unserer Serie beleuchtet werden soll, zögern Sie nicht, uns zu kontaktieren.



...zum Illustrationsvideo



Fotos und Abbildungen: Vladimir Wegener und Fritz Fey

# Der Ohren bester Freund

## Überlegungen zur Abhörsituation in Tonstudios – 2009

Der beste Freund kann leicht zum Feind werden, wenn man ihn schlecht behandelt. Es ist nach wie vor eine Tatsache, dass Lautsprechern, den besten Freunden, die wir im Studio bei unserer Arbeit haben, häufig nicht einmal die einfachsten Regeln der Aufstellung zugestanden werden. Dabei ist es in manchen Fällen lediglich eine Frage der korrekten Positionierung, deutlich bessere Abhörergebnisse zu erzielen. Will man jedoch die komplette Wegstrecke einer optimierten Abhörsituation zurücklegen, muss man viele beeinflussende Faktoren genauer unter die Lupe nehmen, um das zu erreichen, was in einem professionellen Produktionsumfeld eigentlich selbstverständlich sein sollte: ein Abhörsystem, das uns die Wahrheit sagt. Die Regielautsprecher sind die Grundlage für unsere Arbeit und helfen uns dabei, Aufnahmen und Mischungen sicher zu beurteilen, unsere Arbeitsgeschwindigkeit deutlich zu erhöhen und eigenständige Gerätekaufentscheidungen treffen zu können, die notgedrungen viel zu oft vom Mehrheitsprinzip bestimmt sind. Egal, was vom Mikrofon bis zum Stereo- oder Surround-Ausgang des Studios passiert – man muss es genau wissen, wenn man eine gute und konkurrenzfähige Arbeit abliefern will. Ich habe schon zu viele Beiträge über Optimierungsmaßnahmen von Abhörsystemen gelesen, die mir wirklich das Blut in den Adern haben gefrieren lassen. Hält man sich ernsthaft an derartige ‚Anleitungen‘, ist es höchst wahrscheinlich, dass man am Ende noch viel mehr als vorher seiner Beurteilungsgrundlage beraubt ist. Wer in aller Welt hat sich beispielsweise bloß das Verfahren ausgedacht, über die Lautsprecher im Terzabstand eingespielte Sinustöne am Abhörplatz mit einem Schallpegelmesser wertemäßig zu erfassen, um anschließend die wahrscheinlich erheblichen Pegelunterschiede mit einem Terzband-Entzerrer auszugleichen? Wer solche, sicher sogar gut gemeinte, Ratschläge verbreitet, bewegt sich dicht am Rande einer kollektiven Schadenersatzklage. Um diese möglichst zu vermeiden, beschäftigt sich mein Beitrag mit den wesentlichen Beeinflussungsfaktoren, beschreibt die häufigsten Fehler bei der Lautsprecheraufstellung und zeigt Lösungswege auf, die nicht zwangsläufig ein Vermögen verschlingen

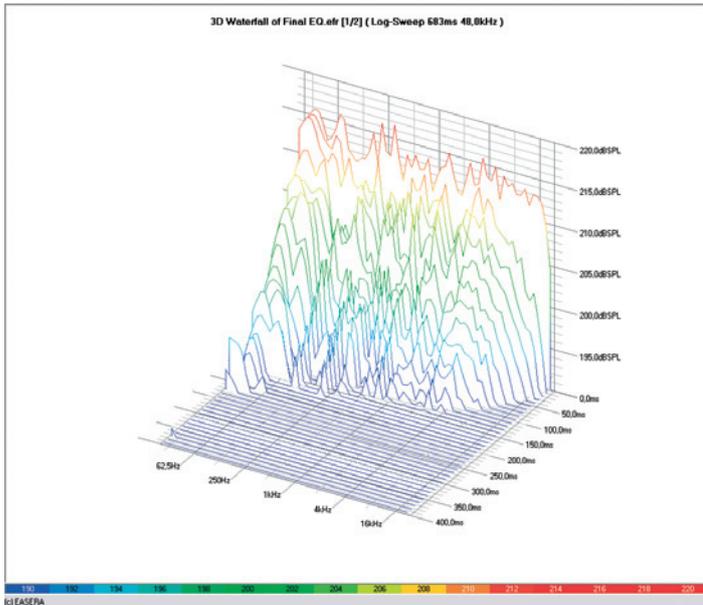
Alle folgenden Überlegungen setzen stillschweigend voraus, dass der jeweils eingesetzte Lautsprecher als Wiedergabequelle über jeden Zweifel erhaben ist. Dass dies nur ein rein theoretischer Ansatz sein kann, muss nicht weiter diskutiert werden, denn den idealen Lautsprecher gibt es nicht, wohl aber recht viele Exemplare, die dem Ideal ziemlich nahe kommen. Daher ist unser Ziel, möglichst optimale Bedingungen zu schaffen, damit der Lautsprecher als Schallquelle seine ihm eigenen, individuellen Klangeigenschaften weitgehend ungestört ausspielen kann. Für die Auswahl eines Lautsprechers gibt es zwar sehr viele objektive Kriterien, die auch messtechnisch untermauert werden können, doch gehen wir im Folgenden davon aus, dass die Kaufentscheidung bereits getroffen wurde, sei es vor dem Hintergrund finanzieller, geschmacklicher oder messtechnischer Überlegungen. Fest steht, dass eine raumakustische Umgebung einen Lautsprecher niemals besser machen kann, als er wirklich ist. Man kann lediglich Bedingungen schaffen, die ihn nur wenig bis gar nicht behindern oder seine Eigenschaften begünstigen.

Alles, was wir im Zusammenhang mit Lautsprechern und Raumakustik betrachten, hat entweder mit Zeit oder Pegel zu tun. Bei den Überlegungen zur Optimierung der Abhörsituation beginnt man räumlich gesehen in weiter Distanz zum Lautsprecher, um sich schrittweise immer mehr in seine Nähe zu begeben. Daher ist der erste Diskussionspunkt der Raum und seine grundsätzliche Reaktion auf den Lautsprecher.

## Der Raum

Die Planung eines Tonstudios ist eine sehr komplexe Angelegenheit, die nicht allein mit der Raumakustik zu tun hat. Aspekte des Schallschutzes, der Infrastruktur, der Ergonomie, der Klimatechnik, der technischen Installation, des zugrunde liegenden Geschäftsmodells und viele andere Punkte füllen reihenweise Ordner mit Planungsunterlagen und Dokumentation. Wir wollen diese Überlegungen in unserem Fall alle beiseite lassen und uns ausschließlich mit dem grundlegenden Aspekt einer möglichst neutralen Abhörsituation auseinandersetzen. Die Entscheidung, ob man seine Lautsprecher in eine Boxenfront einbauen oder frei aufstellen möchte, geht auch heute noch allen Überlegungen voran. Die Freiaufstellung von Lautsprechern hat sich aufgrund des geringeren Aufwandes heute nahezu 100prozentig durchgesetzt, doch ist sie deshalb nicht weniger problematisch geworden. Betrachtet man den Lautsprecher als Schallquelle im Raum, wird man feststellen, dass sich bei der freien Aufstellung eine Begrenzungsfläche mehr ergibt, nämlich hinter den Lautsprechern. Was mache ich mit dem Schall, der sich

dort ausbreitet und von der Stirnwand unserer Regie reflektiert und als zeitlich versetzte Energie an der Abhörposition erscheint? Zerstreuen? Absorbieren? Reflektieren? Reflektieren ist wegen der Pegelverluste durch Kammfiltereffekte keine besonders gute Idee, es sei denn man schiebt die Lautsprecher so lange im Raum herum, bis man eine günstige Position gefunden hat. Diesem Unterfangen sind aus Platzgründen jedoch meistens Grenzen gesetzt. Wenn die Distanz des Lautsprechers zur Wand der Viertelwellenlänge einer bestimmten Frequenz entspricht, entsteht an der Abhörposition ein deutlicher Pegelverlust bei exakt dieser Frequenz. Da der Lautsprecher bei tiefen Frequenzen kugelförmig abstrahlt, gilt diese Regel für alle Begrenzungsflächen in der Nähe des Lautsprechers, also mindestens eine Seitenwand und die Wand hinter dem Lautsprecher. Beträgt der Abstand zur Wand 85 Zentimeter, wird der Pegelverlust bei 100 Hz auftreten (3.40 m Wellenlänge). Der Weg vom Lautsprecher zur Wand und wieder zurück entspricht einer halben Wellenlänge und damit einer um 180 Grad gedrehten Phase. Nun kann man selbst ausrechnen, wie weit der Lautsprecher von der Wand entfernt stehen muss, damit der Pegelverlust außerhalb seines Übertragungsbereichs liegt. Gehen wir von einer unteren Grenzfrequenz von 40 Hz aus, müssen wir schon über zwei Meter Abstand einhalten. Folgerichtig setzt der Kammfilter bei zunehmend höherer Frequenz ein, je näher man an die Wand heranrückt. Stellt man den Lautsprecher sozusagen mit dem Rücken zur Wand auf, rückt der Kammfilter in einen Bereich, der vom Lautsprecher nur noch nach vorne abgestrahlt wird, was das Problem löst und damit dem Prinzip eines Lautsprechereinbaus sehr nahe kommt. Allerdings muss man dann die eintretende Überhöhung bei tiefen Frequenzen elektronisch kompensieren. Die meisten aktiven Lautsprecher verfügen hierzu über ein entsprechendes Raumanpassungsfilter. Eine alternative Lösung bietet sich durch den Einsatz eines Subwoofers. Prinzipiell entsteht dadurch ein größerer Spielraum bei der Aufstellung der Lautsprecher, da die untere, über die Hauptlautsprecher zu übertragende Frequenz bei voraussichtlich 85 Hz liegt, der Übergangsfrequenz zum Subwoofer, der als bewegliches Element mehr Möglichkeiten bietet, den Anregungspunkt tiefer Frequenzen an verschiedenen Positionen auszuprobieren. Auf diese Weise kann man sich jedenfalls bis zu fast einem Meter Wandabstand erlauben. Ist ein Studiomonitor in die Wand eingebaut, breiten sich die bei Freiaufstellung zur Seite und nach hinten abgestrahlten Schallanteile auf der über die Wand vergrößerten Lautsprecherfront aus und addieren sich zum Direktschall. Ich würde daher persönlich immer zum Wandeinbau tendieren, wenngleich die Flexibilität natürlich eingeschränkt ist. Man kann jedoch auch



Zerfallspektrum eines optimierten kleinen Raumes. Wie man erkennen kann, verhält sich der Raum in allen Frequenzbereichen recht gleichförmig

hier Vorsorge treffen, einen weitgehend unproblematischen Lautsprecherwechsel zu ermöglichen. Im Surround-Zeitalter ist der Wandeinbau jedoch eine sehr problembehaftete Angelegenheit geworden, mit vielen Fallen und einem entsprechend gigantischen Aufwand, der nur noch selten betrieben wird (werden kann). Beschäftigen wir uns nun aber mit dem Raum und seinen erwünschten Eigenschaften, die man baulich mehr oder weniger konsequent umsetzen kann. Es kommt neben geometrischen Überlegungen darauf an, ein frequenzabhängig gleichmäßiges Abklingen zu erreichen. Für kleinere bis mittlere Raumgrößen sind hier Werte von 0.2 bis 0.3 Sekunden üblich und akzeptiert. Die Kenngröße für die Nachhallzeit, die eigentlich gar keine ist, ist  $RT_{60}$ , also die Zeit, in der der Pegel des Nachhalls im Raum um 60 dB abfällt. Wenn man davon ausgeht, dass man vielleicht 30 dB davon hören kann und der Rest in Ruhegeräuschen oder im Musiksignal untergeht, interessieren eigentlich nur noch der ‚Anhall‘ oder die frühen Reflexionen, die sich in den ersten 150 Millisekunden entwickeln. Wenn man sich überlegt, wie groß die mittlere Wegstrecke in einem Raum mit 100 Kubikmetern ist, kommt man im Zeitbereich von 150 ms gerade mal auf 18 Wandberührungen. Das heißt, es kann überhaupt kein richtig diffuses Nachhallfeld entstehen. Daher kann man eigentlich auch gar nicht von einem Nachhall sprechen. Man tut es in der Regel aber trotzdem, wobei sich der Begriff ‘Quasi-Nachhallzeit’ in diesem Zusammenhang besser anhört.

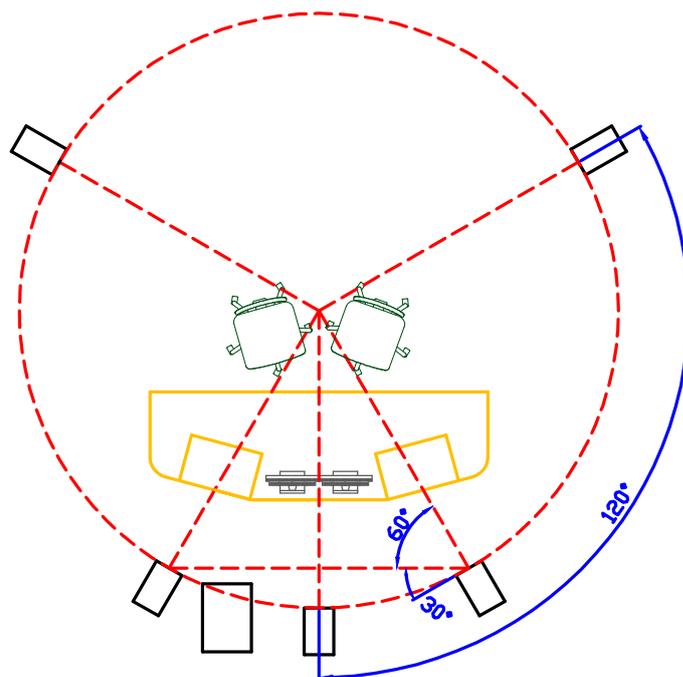
Die Maßnahmen, die zur Optimierung der Raumantwort notwendig sind, erfordern prinzipiell zwei Elementgruppen, nämlich Absorber und Diffusoren. Die Gattung der Absorber lässt

sich nochmals in zwei Gruppen aufteilen, nämlich in die der Porös- und die der aktiven oder Resonanzabsorber. Poröse Absorber werden heute in vielfältigen Formen als Fertigelemente angeboten und bestehen in der Regel aus Schaumstoffen mit definierten Strömungswiderständen. Die Porenstruktur dieser Materialien vernichtet Schallenergie, indem sie den Schall durch Reibung in Wärme verwandelt. Preiswerter, aber auch problematischer in Auswahl, Verarbeitung und Montage ist Mineralwolle. Das Prinzip der Reibung und Wärmeumwandlung beinhaltet eine wichtige akustische Gesetzmäßigkeit, weshalb man Porösabsorber auch als Lambda-Viertel-Absorber bezeichnet. Vor einer harten Begrenzungsfläche bildet sich im Abstand eines Viertels der Wellenlänge ein Schnellmaximum aus, weshalb man den porösen Absorber genau dort platziert. Dieser Vorgang ist logischerweise frequenzabhängig, weshalb poröse Absorber erst bei mittleren bis hohen Frequenzen wirksam werden. Um 100 Hz porös zu absorbieren (weil es sich so einfach rechnen lässt) müsste man einen Absorber von 85 Zentimetern Dicke, beziehungsweise Schaum oder Mineralwolle in einem Wandabstand von 85 cm anbringen, weshalb nun auch klar sein dürfte, dass Bassfallen aus Schaum, die man nach Herstellerempfehlung als Keil in eine Ecke stellen soll, niemals effektiv arbeiten können. Erst wenn eine Membranwirkung hinzukommt, kann man von einem Tiefenabsorber mit nennenswertem Wirkungsgrad sprechen. Damit kommen wir auch zur zweiten Gruppe der Absorber, jedoch sollte vorher nicht unerwähnt bleiben, dass poröse Absorber bis zu einer Frequenz von rund 250 Hz noch sinnvoll gebaut werden können. Resonanzabsorber setzen einfach formuliert Schallenergie in Bewegungsenergie um. Klassische Beispiele sind Platten/Folien-Schwinger, Schlitz- und Loch- oder auch Helmholtz-Resonatoren. Ich will hier nicht zu weit ins Detail gehen, aber prinzipiell wird auch hier für einen Teil der Energie durch Reibung Wärme erzeugt. Wichtig ist dabei, dass ein Resonanzabsorber Energie speichert und nachschwingt. Dieses Nachschwingen ist abhängig von seiner Bedämpfung. Das Abklingverhalten des Absorbers muss also grundsätzlich kürzer sein, als das für den Raum insgesamt geplante Abklingverhalten, sonst passiert in diesem Frequenzbereich genau das Gegenteil von dem, was man beabsichtigt hat. Während poröse Absorber im Schallschnellmaximum positioniert werden, gehören Resonanzabsorber ins Druckmaximum. Es ergibt sich quasi eine Selektivität des Resonators durch das Aufnehmen der Problemfrequenz, die in der Position des Resonators auch den größten Schalldruck aufweist, zum Beispiel in Raumecken. Auf diese Weise gleicht sich das Schallfeld praktisch selbsttätig aus. Plattenschwinger arbeiten bis zu einer unteren Frequenz von etwa 70 Hz optimal, darun-

ter kommt in der Regel ein Helmholtz-Resonator zum Einsatz. Das notwendige Bedämpfen von aktiven Absorbern geht stets mit einer Abnahme der Resonanzschärfe einher, so dass ein auf 100 Hz gestimmter Plattenschwinger auch noch bei 50 Hz arbeitet, allerdings mit bereits stark reduzierter Effektivität. Da der Absorptionsgrad für die meisten der bisher beschriebenen Elemente bei 1, also 100 Prozent, anzusetzen ist, wäre man bei konsequenter Anwendung auf dem besten Wege, so etwas wie einen schalltoten Raum zu bauen. Die Werkzeuge hierfür haben wir jedenfalls zur Verfügung. Dass dies kein erstrebenswertes Ziel sein kann, muss ich hier nicht weiter erläutern. Ein gut geplanter und gebauter Raum ist mit reiner Absorption nicht realisierbar, sondern es muss auch ein Teil der Schallenergie möglichst diffus erhalten bleiben. Dafür stehen uns verschiedene Bauformen zur Verfügung, von denen die bekanntesten ein- oder zweidimensionale Schroeder-Diffusoren, nach ihrem Erfinder benannt, und zylindrische Diffusoren sind. Mit letzteren habe ich in verschiedenen Projekten sehr gute Erfahrungen gemacht. Da unser Ohr einfache Rückwürfe zur Bestimmung der Distanz zu einem Objekt oder einer Wand verwendet, verschwindet der Größen- oder Distanzeindruck sofort, wenn die Rückwürfe zerstreut werden. Auf diese Weise erhält man zum Beispiel einen ‚dimensionslosen‘ Aufnahmerraum mit einer geplanten Nachhallzeit, dem man anschließend durch elektronische Erstreflexionen aus Hallgeräten eine beliebige Größe aufprägen kann. Im Regieraum dienen Diffusoren dem Erhalt des räumlichen Eindrucks und einer bestimmten Nachhallzeit in der bereits genannten Größenordnung von etwa 0.3 Sekunden. Wer schon einmal in einem schalltoten Raum war, wird wissen, dass man es darin nicht lange aushält, da unsere Ohren keinerlei Raum- oder Distanzinformationen bekommen und wir uns zusehends unwohler fühlen. Da dieser Beitrag sich mehr auf die Lautsprecher selbst konzentrieren soll, wollen wir die kleine raumakustische Exkursion hier beenden und im Hinterkopf behalten, dass die beste Voraussetzung für eine gute Abhörsituation ein sauber und kontrolliert über das gesamte Spektrum abklingender Raum ist.

## Gefährliche Umgebung

Selbst, wenn man einen guten Raum zur Verfügung hat, ist keineswegs gewährleistet, dass die Abhörsituation gleichermaßen gut ausfällt. Zunächst sollte sichergestellt sein, dass die Regeln des Stereodreiecks eingehalten werden. Nicht abwinken, bitte! Es handelt sich um ein gleichschenkliges Dreieck mit einem Innenwinkel von 60 Grad, so dass die Lautsprecher einen Aufstellwinkel von 30 Grad einnehmen. Es ist wirklich wichtig, sich genau an diese Vorschriften zu halten.

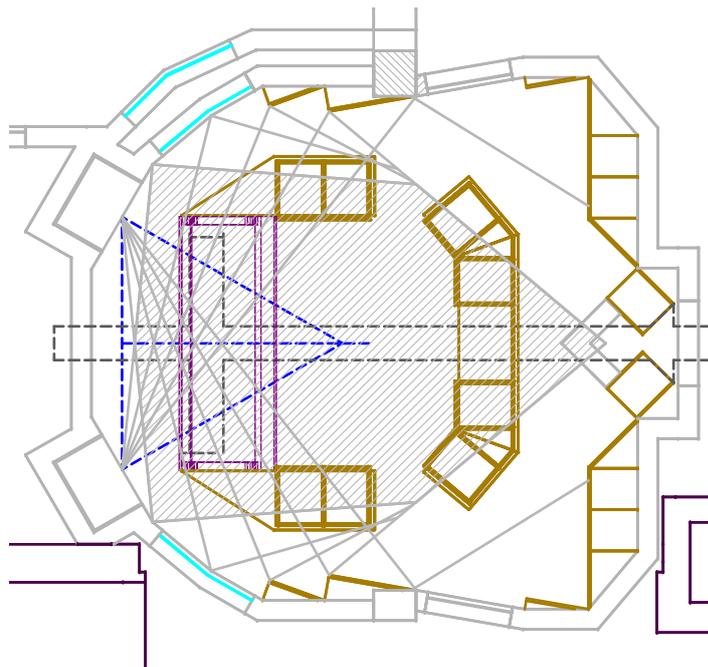


Aus der Empfehlung für eine korrekte Aufstellung eines Surround-Systems ergibt sich auch die 60/30 Grad-Regel für die Anordnung von Stereo-Lautsprechern. Hier eine typische Situation

Der Abstand zwischen den Lautsprechern muss am Ende also folgerichtig exakt der Hördistanz zu den Lautsprechern entsprechen. Da der Lautsprecher eine statische Schallquelle im Raum darstellt, kann man die Raumgeometrie praktisch entlang seines Abstrahlverhaltens ausrichten. Was wir prinzipiell anstreben, ist eine reflexionsfreie oder -arme Abhörzone, in der das Verhältnis von Direkt- und Diffusschall so ausgelegt ist, dass wir, einfach gesprochen, zunächst nichts als die Lautsprecher hören und erst in zeitlicher Abfolge die Raumantwort mit reduziertem Pegel und diffuser Ausprägung. Dies kann, wie wir schon gelernt haben, durch absorptive oder diffus wirkende Elemente an den neuralgischen Stellen des Raumes erfolgen, aber auch durch geometrische Formen, die den Schall von der Abhörposition ‚weglenken‘. Wahrscheinlich haben Sie schon alle dreieckig geformte Seitenelemente in Studios gesehen, die diese Aufgabe übernehmen und gleichzeitig als Mittenabsorber dienen. Hier kommt der nicht ganz unstrittige Begriff der ‚ortsgebundenen Nachhallzeit‘ ins Spiel, das heißt, die Abhörposition ‚sieht‘ bestimmte Schallanteile nicht, die von Seitenwänden kommen, aber man spricht von der Abhörposition aus in ein reflektierendes Umfeld hinein und erzeugt dadurch Rückwürfe, die ein angenehmes Sprechgefühl und eine andere ‚Nachhallzeitwahrnehmung‘ erzeugen. So weit so gut, denn jetzt kommt nach einem relativ langen gedanklichen Weg der Arbeitsplatz als solcher ins Spiel. Wenn wir davon ausgehen, dass bislang alle ‚Regeln der Kunst‘ beachtet wurden, müssen

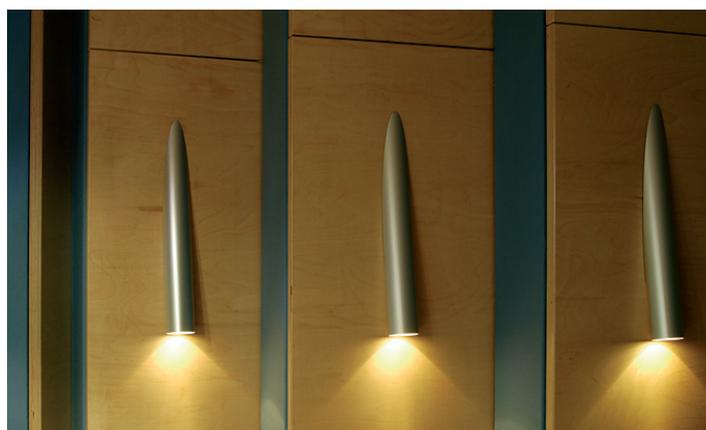
wir nun den Arbeitstisch und/oder das Mischpult mit all seinen Aufbauten (TFT-Schirme und Racks) näher unter die Lupe nehmen.

Befinden sich Objekte im Abstrahlbereich des Lautsprechers (Tischplatte, Mischpultoberfläche, Rack, TFT etc.) treten Gesetzmäßigkeiten der Schallbeugung, Reflexion oder Schallbrechung in Kraft. Hat die Wellenlänge eine ähnliche Größe wie das im Wege stehende Objekt, kommt es zu Beugungserscheinungen. Als Beugung bezeichnet man den Effekt der Verbiegung der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung einer Schallquelle. Ist ein Hindernis kleiner als die Wellenlänge des sich ausbreitenden Schalls, ist es nicht in der Lage, die Wellenfront merklich zu beeinflussen. Da das hörbare Spektrum Wellenlängen zwischen zwei Zentimetern und zwanzig Metern beinhaltet, werden bei einer aus vielen Teilfrequenzen zusammengesetzten Schallwelle tieffrequente Schallanteile um das Hindernis herum gebeugt. Schallanteile mit zu kleinen Wellenlängen werden hingegen vom Hindernis reflektiert und es entsteht für die betreffenden Frequenzbereiche ein Schallschatten hinter dem Hindernis. Auf diese Weise wird die Schallquelle neben Beugungseffekten auch Verluste im Bereich hoher Frequenzen aufweisen. An einer Kante wird eine Schallwelle in den Schallschatten hinein gebeugt, und zwar umso stärker, je tiefer die Frequenz ist. Um Schall reflektieren zu können, muss eine Fläche mindestens einen Durchmesser haben, der mehreren Wellenlängen der zu reflektierenden Schallwelle entspricht. Selbst wenn der Durchmesser des Hindernisses doppelt so groß wie die Wellenlänge ist, wird der Schall noch fast vollständig herum gebeugt. Erst bei etwa fünffacher Ausdehnung entsteht ein deutlicher Schallschatten. Wenn eine Schallwelle nicht mehr um das Hindernis herum gebeugt wird, wird aus dem Hindernis ein Reflektor. Das Zustandekommen einer vollständigen Reflexion hängt von verschiedenen Faktoren ab. Der Wirkungsbereich eines Reflektors reicht zu umso tieferen Frequenzen hinab, je größer die reflektierende Fläche, je kleiner ihr Abstand zur Schallquelle, je kleiner ihr Abstand zum Hörer ist und je steiler die Schallwelle auf den Reflektor trifft. Diese Gesetzmäßigkeiten haben in der Praxis zur Folge, dass Kammfiltereffekte durch Reflexionen von Tisch oder Mischpultoberfläche am Abhörpunkt entstehen, dass Pegelverluste im Bereich mittlerer und hoher Frequenzen auftreten, wenn TFTs im Abstrahlbereich der Lautsprecher stehen und dass seitlich aufgestellte hohe Racks zu Ortungsunschärfen durch Phantomschallquellen führen. Es ist also sehr wichtig, bei der Aufstellung der Lautsprecher darauf zu achten, ob ein sauberer Abstrahlbereich von den Lautsprechern zu den Ohren gewährleistet ist. Oft werden kleine Aktivmonitore auf Sockeln direkt auf dem Arbeitstisch aufgestellt, was unwei-

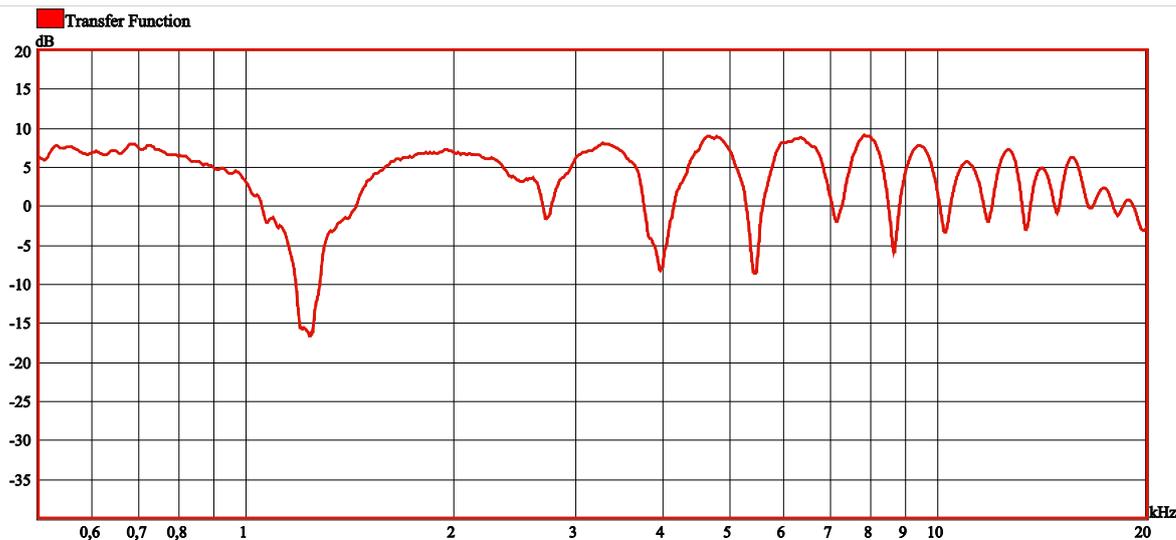


Grundriss einer mittelgroßen Regie mit geometrischer Schallführung im Frontbereich. In den seitlichen Schrägen wurden Regiefenster zum Aufnahmeraum und zum Außenbereich (Tageslicht) angeordnet

gerlich zu Kammfiltereffekten führt, da der Winkel des vom Tisch reflektierten Schalls direkt auf die Ohren zeigt. Es empfiehlt sich daher, die Lautsprecher deutlich hinter dem Tisch auf Stativen zu positionieren, um diesen Winkel möglichst flach zu halten (siehe Abbildung). TFTs sollten möglichst weit außerhalb des Abstrahlbereichs der Lautsprecher aufgestellt werden, besser noch hinter oder auf der Ebene der Lautsprecherposition. Wenn Tischracks über eine zur Abhörposition steigende Neigung verfügen, wird der reflektierte Schall vor der Abhörposition in den Deckenbereich abgelenkt. Wenn dieser absorptiv gestaltet wurde, wie man es in den meisten Fällen macht, wird die



Schallführende Elemente an den Seitenwänden unserer Tonregie



Typische Kammfilterentwicklung durch Reflexionen von einer ebenen Tischplatte

umgelenkte Schallenergie dort aufgefangen. Je größer die Rackoberfläche ist, desto tiefer die untere Frequenz des umgelenkten Schallanteils. Der Deckel der Meterbridge eines Mischpultes führt oft zu steilflankigen Überhöhungen in der Übertragungsfunktion, etwa im Bereich von 2 kHz. Hier kann ein absorbierendes oder umlenkendes Element Abhilfe schaffen. Entsprechende Messungen belegen, dass störende Elemente im Abstrahlbereich der Lautsprecher zu Zeit- und Frequenz-Verzerrungen führen, die entweder die Tonalität oder aber die Ortung und die räumliche Darstellung empfindlich beeinflussen können. Wenn man hier seinen Kasten sauber hält, wie der Torwart sagen würde, ist ein wichtiger Teil der Übung bereits erledigt.

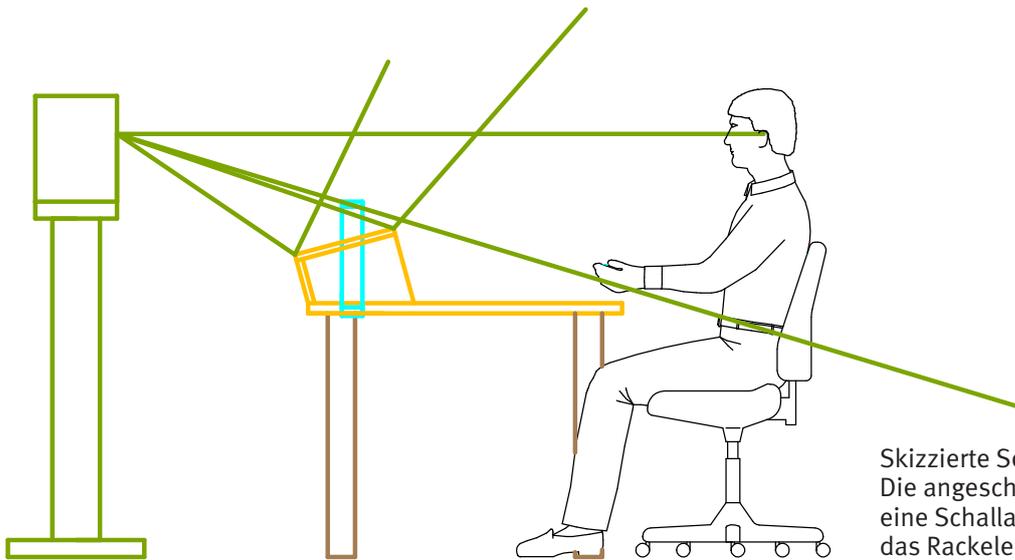
## Und nun?

Selbst, wenn alle bislang beschriebenen Voraussetzungen erfüllt sind, kann es immer noch zu Nichtlinearitäten der Übertragungsfunktion kommen, weil der Massekörper des Tisches, der Racks, eines Backracks oder eines Mischpultes Beugungs- oder Resonanzeffekte hervorruft, die man naturgemäß nicht verhindern, sondern allenfalls zu optimieren versuchen kann. Besonders in kleinen Räumen sind die Wechselwirkungen verschiedener Objekte im Zusammenspiel mit der Lautsprecherwiedergabe nicht wirklich vorhersehbar. Bevor man hier jedoch zur elektronischen Keule in Form eines Korrekturzerrers greift, sollte man die Probleme genauer untersuchen: Treten die Probleme oder Nichtlinearitäten in beiden Kanälen symmetrisch auf, was uns gleichzeitig dazu zwingt, auf eine möglichst genau eingehaltene Symmetrie aller Baumaßnahmen und der gesamten Arbeitsplatzanordnung zu achten, entstehen die Probleme nur an einer bestimmten Messposition oder gelten sie für einen größeren

Bereich? Wurden die Wandabstände der Lautsprecher korrekt eingehalten? Ergab die Messung der Raumakustik keine auffälligen Besonderheiten? Sind Position und Anordnung von Türen, Fenstern und Regiescheibe demnach ‚unverdächtig‘? Kommt es zu Resonanzeffekten an Racks oder Möbeln?

## Lösungen

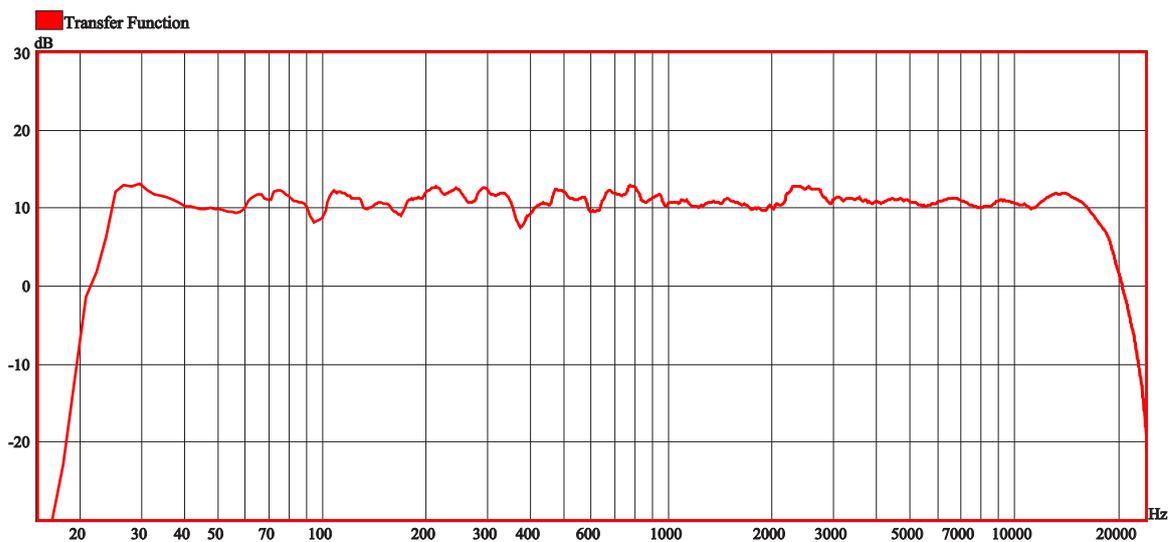
Hat man sich unter Einhaltung der wichtigsten Regeln seinen Regieraum selbst hergerichtet, ist die Chance sehr groß, zu einer zufriedenstellenden bis sehr guten Abhörsituation zu kommen, auch wenn sich die Raumakustik vielleicht nicht gerade anbietet, als Musterbeispiel in einem Fachbuch veröffentlicht zu werden. Meistens mangelt es an ausreichender Tiefenabsorption, so dass der Raum im Bereich tiefer Frequenzen einen Anstieg der Quasi-Nachhallzeit zeigt. Oft sind die Lautsprecherpositionen hinsichtlich des Wandabstandes ungünstig gewählt, weil die Platzverhältnisse keinen großen Spielraum bieten. Und meistens ist es eine Frage des Geldes, wie weit man beim Ausbau eines Regieraums gehen kann und so ist der Studiobetreiber geneigt, zu einfachen, preiswerten Lösungen zu greifen. In der einfachsten Variante reicht ein raumakustisches Umfeld, das störende Reflexionen von Seitenwänden oder Decke durch Absorption verhindert. Dazu sind alle Schäume oder auch Mineralwolle als Rohmaterial geeignet, die in ihrer Wirkung bis 500 Hz herunterreichen. Durch Abstand von der Wandfläche kann man die tiefste Frequenz weiter nach unten verschieben (wir erinnern uns an die Lambda-Viertel-Passage dieses Beitrags). Mit etwas zusätzlicher, über die Wand- und Deckenflächen verteilter poröser Absorption und zufällig glücklichen Raummaßen im Sinne einer gleichmäßigen Verteilung der Moden erhält man in einem kleinen Raum eine schon



Skizzierte Seitenansicht einer Abhörsituation. Die angeschrägten Rackoberflächen sorgen für eine Schallablenkung, die Abschattung durch das Rackelement verhindert eine Tischreflexion

recht erfreuliche ‚Stimmung‘, auch wenn die Kollegen Fachplaner für Raumakustik jetzt mit den Augen rollen werden. Manchmal sieht die Produktionsrealität eben doch anders aus. Alles, was man nun im Bereich der Abhörposition noch an Unebenheiten der Übertragungsfunktion ermittelt und was durch Umpositionierung nicht beseitigt werden kann, ist ein Fall für die Gewöhnung oder aber den Korrektur-Entzerrer, der im Zweifelsfall nach meiner Erfahrung ein analoger sein sollte. Die Entscheidung für die geeignete technische Lösung muss anhand der ermittelten Ergebnisse festgemacht werden. Ich habe kein Problem damit, Überhöhungen im Bereich tiefer Frequenzen ‚wegzunotchen‘, wohl aber eines damit, den Versuch zu unternehmen, starke Einbrüche mit einer Pegelanhebung aufzufüllen, denn das funktioniert in den meisten Fällen nicht, da solche Einschnitte in der Übertragungsfunktion meist durch raumakustisch bedingte Auslöschungen entstehen, die auf viel Pegel mit einem Schulterzucken und nur wenig Verbesserung reagieren. Hier sind dann wirklich größere bauliche Maßnahmen gefragt, oder aber eine empirische ‚Versuchsreihe‘, mit anderen Lautsprecherpositionen, um das Modenfeld des Raumes günstiger anzuregen. Ist man jedoch durch die Verkabelung an die Arbeitsposition fest gebunden, hilft nur noch das Umstellen des Systems auf Subwoofer-Betrieb, falls sich die Problemfrequenzen unterhalb von 80 Hz bewegen. Der Subwoofer als gemeinsame ‚Tiefenquelle‘ für beide Stereokanäle kann auch bei einer ansonsten unverrückbaren Abhörposition flexibel in der Position variiert werden. Das klingt einfacher, als es ist, denn der Übergang zu den Hauptlautsprechern wird schwerlich gelingen, wenn die Subwoofer-Position zu unsymmetrisch zur Lautsprecheraufstellung wird. In diesem Fall hat man mit unterschiedlichen Laufzeiten zu kämpfen, die den einen Stereokanal vielleicht gut aussehen lassen, den anderen aber mit

einer starken Kerbe im Bereich der Übergangsfrequenz quittieren. Hier hilft nur Probieren, Messen, Probieren, Messen, Probieren... In vielen Fällen lässt sich jedoch mit etwas Nachhilfe durch einen Entzerrer ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis erzielen, allerdings niemals ohne professionelle messtechnische Unterstützung. Will man einigen Hügelchen und Tälern mit einem EQ zu Leibe rücken, sollten Frequenzen oberhalb von 500 Hz tabu sein, denn hier beginnt der Frequenzbereich, der sich aufgrund der kürzeren Wellenlängen schon durch eine Kopfbewegung verändert. In diesem Bereich ist eigentlich, wenn überhaupt, nur noch ein sehr breitbandiger geschmacklicher Eingriff erlaubt. Oft reichen jedoch auch die Bordmittel, also die Korrekturmöglichkeiten eines aktiven Monitors aus, um ausgeprägtere Unebenheiten auszugleichen. Während ich bei Absenkungen mutiger bin, bleibe ich bei Anhebungen mit einem externen EQ sehr vorsichtig (nicht mehr als 3 oder 4 dB). Natürlich ist in jedem Fall darauf zu achten, in beiden Kanälen die gleichen Einstellungen zu wählen, damit keine Phasenverzerrungen die Ortung verschlechtern. Im Bereich der Tiefen sind Ausnahmen von dieser Regel erlaubt, da eine Phasenungleichheit in diesem Bereich in der Regel keine nennenswerte Störung der Ortung mit sich bringt. Entzerrt man den Bereich des Subwoofers, gilt das Ergebnis ohnehin für beide Kanäle. Es wird immer häufiger vom Einsatz phasenlinearer Filter gesprochen, die es ermöglichen, durch Veränderung der Amplitude, nicht aber der Phase, zu einer optimalen Kanalgleichheit zu kommen. Die Praxis bestätigt diese Annahme und die Ortungsschärfe nimmt teilweise deutlich zu. Allerdings erkaufte man sich diesen Vorteil durch eine A/D-D/A-Wandlerstrecke und muss die Vor- und Nachteile durch ausgedehnte Hörsitzungen abwägen. Außerdem hat man hier zum Teil mit Latenzen zu tun, die ein Echtzeithören unmöglich machen.



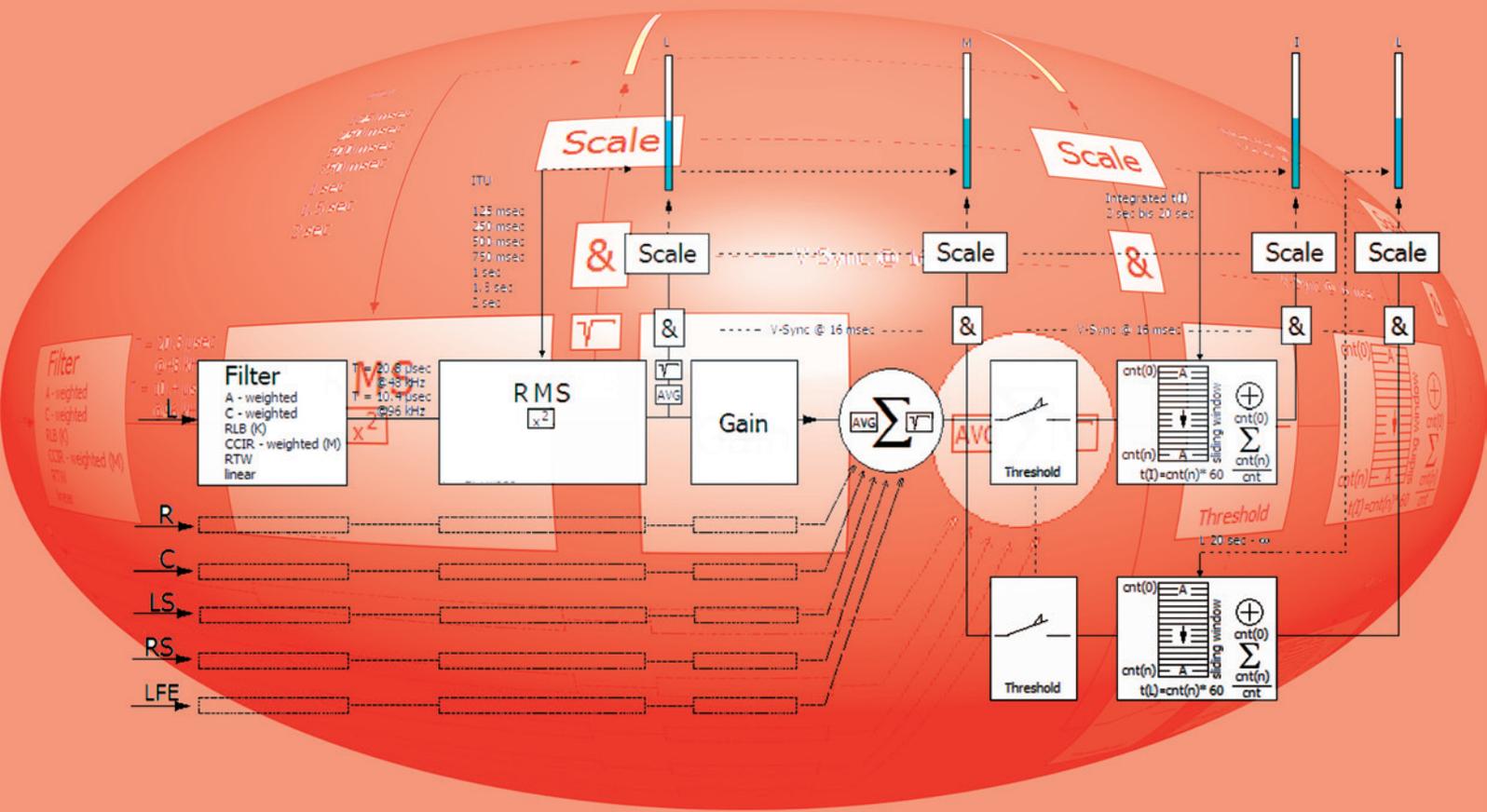
Eine entzerrte Übertragungsfunktion, die recht stabil im Bereich der Abhörposition aufrecht erhalten bleibt. Es waren nur einfache Eingriffe mit  $\pm 3$  dB Anhebung und Absenkung erforderlich

Nutzt man die Abhörsektion seiner DAW-Software, und ermöglicht diese ein Einschleifen von Plug-In-Filtern, kann man sehr kostengünstig zu einer effektiven Lösung kommen. Ein Template mit voreingestellten Monitor-Filtern lässt sich leicht speichern und beim Öffnen eines neuen Projektes problemlos laden. Die Einschätzung, ob der Einsatz eines Korrekturfilters, gleich welcher Bauart, wirklich sinnvoll ist, erfordert eine genaue Untersuchung dessen, was man da eigentlich durch Filtern beseitigen möchte. Wenn einen halben Meter weiter die Übertragungsfunktion quasi auf dem Kopf steht, macht der Einsatz eines Filters wenig Sinn. Auch raumakustisch verursachte Probleme bei ungünstiger Verteilung der Moden lassen sich durch Filter allenfalls für eine einzige Position heilen. Hier ist größte Vorsicht geboten, einer scheinbar sauberen Messung an der Abhörposition auf den Leim zu gehen. Daher sollte man grundsätzlich einen größeren Bereich um die Abhörposition untersuchen, um festzustellen, ob die ermittelten Probleme in diesem Abhörbereich eine gewisse Gleichförmigkeit aufweisen.

## Fazit

Natürlich ist die beste Lösung eine konsequente Planung der Raumakustik und auch dann gibt es noch genügend Arbeit, die Abhörsituation durch Gestaltung des Arbeitsplatzes problemfrei zu halten. Wichtig ist ein ungehindertes Abstrahlen der Studiomonitore zur Abhörposition, eine intelligente geometrische Auslegung der Studiomöbel, die korrekte Anwendung der ‚Stereo-Regularien‘ und ein möglichst sauber und gleichmäßig abklingender

Raum ohne störende frühe Reflexionen von Begrenzungsflächen aller Art. Es ist sehr wichtig, einen Abhörraum nicht zu überdämpfen, nur weil Absorption preiswerter als Diffusion zu realisieren ist. Die Rückwand einer Regie kann voll und breitbandig absorptiv gestaltet werden, jedoch ist ein kombinierter, möglichst diffuser Rückwurf durch entsprechende Diffusor-Teilflächen in den meisten Fällen von Vorteil. Es gibt kombinierte Bauelemente, die gleichzeitig Diffusion und Tiefenabsorption liefern, so dass man zum Beispiel im Zusammenhang mit einer vollständig absorptiven Decke ein sehr schönes, offenes Klangbild an der Abhörposition erhält. Steht ein entsprechendes Budget jedoch nicht zur Verfügung, kann man auch mit einfacheren Mitteln zum Ziel kommen. Oft entpuppt sich eine aus Schallschutzgründen gebaute Gipskartonvorsatzschale als effektiv arbeitender Tiefenabsorber und man kommt mit zusätzlichen Porösabsorbern zu einem sehr befriedigenden Ergebnis. Ich habe schon Räume mit Holzpanelen-Verkleidung gemessen, die dem Erbauer in der Summe aller gemachten Fehler zu einer überraschend guten Abhörsituation verholfen haben. Aber Glück kann man eben nicht planen. Wenn Sie dieser Beitrag für den wichtigsten Aspekt der Produktionsarbeit, nämlich das entscheidungssichere Abhören, stärker sensibilisiert hat, habe ich mein Schreibziel erreicht. Der Bau eines Regieraums, sei es mit noch so einfachen Mitteln, kann durch sorgfältige Überlegung und die Berücksichtigung der wesentlichen Kriterien eine Erfolgsgeschichte werden. Aber denken Sie bitte daran, dass auch andere Aspekte wie Schallschutz und Klimatisierung eigentlich unvermeidlich und untrennbar von raumakustischen Überlegungen mit auf der Aufgabenliste stehen.



Michael Kahsnitz, RTW, Abbildungen: RTW

# Wachablösung

Lautheitsmessung in Broadcast und Produktion – 2009

Noch nie in der Geschichte von Rundfunk und Fernsehen waren die technischen Voraussetzungen für eine hohe Audio-Signalqualität so gut wie heute. Der verfügbare Dynamikbereich auf der Produktions- und Senderseite – und mit Einführung von DAB plus auch auf der Empfangsseite – genügt längst auch gehobenen Ansprüchen, wird aber leider bisher nur in Ausnahmefällen sinnvoll genutzt. Stattdessen bestimmen Werbung, Sender-Promos und Popmusik mit gegen Null strebender Programmdynamik als Ergebnis eines absurden Lautheits-Wettbewerbs sowie extreme Lautheits-Sprünge zwischen unterschiedlichen Programmformaten und Sendern das Bild der Rundfunk- und Fernsehlandschaft, wie es der nicht ohne Grund zunehmend verärgerte Konsument heute wahrnimmt. Gleichzeitig haben sich die Gewohnheiten und Werkzeuge für die Messung von Audiosignalen in den Sendern noch nicht durchgängig der aktuellen Situation angepasst – sie stammen vielfach aus der Zeit, als es galt, angesichts knapper Dynamik-Ressourcen möglichst kein dB zu verschenken und sich in erster Linie am technisch möglichen Maximalpegel zu orientieren. Auch wenn die Tage des klassischen Peakmeters ganz sicher alles andere als gezählt sind, sollte im Mittelpunkt der visuellen Signalanalyse im Produktions- und Sendebereich heute die Lautheitsmessung stehen. Nur dann, wenn unterschiedliche Programmteile nicht mehr ausschließlich hinsichtlich ihres Spitzenpegels, sondern anhand ihrer Lautheit beurteilt und auf dieser Basis normalisiert werden, lässt sich der heute beim Zuschauer zur lästigen Gewohnheit gewordene Griff zur Fernbedienung zwecks Anpassung der Wiedergabelautstärke künftig wirkungsvoll unterbinden. Der Einsatz von Metadaten und die Einschränkung der Programmdynamik auf der Wiedergabeseite (DRC) sind zwar potentiell hilfreiche Werkzeuge zur Verbesserung der Situation; leider werden sie allerdings bislang nicht großflächig genutzt, was seine Ursache vermutlich nicht zuletzt in den Schwierigkeiten des Fernsehzuschauers oder Hörers bei der Programmierung eines modernen AV-Receiver hat.



**Michael Kahsnitz** ist Technischer Leiter der Kölner Hersteller- und Vertriebsfirma RTW, die auf Audio-Messtechnik und Geräte zur Visualisierung von Audiosignalen spezialisiert ist. Kahsnitz arbeitet bereits seit 1989 für das Unternehmen; zu seinen Aufgabengebieten zählen der Technische Support, die

technisch-strategische Ausrichtung sowie die Koordination von Entwicklung, Fertigung, Support und Vertriebsaktivitäten.

Noch nie in der Geschichte von Rundfunk und Fernsehen waren die technischen Voraussetzungen für eine hohe Audio-Signalqualität so gut wie heute. Der verfügbare Dynamikbereich auf der Produktions- und Senderseite – und mit Einführung von DAB plus auch auf der Empfangsseite – genügt längst auch gehobenen Ansprüchen, wird aber leider bisher nur in Ausnahmefällen sinnvoll genutzt. Stattdessen bestimmen Werbung, Sender-Promos und Popmusik mit gegen Null strebender Programmdynamik als Ergebnis eines absurden Lautheits-Wettbewerbs sowie extreme Lautheits-Sprünge zwischen unterschiedlichen Programmformaten und Sendern das Bild der Rundfunk- und Fernsehlandschaft, wie es der nicht ohne Grund zunehmend verärgerte Konsument heute wahrnimmt. Gleichzeitig haben sich die Gewohnheiten und Werkzeuge für die Messung von Audiosignalen in den Sendern noch nicht durchgängig der aktuellen Situation angepasst – sie stammen vielfach aus der Zeit, als es galt, angesichts knapper Dynamik-Ressourcen möglichst kein dB zu verschenken und sich in erster Linie am technisch möglichen Maximalpegel zu orientieren. Auch wenn die Tage des klassischen Peakmeters ganz sicher alles andere als gezählt sind, sollte im Mittelpunkt der visuellen Signalanalyse im Produktions- und Sendebereich heute die Lautheitsmessung stehen. Nur dann, wenn unterschiedliche Programmteile nicht mehr ausschließlich hinsichtlich ihres Spitzenpegels, sondern anhand ihrer Lautheit beurteilt und auf dieser Basis normalisiert werden, lässt sich der heute beim Zuschauer zur lästigen Gewohnheit gewordene Griff zur Fernbedienung zwecks Anpassung der Wiedergabelautstärke künftig wirkungsvoll unterbinden. Der Einsatz von Metadaten und die Einschränkung der Programmdynamik auf der Wiedergabeseite (DRC) sind zwar potentiell hilfreiche Werkzeuge zur Verbesserung der Situation; leider werden sie allerdings bis-

lang nicht großflächig genutzt, was seine Ursache vermutlich nicht zuletzt in den Schwierigkeiten des Fernsehzuschauers oder Hörers bei der Programmierung eines modernen AV-Receivers hat.

Wie sich leicht nachvollziehen lässt, besteht der erste Schritt auf dem Weg zu einer konsistenten Programmlautheit darin, geeignete Methoden und Werkzeuge zu ihrer Messung an verschiedenen Punkten der Produktions- und Distributionskette bereitzustellen. Unbedingte Voraussetzung dafür sind verbindliche Standards, mit denen die Vergleichbarkeit von Messergebnissen erst möglich wird. Die ITU (International Telecommunication Union) beschäftigt sich seit geraumer Zeit mit der Definition entsprechender Vorgaben (BS.1770/1771), die allerdings derzeit noch den Status von Empfehlungen haben; die EBU-Projektgruppe P/Loud arbeitet mit einem internationalen Team an entsprechenden Richtlinien und ihrer schnellen Umsetzung durch die europäischen – und wenn möglich natürlich auch die internationalen - Sendeanstalten. Ins Bewusstsein der deutschen Radiohörer und Fernsehzuschauer ist die Thematik wohl erstmals gegen Ende der 80er Jahre gerückt, als die privaten Hörfunksender damit begannen, den sorgfältig ausbalancierten Programmen der öffentlich-rechtlichen Sendeanstalten ihre nach ganz anderen Gesichtspunkten gefahrenen Sendungen entgegen zu setzen. Hier ging es plötzlich um einen möglichst hohen Aufmerksamkeitsgrad beim Hörer, der nicht zuletzt durch eine maximale subjektive Lautheit erzeugt werden sollte. Bereits in dieser Zeit begann der Hersteller RTW damit, sich mit der Thematik zu befassen; die Grundlage dazu bildeten umfangreiche Forschungsarbeiten von K. Wagner. Das Ergebnis war eine eigene Bewertungskurve, die dann Anfang der 90er Jahre in die ersten RTW-Peakmeter mit integrierter Lautheitsmessung implementiert wurde.

## Grundlagen

Während die messbare Lautheit in erster Linie von Schalldruck und Frequenz bestimmt wird, hängt die subjektiv empfundene Lautheit eines Hörers zusätzlich noch von vielen weiteren Einflüssen ab, die sich messtechnisch kaum abbilden lassen. Dazu gehören beispielsweise Alter und Geschlecht des Hörers, die Art der Darbietung im Hinblick auf die kulturelle Herkunft des Rezipienten, Stimmung und Geschmack sowie nicht zuletzt auch das individuelle Interesse am Programminhalt sowie die Hördauer – für die berühmte ‚Fahrstuhlmusik‘ gelten sicherlich völlig andere Kriterien als für konzentrierten, aktiven Musikgenuss.

Bleiben wir aber bei den für eine Messung relevanten Pa-

rametern: Neben einer Frequenzbewertung spielt auch die Leistungsmessung und damit die Dauer einer Signalkomponente eine wichtige Rolle – ein kurzer Knackser wird auch mit hohem Pegel noch toleriert, während ein Signal längerer Dauer mit gleichem Pegel völlig inakzeptabel wäre. Es sollte nach unseren Erkenntnissen deshalb eine bewertete RMS-Messung mit einer Integrationszeit größer als 250 Millisekunden erfolgen. Zudem ist auch eine Bewertung des Programms mit Hinblick auf die erwartete Zielgruppe hilfreich – ein Autofahrer hat völlig andere Ansprüche an den Dynamikbereich als beispielsweise der Hörer klassischer Musik in einer entspannten Abhörsituation zuhause. Schließlich muss eine Lautheitsmessung auf verlässlichem Statistik-Material basieren – die McGill-Universität, IRT, ITU, Zwicker und RTW sind einige Beispiele für mögliche Quellen solcher statistischen Erhebungen.

Die von RTW genutzten Untersuchungen zur Lautheit basierten ursprünglich auf der ISO-Kurve R26 (siehe Abbildung 1). Diese Kurve wurde später im Rahmen aufwändiger Versuchsreihen, an denen sowohl Fachleute als auch Laien als Hörer beteiligt waren, verfeinert. Schließlich stellten nur noch 2,2 Prozent der Probanden subjektiv große Unterschiede zwischen verschiedenen Hörbeispielen fest, die mit Hilfe einer RMS-Messung auf Basis der resultierenden Bewertungskurve normalisiert worden waren, während 58% der Probanden eine gute Übereinstimmung angaben.

Die Abbildung 2 zeigt verschiedene andere Frequenzbewertungskurven, darunter als Klassiker die bis heute teilweise von Dolby eingesetzte A-Kurve oder die M-Bewertung, die häufig für die Lautheitsbetrachtung im Kinobereich genutzt wird. Grün dargestellt ist die RLB-Kurve, die als erstes Ergebnis der ITU BS.1770 entstand. RLB steht dabei für ‚Revised Low Frequency B-Curve‘, da diese Bewertungskurve sich im unteren Frequenzbereich von der als Grundlage verwendeten B-Kurve unterscheidet. Später wurde diese Kurve durch Hinzufügen eines Preemphasis-Filters noch einmal modifiziert, um die akustischen Auswirkungen des Kopfes besonders bei Surround-Wiedergabe besser zu berücksichtigen. Das Ergebnis ist die blau dargestellte R2LB-Kurve, die das heute für Lautheitsmessungen nach ITU verwendete Bewertungsfilter darstellt. Auf der Suche nach einer handlicheren Bezeichnung für das Filter entschied man sich für den Buchstaben ‚K‘, so dass das R2LB-Bewertungsfilter heute offiziell als K-Filter bezeichnet wird. Dies ist im Hinblick auf das vom Mastering-Ingenieur Bob Katz eingeführte ‚K-Metering‘ leider etwas verwirrend und sollte nicht verwechselt werden, zumal Katz sich mit einer durchaus verwandten Problematik befasst. Natürlich sollte im Sinne einer leichten Vergleichbarkeit

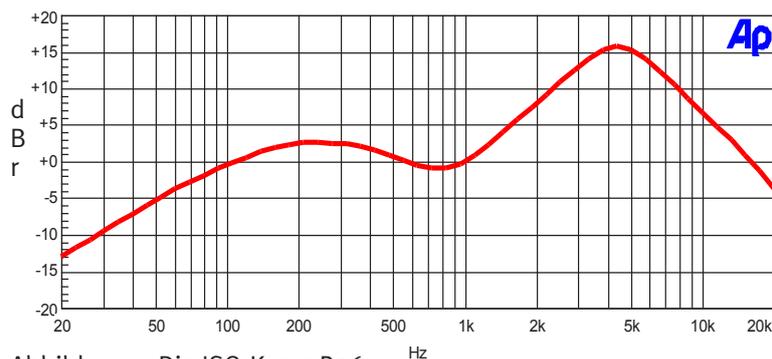


Abbildung 1: Die ISO-Kurve R26

neben dem Bewertungsfilter auch die Einheit und die Skala für Lautheitsmessungen standardisiert werden. Nachdem als Einheit zunächst ‚dBLU‘ (LU für ‚Loudness Unit‘) vorgeschlagen worden war, bevorzugten jüngere Empfehlungen eine ‚LKFS‘-Skala: Loudness (L) mit K-Bewertung bezogen auf Full Scale (FS). Man kann also für die Zukunft davon ausgehen, dass die Angabe eines LKFS-Werts immer das Ergebnis einer Lautheitsmessung beinhaltet. Auch wenn das ‚dB‘ hier nicht mehr explizit erwähnt wird, liegt es dieser Bezeichnung natürlich weiterhin zugrunde. Der Bereich und Umfang einer LKFS-Skala ist derzeit nicht definiert; RTW verwendet in seinen Instrumenten einen Anzeigebereich von -31 bis 0 LKFS.

## Anforderungen an Lautheitsmessungen

Es ist nach den bisherigen Erfahrungen unrealistisch, die recht unterschiedlichen Anforderungen an Lautheitsmessungen in Produktion, Sendung,

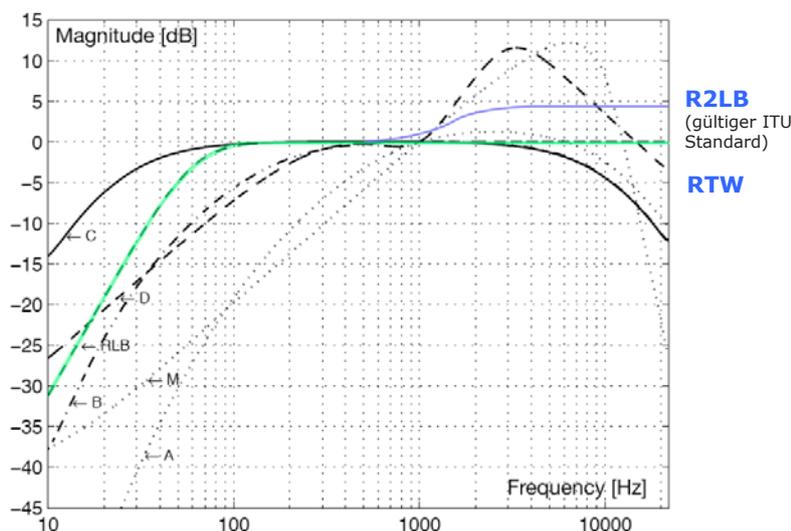


Abbildung 2: Verschiedene Frequenzbewertungskurven. Die ursprüngliche RLB-Kurve der ITU BS.1770 ist grün dargestellt.

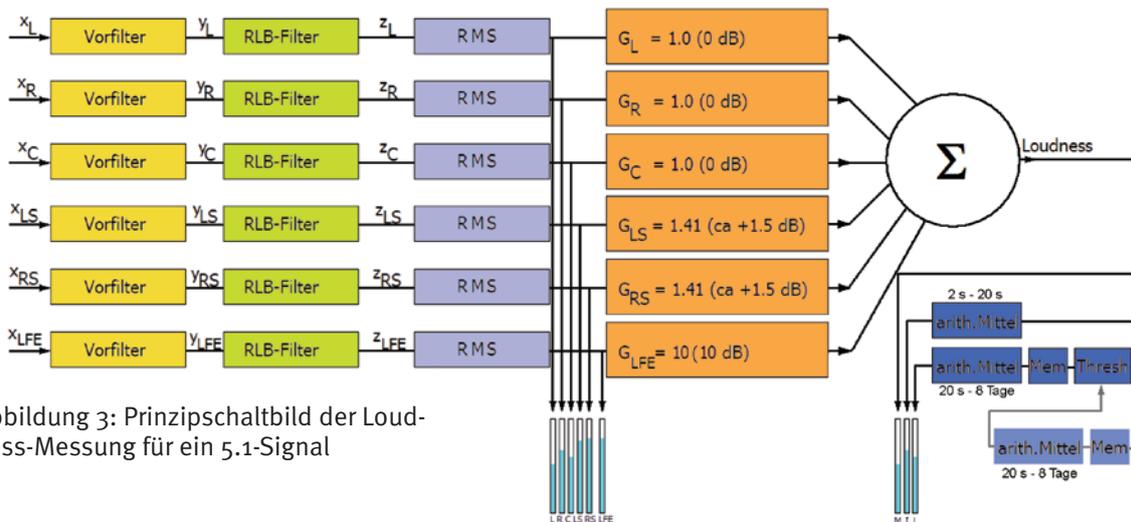


Abbildung 3: Prinzipschaltbild der Loudness-Messung für ein 5.1-Signal

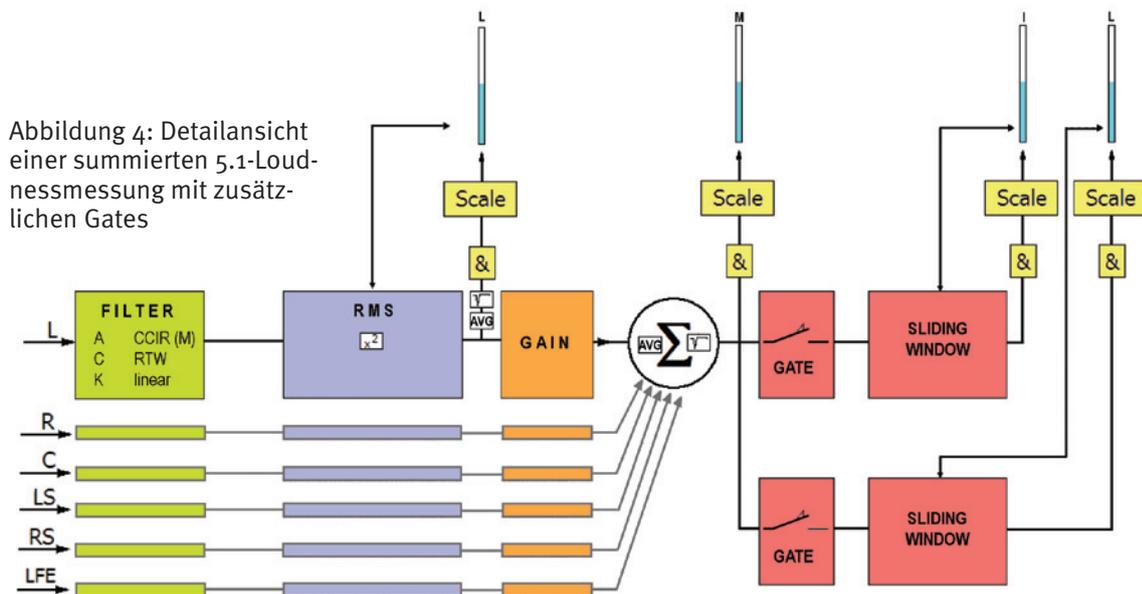


Abbildung 4: Detailansicht einer summierten 5.1-Loudnessmessung mit zusätzlichen Gates

Qualitätskontrolle und etlichen anderen Anwendungsbereichen mit einer einzigen Messung bedienen zu wollen. Wie sich bei näherer Betrachtung schnell zeigt, benötigen die einzelnen Aufgabenbereiche recht unterschiedliche Integrationszeiten. So müssen im Produktionsbereich praktisch verzögerungsfrei laufend aktualisierte Ergebnisse von Lautheitsmessungen in Einzelkanälen zur Verfügung stehen, damit beispielsweise bei Live-Übertragungen schnell reagiert werden kann – hier sind also kurze Integrationszeiten gefragt. Gleichzeitig sind bei Produktion und Sendung Summensignalmessungen mit mittlerer Integrationszeit sinnvoll, um beispielsweise die Gesamtlautheit einer Surround-Mischung beurteilen zu können. Solche Messungen liefern beispielsweise eine wichtige Tendenzanzeige mit Informationen darüber, in welche Richtung sich die Programm-Lautheit beispielsweise während der letzten 20 Sekunden entwickelt hat. Für Qualitätskontrolle, Logging und Überwachung sind dagegen Langzeitmessungen

der Summensignale mit sehr langen Integrationszeiten gefordert – beispielsweise im Hinblick auf eine geforderte Dokumentation des Lautheitsverlaufs eines Senders. Die Ergebnisse solcher Messungen können beispielsweise als numerischer Durchschnittswert, aber auch als Kurvendiagramm über der Zeit dargestellt werden.

Wichtig ist darüber hinaus die Definition eines geeigneten Schwellwerts für niedrige Lautheitspegel, damit Modulationspausen oder sehr leise Programmteile nicht in die Mittelwertbildung einfließen können. Der ermittelte Lautheitswert würde sehr laut sein, aber kürzere Programmteile sonst bei Programm mit hoher Dynamik nicht gut reflektieren. Deshalb ist für die Messungen mit längeren Integrationszeiten der Einsatz eines Gatings sinnvoll, um Signalpausen aus der Berechnung auszuklammern. Natürlich sollte neben der Lautheitsmessung auch der Spitzenwertpegel eines Signals (PPM) jederzeit darstellbar bleiben, damit beispielsweise Übersteuerungen weiterhin erkannt werden.

---

---

## Implementierung

---

Die Abbildung 3 zeigt die mögliche Implementierung einer Lautheitsmessung an einem 5.1-Signal nach aktuellen ITU-Empfehlungen am Beispiel eines RTW-Instrumentes. Jedes Einzelsignal durchläuft zunächst die von einem Vorfilter und dem RLB-Filter gebildete K-Bewertung sowie einen RMS-Detektor als erste Integrationsstufe mit einer auf Werte zwischen 125 Millisekunden und 2 Sekunden einstellbaren Zeitkonstante. Da die aktuellen Empfehlungen für diese Integrationszeit bisher noch keinen festen Wert vorschreiben, ist dieser Parameter derzeit variabel ausgeführt – und damit ein erster Unsicherheitsfaktor, der einer Vergleichbarkeit von Messungen entgegen steht. Der resultierende Lautheitsmesswert wird für jeden Kanal auf einem Bargraph ausgegeben. Gleichzeitig werden alle Einzelsignale über individuelle Gain-Stufen addiert, um eine summierende Lautheitsmessung aller Kanäle zu bilden. Für die hinteren Surroundkanäle wird dabei ein Gain-Faktor von +1,5 dB gegenüber den Frontkanälen vorgeschlagen, um der evolutionär begründeten Tatsache Rechnung zu tragen, dass Menschen und Tiere auf rückseitige Schallereignisse empfindlicher reagieren als auf frontale – schließlich haben wir hinten keine Augen, die unmittelbar Entwarnung geben könnten. Auch diese Gain-Werte werden allerdings bisher nicht zwingend gefordert und müssen damit variabel bleiben. Wie man sieht, wird für die summierte Lautheitsmessung auch das LFE-Signal mit einem zuschaltbaren Gain von +10 dB herangezogen. Angesichts des Kurvenverlaufs des RLB-Filters im unteren Frequenzbereich stellt sich allerdings die Frage nach der Relevanz des LFE für die Messung. Deshalb wird der LFE-Kanal in den meisten RTW-Instrumenten nicht mit in die Summierung einbezogen.

Das summierte Signal kann im gezeigten Beispiel mehrfach genutzt werden: Zur Anzeige eines Momentanwerts für die Summen-Lautheit ohne weitere Integration, integriert über eine mittlere Zeitdistanz zwischen 2 und 20 Sekunden sowie als Langzeitmessung über Zeitspannen von bis zu 8 Tagen. Die beiden längeren Messungen arbeiten dabei mit einem dynamischen Zeitfenster. Dies hat zur Folge, dass für die aktuelle Mittelwertbildung immer die volle Anzahl an Einzelmessungen genutzt werden, da für jeden neuen Messwert jeweils der älteste überschrieben wird. Besonders für Langzeitmessungen stellt sich natürlich die Frage nach einer geeigneten Messdauer; hier bleiben die aktuellen Vorschläge mit einem beliebigen Wert oberhalb von 20 Sekunden noch sehr unscharf. Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass sich die bei verschiedenen Programmen gemessenen Werte schon nach einigen

Stunden kaum noch bewegen; eine Messung über mehrere Tage erscheint daher eigentlich nur für Dokumentationszwecke sinnvoll.

In Abbildung 4 durchläuft das summierte Messsignal für die längeren Integrationszeiten zusätzlich bereits oben erwähnten Gates mit variablen Threshold-Parametern. Nur dann, wenn das Signal die dort eingestellte Pegelschwelle überschreitet, wird es der nächsten Integrationsstufe zugeführt und aktualisiert damit den dort gebildeten Messwert. Sobald das Gate schließt, wird eine entsprechende Bargraph- oder numerische Anzeige auf ihrem letzten Wert eingefroren. Auch hinsichtlich eines geeigneten Threshold-Wertes für die Lautheitsmessung ist die Meinungsbildung innerhalb der beteiligten Gremien bisher noch nicht abgeschlossen; derzeit werden zu diesem Thema mit hoher Priorität umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt. Nicht übersehen darf man die Tatsache, dass sich bereits erfasste Langzeitmessungen durch späteres Verändern der Schwellwerte auch noch nachträglich beeinflussen lassen, wenn alle Messwerte gespeichert werden, also nicht nur die oberhalb der aktuell eingestellten Schwelle liegenden.

---

## Zum Schluss

---

Die bisher erarbeiteten Empfehlungen von ITU und EBU sind aus meiner Sicht bereits jetzt sehr wichtige Werkzeuge auf dem Weg zu einer konsistenten Lautheit. Insgesamt betrachtet stehen einer wirklich standardisierten Lautheitsmessung derzeit noch eine ganze Reihe variabler Parameter entgegen, beispielsweise die Zeitkonstanten der RMS-Bildung und der folgenden Integrationsstufen, die Gains der Einzelkanäle bei der Summenbildung und die Gate-Schwellwerte. In der aktuellen Variante des ITU-Vorschlags wird diese Aufzählung noch um die fakultative Beteiligung des LFE-Kanals an der Messung erweitert. Natürlich ist es im Interesse des Anwenders erstrebenswert, möglichst viele dieser derzeit noch variablen Parameter in einem eindeutigen Standard ‚festzuzurren‘, damit Messergebnisse unterschiedlicher Herkunft tatsächlich vergleichbar werden und ein Toningenieur sich an ein fremdes Mischpult setzen kann, ohne sich zunächst mit den Details der dort eingestellten Metering-Parameter befassen zu müssen. Das Engagement und die Effizienz, mit der solche noch offenen Fragen derzeit von Fachgruppen wie beispielsweise P/Loud angegangen werden, lassen allerdings auf handfeste Ergebnisse in näherer Zukunft hoffen, so dass dem Ziel einheitlicher Lautheitsmessungen, die aus unserer Sicht einen echten Fortschritt für die gesamte Audiobranche darstellen, hoffentlich schon bald nichts mehr im Wege stehen wird.

- 86 Adebar acoustics
- 82 adt-audio
- 81, 85 Akzent Audio
- 82 Apelton
- 87 Apogee
- 84 Audio Service
- 80 Audiotools
- 81 Avalon
- 83 D&R
- 83 dbs GmbH
- 86 DK-Technologies
- 80 Habst
- 81 Elysia
- 80 Fortune
- 81, 85, 86 Funk
- 82 Gotham
- 87 HE Studiotechnik
- 82 Heuss
- 81 Hörzone
- 81 IMM
- 83 Kabeltronik
- 87 Kahlen, Dieter
- 85 Korg & More
- 85 Lake People
- 83 mb akustik
- 81 Maselec
- 83 Mastering Works
- 84 Media Logic
- 82 Mutec
- 86 Neumann
- 86 NTI
- 82 OTZtronics
- 85 RTW
- 87 SSL
- 87 Steller
- 85 TAD
- 83 Thein
- 86 Thermionic
- 82 Vovox
- 80 Wave Nature
- 80 WK Audio
- 86 Wolf



**Sonderheft**  
**studio**  
**technik aktuell**

- rund 400 neue Produkte der professionellen Audiotechnik
- in über 30 Kategorien übersichtlich präsentiert
- Studio-Mikrofon-Liste

**studioemagazin**

Die elektronische Schwester des Studio Magazins ist eine viermal jährlich erscheinende, eigenständige Publikation, die kostenfrei von jedem Besucher unserer Website gelesen werden kann – interaktiv und Flash animiert mit zahlreichen Web- und Video-Links

**Jetzt bestellen unter**  
**www.studio-magazin.de**



**idconsole**

PC  
Mac

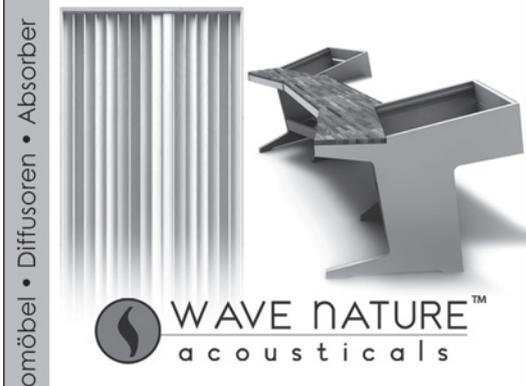
**idmix-vu**

Professionelle Hardware für Musik- und Post-Produktion. Entwickelt und optimiert für

**NUENDO 5**      **CUBASE 6**  
**steinberg**

**wk audio**      [www.wk-audio.de](http://www.wk-audio.de)  
[info@wk-audio.de](mailto:info@wk-audio.de)  
(49) 05427 - 1691

Studivormöbel • Diffusoren • Absorber



**WAVE NATURE™**  
acousticals

[wavenature.de](http://wavenature.de) • [contact@wavenature.de](mailto:contact@wavenature.de)  
+49 (0) 6152-8164-0

**FOR-TUNE** Vertrieb für professionelle Studiotechnik



Zuverlässige Verbindungen!

**CANFORD**

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

**AUDIOTOOLS**  
STUDIOTECHNIK



Mit der Reduktion von eingekoppelten Hochfrequenzen und Verteilungsverlusten bringen wir den wirklichen Fortschritt in Ihr Studio -

sauberen Strom für besseren Klang.

[Audiotools.de](http://Audiotools.de) • +49 (0) 7133 4915



**HABST**  
KABELANFAKTUR

habst.de • +49 (0) 30 695 34 895

**Wave Wood**

**Multi Fusor DC2**

**Flexi Pol A50/A75**

**Vicoustic**  
Innovative Acoustic Solutions

*Innovative Produkte für perfekte Raumakustik!*

Hörzone GmbH  
Schwindstraße 1  
80798 München  
Telefon 089.72110 06  
[www.hoerzone.de](http://www.hoerzone.de)

**HÖRZONE**

**AVALON DESIGN**

PURE CLASS A MUSIC RECORDING SYSTEMS

**Avalon Europe**  
Tel: +49 89 81886949  
Fax: +49 89 81893485  
[www.avalondesign.com](http://www.avalondesign.com)

**Avalon USA**  
Tel: +1 949 4922000  
Fax: +1 949 4924284

DISCRETE CLASS-A GEAR

**CRANE SONG LTD.**

TRAKKER HEDD FLAMINGO STC-8  
IBIS Egret SPIDER Avocet

**akzent audio**

Exklusiv im Vertrieb in Deutschland und Österreich bei: **akzent audio** • Tulpenweg 4 • 76571 Gaggenau  
Tel +49 7225 913730 • [info@akzent-audio.de](mailto:info@akzent-audio.de)  
[www.akzent-audio.de](http://www.akzent-audio.de)

**xpressor**  
DISCRETE CLASS-A STEREO COMPRESSOR

Auto Fast

elysia

GRL 13 14 12

**JETZT AUCH IN 19 ZOLL**

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

**Analog!**

Mischpulte in Inline-Technik für den Bereich Musikproduktion in verschiedenen Serien und unterschiedlichen Ausbaustufen der Automatisierung, Recall- und Reset-Möglichkeiten mit VCA- oder Motorreglersystemen. Mischpulte in Kassettenteknik mit und ohne Automation nach Kundenspezifizierung

SCHOLTWIESE 4  
D-45966 GLADBECK  
TELEFON: (02043) 51117  
[WWW.ADT-AUDIO.COM](http://WWW.ADT-AUDIO.COM)

**adt-audio**

**MASELEC**  
VERTRIEB DEUTSCHLAND

[www.maselec.de](http://www.maselec.de)  
[info@maselec.de](mailto:info@maselec.de)  
Tel +49 (0) 6152-8164-0

**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](http://www.funk-tonstudioteknik.de) E-MAIL: [funk@funk-tonstudioteknik.de](mailto:funk@funk-tonstudioteknik.de)  
**FUNK TONSTUDIOTECHNIK** 10997 BERLIN PFUELSTR.1A TEL. 030-6115123 FAX 030-6123449



**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](mailto:uli.apel@web.de)

**Unser Ziel: Die perfekte Übertragung von Tonsignalen.**

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

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

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

**studio magazin**

**In welchem Heft war der Artikel über ...?**  
 Das vollständige **StudioMagazin**-Inhaltsverzeichnis

mit Stichworten im 1st-Adress-/1st-Base-Datenformat für Atari ST kostet **je Heft 2.30 Euro, je Jahrgang 23.- Euro.** Konversion in andere Datenformate ist ohne Aufpreis möglich. Alle Preise zzgl. Porto/ Verpackung/ MwSt.

Bestellungen bei:  
 Johannes M. Heuss  
 Reichweinstraße 47 • D-90473 Nürnberg  
 Telefon: 0911/ 80 82 56

**OTZ TRONICS ANALOG DIGITAL AUDIO**

Net: <http://www.otz.com> e-mail: [support@otz.com](mailto:support@otz.com)

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

Bernhard Ramroth Sevelener Str. 9 47647 Kerken

dedicated to audio

1958 2008

**G**

[www.gotham.ch](http://www.gotham.ch)

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

**studio essentials!**

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

**MUTEC**



**mbakustik**  
büro für akustik und studiodesign



Akustikmodule - Beratung - Messung  
Planung - Installation - Stellwände  
Resonanzabsorber - Akustikvorhänge  
Bassfallen - Diffusoren - Möbel



[www.mbakustik.de](http://www.mbakustik.de) Tel. 0541/4068-214

**AURORA 8/AURORA 16**

8 und 16 Kanal A/D D/A Wandler

[www.lynxstudio.de/Aurora](http://www.lynxstudio.de/Aurora)



**Einer für Alles!**

- ▶ USB
- ▶ MADI
- ▶ ADAT
- ▶ FireWire
- ▶ ProTools
- ▶ AES/EBU

Im Vertrieb von: Digital Broadcast Systems GmbH  
Oberhöchstadter Str. 10 • 61440 Oberursel  
Tel. 06171/582010 • Fax 06171/582012 • Internet: [www.dbsys.de](http://www.dbsys.de)

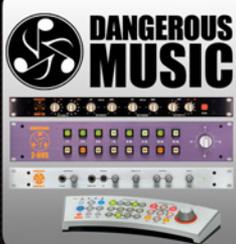


manufacturer  
of  
**MIXING CONSOLES**  
and  
**SIGNAL PROCESSORS**

- for
- Music Recording
  - (Film)Postproduction
  - Broadcast
  - Sound reinforcement
  - Installation

**Contact us at:**

Tel: 0031-294-418 014,  
Fax: 0031-294-416 987  
Website: [www.d-r.nl](http://www.d-r.nl),  
E-mail: [info@d-r.nl](mailto:info@d-r.nl)



Der Vertrieb für High-End Audio Equipment

MasteringWorks GmbH  
Tel.: +49 2236 393731  
[info@masteringworks.com](mailto:info@masteringworks.com)  
[www.masteringworks.com](http://www.masteringworks.com)

**kabeltronik®**

**AUDIO- UND VIDEOKABEL**



- ▶ Modulationskabel, Multicore
- ▶ Verdrahtungsleitungen
- ▶ Lautsprecherkabel
- ▶ Mikrofonskabel
- ▶ DMX - Kabel
- ▶ Kombileitungen
- ▶ Video-, Triaxkabel
- ▶ mobilfähige LAN-Kabel
- ▶ CAT 5e/CAT 7 Patchkabel
- ▶ USB-Kabel
- ▶ kundenspezifische Konstruktionen

**Wir liefern täglich bundesweit!**

Tel.: +49 (0)8466/94 04-0  
Fax: +49 (0)8466/94 04-20  
[info@kabeltronik.de](mailto:info@kabeltronik.de)  
[www.kabeltronik.de](http://www.kabeltronik.de)

**MOBILE RECORDING**

*...everywhere*

- Übertragung
- Sendung
- Produktion



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

Mehrspur bis 96-Spuren  
Live-Recording für CD und DVD  
Sendeton für Rundfunk und TV  
Mehrkanalton 5.1/ Dolby Surround  
Analog + Digital  
27 Jahre Audioerfahrung

**THEIN** Mobile Recording  
Blumenthalstr. 8  
D-28209 Bremen  
Tel. 0421-348 048  
Fax 0421-348 049



Ihr AV-Systemhaus

Professionelle Postproduction-,  
Broadcast-Technik und  
Systemintegration

Als eines der bundesweit führenden  
Medien-Systemhäuser beliefern wir  
Sie mit Audio-, Video- und AV-Netz-  
werkösungen führender Hersteller.  
Mit uns entstehen aus professioneller  
Technik und Systemintegration  
zukunftsichere Investitionen!

Unsere Leistungen umfassen

- Projektierung
- Systemintegration
- Vorführung
- Ausschreibung
- Leihstellung
- Reparatur
- Mitarbeiterschulung

Profitieren auch Sie von unserer Stärke  
und Erfahrung bei der Entwicklung und  
Optimierung Ihres vernetzten Workflows.

Media Logic – von Profis für Profis!



Unsere Partner und wir freuen uns auf Sie.

Media Logic GmbH  
10963 Berlin  
Tel. +49 (0) 30 259 24 46-0  
www.new-media-logic.de



LAKE PEOPLE electronic GmbH

development and  
manufacturing of  
audio electronic

### Digitale Wandler (19", 1 HE)

#### SRC F422

2/4-ch Sample-Rate Converter, 24 Bit, 96 kHz,  
Dynamik 128 dB. Digitale Ein- / Ausgänge sym.  
und koax.  
Sync: AES, AES-id, WCLK, Intern 32 ... 96 kHz

#### ADC F444

2/4-ch Analog-Digital Wandler, 24 Bit, 192 kHz,  
Dynamik 119 dB. Analoge Eingänge XLR sym-  
metrisch, digitale Ausgänge sym. und koax.  
Sync: AES, AES-id, WCLK, Intern 32 ... 192 kHz

#### ADDAC F446

2+2 ch A-D / D-A Wandler  
(siehe ADC F444 und DAC F466)

#### DAC F466

2/4-ch Digital-Analog Wandler, 24 Bit, 192 kHz,  
Dynamik 115 dB. Digitale Eingänge sym. und  
koax., analoge Ausgänge symmetrisch XLR.

#### MI-DAC F48

2-ch D-A Wandler, 24 Bit, 96 kHz, Dynamik 115 dB  
8 digitale Eingänge: 3x sym, 3x koax, 2x opto.  
Digitaler „Rec-Out“ Ausgang. „Master-Sektion“ mit  
vielen Funktionen. 2 x Stereo Ausgänge.

### Digitale Tools (19", 1 HE)

#### DIGI-TOOL F611

AES/EBU Verteiler 2 x 1 in 4

#### DIGI-TOOL F612

AES/EBU Verteiler 1 in 4 + WCLK Verteiler 1 in 8

#### DIGI-TOOL F622

WCLK Verteiler 2 x 1 in 8

#### MULTI-SYNC OPTION für F611, 612, 622

zur Format-Konvertierung und eigenständiger  
(redundanter) Taktversorgung extern: AES/EBU,  
AES-id, WCLK, intern 32 ... 192 kHz.

#### DIGI-TOOL F644

Format-Konverter 8 x AES/EBU - AES-id

#### DIGI-TOOL F645

4 x AES/EBU - AES-id, 4 x AES-id - AES/EBU

#### DIGITool F655

Format-Konverter 8 x AES-id - AES/EBU

### Smart Serie

Desk-Top Gehäuse 129x42x170 mm (BxHxT)

**SRC C420** 2-ch Sample-Rate Converter

**DFC C430** 3-weg Format Converter

**ADC C440** 2-ch A/D Wandler

**DAC C460** 2-ch D/A Wandler

**DAC C460-H** wie C460 mit Kopfhörerverstärker

**SBA C805** 2-ch Symmetrier-Verstärker

Ist das Gerät für Ihre Anforderungen  
nicht dabei? Wir entwickeln und  
fertigen im Kundenauftrag.  
Bitte fragen Sie an!!



LAKE PEOPLE  
electronic GmbH  
Turmstrasse 7a  
D-78467 Konstanz

www.lake-people.de

### Analoge Geräte (19", 1 HE)

#### MIC-AMP F355

2-ch State-of-the-Art Mikrofon-Verstärker mit allen  
Extras, gesplittete Ausgänge, optional trafosym.

#### MIC-AMP F366

4-kanaliger, rauscharmer und gut ausgestatteter  
Mikrofon-Vorverstärker. Opt. trafosym. Ausgänge.

#### VOL-CON F380

8-ch rauscharmer Lautstärkesteller für 5.1 / 7.1  
Surround-Anwendungen. Optional mit komfor-  
tabeler Fernbedienung und digitalen Eingängen.

#### PHONE-AMP F399

2/4 x Stereo Kopfhörer-Verstärker mit exzellenter  
Ausstattung und OPTI-MODE Technik.

### Analoge Tools (19", 1 HE)

#### ANA-TOOL F811

8-ch Symmetrierverstärker von Cinch auf XLR,  
zusätzliche Frontanschlüsse, Gain -3 ... +21 dB

#### ANA-TOOL F812

4-kanaliger Symmetrierverstärker +  
4-kanaliger Desymmetrierverstärker

#### ANA-TOOL F822

8-ch Desymmetrierverstärker von XLR auf Cinch,  
zusätzliche Frontanschlüsse, Gain -21 ... +3 dB

#### ANA-TOOL F833

4 x 2 in 1 / 2 x 4 in 1 vollsymmetrischer Summier-  
verstärker. Gain regelbar, Ein- und Ausgänge XLR.

#### ANA-TOOL F844

4 x 1 in 2 / 2 x 1 in 4 vollsymmetrischer Verteil-  
verstärker. Gain regelbar, Ein- und Ausgänge XLR.

### OPTIONEN für ANA-TOOLS:

Alle elektr. sym. Ein- und Ausgänge können über  
Trafos symmetriert werden.

### Kopfhörer Verstärker

Alle Kopfhörerverstärker verfügen über die exklu-  
sive OPTI-MODE Technologie zur Anpassung an  
die verwendeten Kopfhörer, symmetrische Ein-  
gänge über XLR, Kopfhörer über ¼" Klinke.

#### PHONE-AMP G93

Stereo-Kopfhörer-Verstärker, einfach ausgestattet

#### PHONE-AMP G95

Stereo-Kopfhörer-Verstärker, gut ausgestattet.

#### PHONE-AMP G97

Stereo-Kopfhörerverstärker sehr gut ausgestattet  
mit zusätzlichen Kommando-Eingang.

#### PHONE-AMP G99

Kompromissloser Hi-End Stereo-Kopfhörer-  
verstärker mit diskret aufgebauten Endstufen.

### Rack System

**DSR 503:** 3 HE für bis zu 16 Euro-Karten

**DSR 504:** 4 HE für bis zu 20 Euro-Karten

**DSR 506:** 6 HE für bis zu 40 Euro-Karten

Zubehör wie (redundante) Stromversorgungen,  
Ausfallsignalisierung, Busplatinen und diverse  
Anschlusspanels mit unterschiedlichsten  
Steckverbindern im Lieferprogramm.

**EMPA V26** Komfortabler Mic Vorverstärker

**EQTO V27** 4-ch Buffer/Splitter, trafosym. Ausg.

**EQTB V28** 4-ch Buffer/Splitter, trafosym. Eing.

**EUCG V51** Universelle Taktversorgung

**ESRC V52** 2-ch Sample-Rate Converter

**EDAC V54** 2-ch A/D Wandler

**EDAC V56** 2-ch D/A Wandler

**EUDS V58** Digitaler Verteiler 4 x 1 in 2 ... 1 in 8  
für AES/EBU, AES-id, WCLK Signale

www.lake-people.de

Tel: +49 7531 73678  
Fax: +49 7531 74998  
e-Mail: info@lake-people.de

**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](http://www.funk-tonstudioteknik.de) E-MAIL: [funk@funk-tonstudioteknik.de](mailto: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](mailto:mail@audio-service.com)

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

## STUDIO MONITORING SOLUTIONS

Our focus, your mix.



**KRK**  
SYSTEMS

Vertrieb D&A: KORG & MORE – a Division of Musik Meyer GmbH [krksys.com/de](http://krksys.com/de)

Entwicklung – Konstruktion – Fertigung – Logistik – Service



Sie haben die kreativen Ideen.  
Die Liebe zum Detail haben wir.

15 Jahre Audiokompetenz Made in Germany

Unsere Partner zählen auf uns - wann zählen Sie dazu?



IMM Gruppe | [www.imm-gruppe.de](http://www.imm-gruppe.de) | [audio@imm-gruppe.de](mailto:audio@imm-gruppe.de)

## Die Wachablösung



slate pro audio DRAGON  
Der neue FET-Kompressor

**akzent audio**

Exklusiv im Vertrieb in Deutschland und Österreich  
**akzent audio** • Tulpenweg 4 • 76571 Gaggenau  
 Tel +49 7225 913730 • [info@akzent-audio.de](mailto:info@akzent-audio.de)  
[www.akzent-audio.de](http://www.akzent-audio.de)

## The Peak of Performance

Im Bereich hochwertiger Instrumente zur Visualisierung von Audiosignalen setzt RTW als Innovationsleader immer wieder neue Maßstäbe. So erlauben zum Beispiel unsere neuartigen TouchMonitore einen nie gekannten Grad an Präzision, Effizienz, Leistungsfähigkeit und Flexibilität. Getreu unserem Motto: RTW. The Peak of Performance. Erfahren Sie mehr auf [www.rtw.de](http://www.rtw.de)

**RTW**

Studioplanung

Studioinstallation

Verdrahtung

Modifikation

Sonderanfertigung

Service

**TAD**  
Tontechnik  
Arno Düren

Professionelle Dienstleistungen  
rund um's Audio-, Video-  
und Multimediastudio

Pescher Straße 29 41352 Korschenbroich [info@tadnet.de](mailto:info@tadnet.de) [www.tadnet.de](http://www.tadnet.de)  
 Fon: +49 (0) 2161 649290 Fax: +49 (0) 2161 649297  
 Mitglied des Digital/Audio Network

# XL2 Audio- und Akustik Analysator

von Profis für Profis!

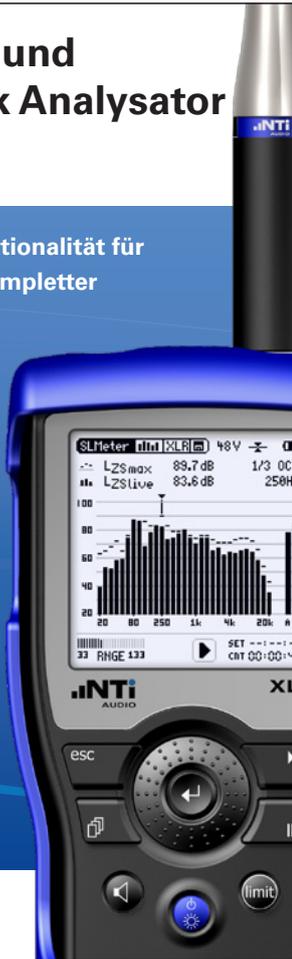
XL2 bietet kompromisslose Funktionalität für die Überprüfung und Wartung kompletter Audio-Systeme. Er analysiert:

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

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



Schweizer Qualität



## NEW Multichannel HD/SD Waveform Monitor

PT0760M



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-Decodermodule
  - 5.1 Surround Sound Messung
  - ITU-Loudness mit 400Hz oder 1 kHz Referenz

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

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

adebar acoustics

## Forsell Technologies SMP-2



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

NEUMANN.BERLIN  
THE MICROPHONE COMPANY



The new TLM 102

Smart. Sweet. Powerful.

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

## THERMIONIC CULTURE ENGLAND



GET CULTURED  
Real Tube Recording Products

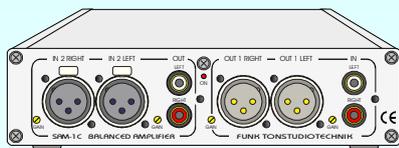
International Distribution by [UNITY AUDIO LTD](http://www.unityaudio.co.uk)

Tel: UK+ 1440 785843 Fax: UK+ 1440 785845 sales@unityaudio.co.uk [www.thermioniculture.com](http://www.thermioniculture.com)

## SAM-1C SAM-2C

analoge Audio-Konverter für höchste Ansprüche

- \* Brummschleifen beseitigen
- \* Audiosignale symmetrieren
- \* Audiosignale asymmetrieren
- \* Audiosignale summieren
- \* Audiosignale verteilen
- \* Audiopegel absenken
- \* Audiopegel verstärken
- \* Impedanz anpassen
- \* Massepotential-Unterschiede ausgleichen



analoge Symmetrier- und Differenzverstärker mit der höchsten Störsignalunterdrückung ihrer Klasse

INFOS: [www.funk-tonstudioteknik.de](http://www.funk-tonstudioteknik.de) E-MAIL: [funk@funk-tonstudioteknik.de](mailto:funk@funk-tonstudioteknik.de)  
**FUNK TONSTUDIOTECHNIK** D-10997 BERLIN PFUELSTR.1A TEL. 030-6115123 FAX 030-6123449

Full-Service zu Internetpreisen

Top 5 im Preisvergleich



Werden Sie Stützpunkthändler auf Provisionsbasis!  
Händler-Anfragen bitte an [info@123cd.de](mailto:info@123cd.de)

## Symphony I/O

The new standard in recording technology



APOGEE

[apogeedigital.com](http://apogeedigital.com)

contact: [germany@apogeedigital.com](mailto:germany@apogeedigital.com)

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

# SSL. Let's make music.



### Duality & AWS 900+



Die neuen Standards für Musikkonsolen

### XLogic



Analoge Bearbeitung von SSL im Rack

### C200 HD & C300 HD



Digital und intuitiv mit Workstationsteuerung

### I/O Range



Umfangreiches I/O-Angebot

### Matrix



Integriert und steuert Vintage und Workstation(s)

### Duende



SSL-Prozessoren in ihrer Workstation

**WWW.  
proaudiotext.**

Produkt-Dokumentation  
Handbuch-Konzept/ Realisation  
Grafik/ Layout  
Übersetzung **Dieter Kahlen**  
Redaktion Fachredaktion  
Foto 02845-33991  
0172-7419970  
[dk@proaudiotext.de](mailto:dk@proaudiotext.de)

**STELLER-ONLINE**   
pro audio und computertechnik



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

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

**VERTIGO SOUND**  
DISCRETE VCA COMPRESSION



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

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

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

**Music.**  
This is SSL.

**Solid State Logic**  
SOUND | | VISION

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