

DM 16,80

öS 135,- sfr 16,80

electro acoustic

**Grundlagen digitaler
Mischpulte**

DMP 7-Erfahrungsbericht

Moving Lights-
Licht in Bewegung

Mikrofone –
Entwicklungskriterien
und Anwendung

Markt
Verstärker, Mikrofone, Mixer

**Aspekte
der
Studioakustik**



HEISE



STATE OF THE ART

Die Erweiterung unseres MKH-Studiomikrofon-Programms:

MKH 50 (Superniere)

- * Nur 13 dBA Eigenrauschen
- * Außerordentlich niedrige Verzerrungen
- * Ungewöhnlich ausgewogener Frequenzgang auch bei seitlich einfallendem Schall

MKH 60 (kurzes Richtrohr)

- * Nur 10 dBA Eigenrauschen
- * Empfindlichkeit 40 mV/Pa (13 mV/Pa)
- * Schaltbare Filter
- * Minimales Gewicht
- * Das ideale Mikrofon für mittlere Aufnahmeentfernungen

MKH 60 (langes Richtrohr)

- * Nur 10 dBA Eigenrauschen
- * Optimierte Richteigenschaften
- * Empfindlichkeit 40 mV/Pa (13 mV/Pa)
- * Schaltbare Filter
- * Geringes Gewicht
- * Praxisgerechtes Zubehör

Die mit Abstand besten Mikrofone, die wir je gebaut haben. CD-Produktion oder Außendreh – mit diesen Mikrofonen stehen Sie an der Spitze des neuen technischen Standards.

Fordern Sie Erprobungsmuster an! Sennheiser electronic KG, 3002 Wedemark, Postfach, Telefon 0 51 30/6 00-3 94

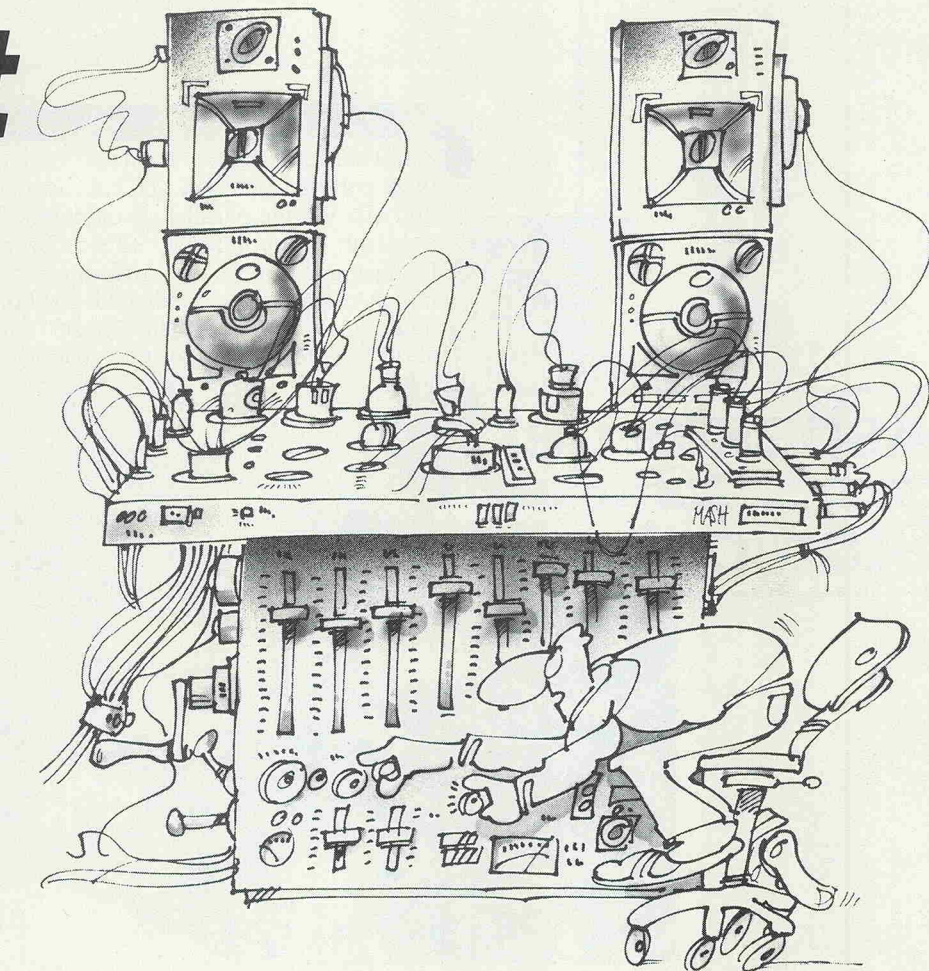
 **SENNHEISER**

Das ultimative Gerät

Jeder der seinen Beruf liebt — sei er nun Toningenieur, Meßtechniker, Musiker oder Akustiker — hat normalerweise das Bestreben, so perfekt wie möglich zu arbeiten; der beamtete Fader-Schieber im Öffentlich-Rechtlichen soll hier einmal außen vor gelassen werden.

Leider ist man bei der Beschäftigung mit einem derart flüchtigen Medium wie der Musik auf allerlei Hilfsmittel angewiesen. Musiker benötigen ein Instrument, Toningenieure ein Mischpult, Techniker und Akustiker Meßgeräte. Und es scheint in der Natur der Sache zu liegen, daß just im Moment ein Gerät auf den Markt kommt, das noch aufregendere Daten hat, noch einfacher zu bedienen oder sonst auf irgendeine Weise besser ist. Mit diesem Gerät könnte dann die Produktion noch einfacher und besser, das Einmessen der Maschine oder der Sound-Check noch effektiver im Sinne des oben angesprochenen Drangs nach Perfektion gemacht werden. Das ist der Anfang.

Das Ende dieses Ansatzes — konsequent und bis zum Exzess — findet man dann im vollautomatisierten, rechnergesteuerten Multitrack-Studio, in dem sich gerade der letzte Mensch mit einem Midi-Kabel entleibt, weil nun auch der Sampler über eine Zufallssequenz gesteuert werden kann.



Dazwischen findet sich die beruhigend große Spannweite von analoger und digitaler Kreativität, die hier mal einen kleinen Midi-Monitor einfügt und dort das zentnerschwere Multicore zwischen Bühne und Mischpult durch eine einzelne Glasfaser ersetzt; die aber andererseits auch den alten Transistor im Schalter läßt und die Zahnrad-Generatoren in der Hammond, einfach weil es gut klingt oder auch weil sich bestimmte Gewohnheiten und neudeutsch 'Benutzeroberflächen' (von Mischpulten beispielsweise) nicht ohne Grund in den letzten 50 Jahren Tontechnik gerade so und nicht anders entwickelt haben wie wir sie heute vorfinden.

Es sind nämlich nicht immer nur die eingeschliffenen, alten Gewohnheiten, die einem neuen Gerätedesign einen gewissen Widerstand entgegensetzen. Manchmal weiß der Software-Entwickler einfach nicht genug über bestimmte Arbeitsabläufe in einem Studio, um einen adäquaten Entwurf abliefern zu können.

In diesem Sinne um mehr Nachsicht werbend

Pete Röbbke-Doerr

Peter Röbbke-Doerr

Inhalt

Seite 13

Kontrollräume haben es meist in sich: ungünstig geschnitten, schlecht isoliert und alle Wände parallel. Trotzdem läßt sich mit dem nötigen theoretischen Background auch in hoffnungslosen Fällen noch eine befriedigende Abhörqualität erreichen. Einen Bericht zum aktuellen Stand der Kunst finden Sie ab

Aspekte der Studioakustik



Alles unter Kontrolle

Prozessorgesteuerte Endstufen sind der Renner der Saison. Überall wird die Steigerung der Wiedergabequalität gerühmt, doch kaum ein Meyer ließ sich bisher hinter die Frontplatte schauen. 'electro acoustic' stellt die verschiedenen Möglichkeiten und Schaltungstechniken firmenneutral vor.

Seite 68

Die Studio-Szene ist seit einiger Zeit im Umbruch: Analog raus, Digital rein. Ganz abgesehen von den Prestige-Gründen gibt es eine Reihe von Vorteilen, die diese neue Technik recht attraktiv aussehen läßt. Unser Beitrag durchleuchtet die Hardware und zeigt, wie's funktioniert.

Seite 44

Grundlagen digitaler Mischpulte



**Integration eines digitalen
Mischpults in den Studiobetrieb**
am Beispiel des DMP 7 von Yamaha



Mischpultkonstrukteure denken sich was, wenn die Pultdetails in der Designphase sind. Ob sich Yamaha beim DMP 7 etwas gedacht hat — und wenn ja, was — zeigt unser Bericht.

Seite 52

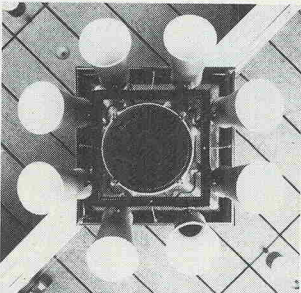
**Mikrofone -
Entwicklungskriterien
und Anwendung**



Nicht jedes Mikrofon ist auch für jede Anwendung geeignet — der Praktiker kennt diese Binsenweisheit. Warum das so ist und welche Kriterien dabei eine Rolle spielen, zeigt dieser Artikel.

Seite 28

**Neue Beschallungs-
anlage der Akademie
Remscheid**

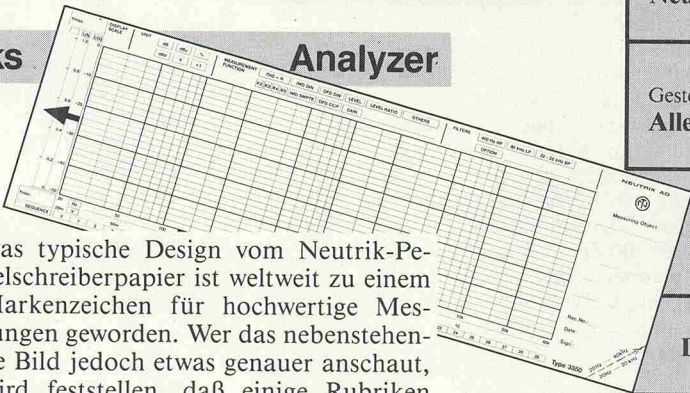


Öffentliche Hände haben zwar viele Aufgaben, sind aber meistens leer (vor allen Dingen, wenn es um solch 'unnütze' Dinge wie Kultur und Ausbildung geht!). Trotz dieser schlechten Voraussetzungen gelang es — durch einige etwas ungewöhnliche Überlegungen — eine gute (und natürlich preiswerte) Universal-Beschallungsanlage zu realisieren.

Seite 40

Neutriks

Analyzer



Das typische Design vom Neutrik-Pegelschreiberpapier ist weltweit zu einem Markenzeichen für hochwertige Messungen geworden. Wer das nebenstehende Bild jedoch etwas genauer anschaut, wird feststellen, daß einige Rubriken und Kästchen neu dazugekommen sind; lange angekündigt, jetzt erhältlich und von uns einem Praxistest unterzogen wurde Neutriks Analyzer auf

Seite 62

Übersicht

Editorial
Das ultimative Gerät

1

Markt

4

Akustik kleiner Räume
Aspekte der Studioakustik

13

Marktübersicht
Moving Lights

26

Entwicklungskriterien und Anwendung
Mikrofone

28

Die ungewöhnliche Problemlösung
Beschallungsanlage Remscheid

40

Theorie
Grundlagen digitaler Mischpulte

44

... und die Praxis
**Integration eines DMP 7
in den Studiobetrieb**

52

Die neue Generation
Neutriks Analyzer

62

Gesteuerte und geregelte Endstufen
Alles unter Kontrolle

68

Kurz-Test
Saje Memory

78

Das Letzte

79

Impressum

80

Inserentenverzeichnis

80

DAR Soundstation II

Eines der Ausstellungstücke, die auf der Tonmeistertagung besonders in Auge fielen, war die DAR Soundstation II im Vertrieb von Thum & Mahr (Bild 1).

Es handelt sich hierbei um einen Mehrkanalschnittplatz für digitale Audio-Daten, basierend auf einem Festplattensystem als Massenspeicher, der Zentraleinheit sowie dem Bedienpult. Bild 1 zeigt das Gesamtsystem: Festplatten und zentrale Recheneinheit sind in 19"-Einschubgehäusen untergebracht, die Bedienung des Systems geschieht über das separate Bedienpult.

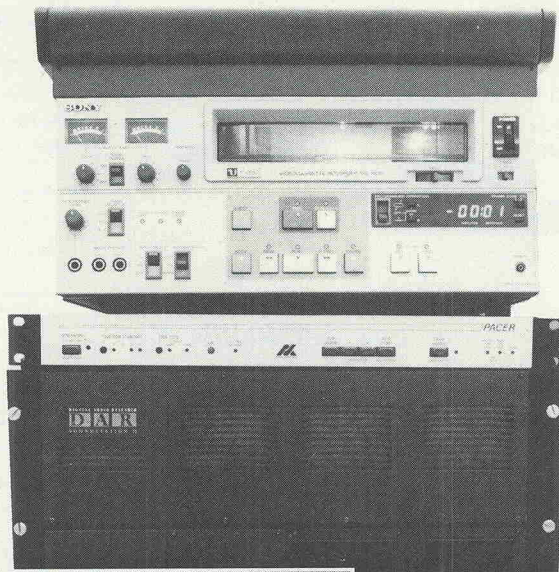
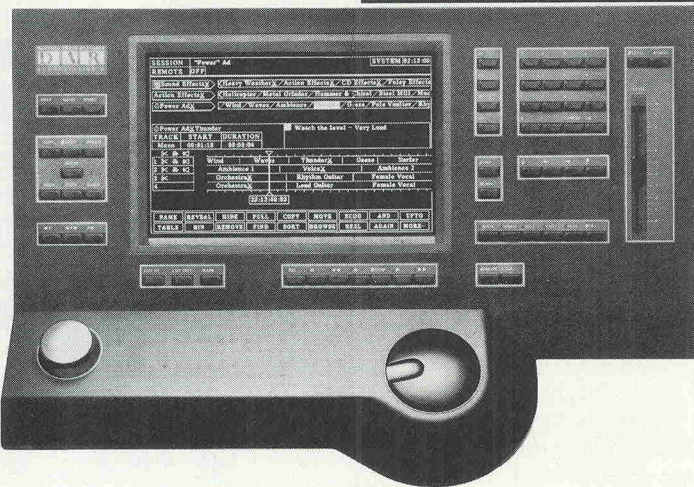


Bild 1 (oben): Die Elektronik der Soundstation mit Zuspieldmaschine, Bild 2 (links) das Bediengerät.



Wie viele Produkte der Computerindustrie mit der Bezeichnung Workstation, findet auch die Soundstation II, die ihren Namen zweifelsohne dort entlehnt hat, nötigenfalls komplett unter dem Schreibtisch Platz. Und stellt dort, ganz im Gegensatz zu Dingen, die normalerweise unter Schreibtischen stehen, eine ganz erhebliche Leistung zur Verfügung. Diese Leistungsfähigkeit wird bei der Soundstation II durch die intelligent gestaltete Benutzeroberfläche erst voll nutzbar.

Besonders ins Auge fällt daher zunächst die futuristisch anmutende Gestaltung des Bedienpultes (Bild 2). Von digitalen Mischpulten ist man ja schon Unorthodoxes gewohnt, bei der DAR Soundstation II empfindet man nun noch eine kleine Steigerung. Dazu jedoch später.

Zunächst ist die Soundstation II ein digitaler Schnittplatz; die zu schneidenden Takes werden digital auf die Festplatte überspielt. Zu diesem Zweck versteht die Maschine die gängigen Datenformate, wie z.B. AES/EBU. Zusätzlich stehen bis zu acht analoge Eingangskanäle zur Verfügung. A/D-gewandelt wird mit einer Auflösung von 18 Bit. Das garantiert einen Dynamikbereich von über 100 dB und erübrigt Diskussionen über hinreichende Dynamik, wie sie bei 16-Bit Maschinen mitunter aufkommen.

Das Kopieren auf die Festplatte(n) kann auch im Hintergrund geschehen, das Schneiden muß zu diesem Zweck also nicht unterbrochen werden.

Es besteht jedoch die Möglichkeit, in den Kopiervorgang hineinzuhören und bereits hier er-

ste Editiermarken zu setzen, die anschließend das Auffinden der geplanten Schnittstellen erleichtern.

Der eigentliche Schnitt wird über das Bedienpult gesteuert. Zentraler Punkt der Bedienoberfläche ist ein Plasmadisplay, wie man es ähnlich in Laptop-Rechnern findet, zusätzlich jedoch ist das Display der Soundstation II berührungsempfindlich.

Durch den recht flachen Einbau in das Bedienpult wirkt das Display auch eher wie eine Tastatur, die zusätzlich optisch Informationen weitergeben kann, als wie ein traditioneller Bildschirm. Sitzt man vor dem Bedienpult, so erweist sich diese Lösung als angenehmer zu bedienen als die etwas traditionellere Kombination Bildschirm — Maus.

Nach Laden der Schnittsoftware zeigt das Display etwa in der Mitte die je nach Ausbaustufe zwei bis acht verfügbaren Kanäle graphisch als Mehrspurband stilisiert (Bild 2). Die Spuren sind mit den Namen der darauf gespeicherten Takes beschriftet und mit der Länge des Takes entsprechenden Markie-

rungen versehen. Am oberen Bildrand befindet sich ein Bereich, auf dem Takes, z.B. zur Nachbearbeitung, zwischengespeichert werden können, am unteren Bildrand die zur Verfügung stehenden Editierkommandos in Form von stilisierten Funktionstasten. Ein einfacher Schnittpunkt besteht nun beispielsweise darin, einen Take von einer Spur an eine bestimmte Stelle einer anderen Spur zu kopieren. Dazu wird der zu kopierende Take auf dem Bildschirm angetippt, desgleichen die Zielposition auf der anderen Spur und anschließend die Funktions'taste' COPY angetippt.

Zum Auffinden der Schnittposition besteht die Möglichkeit, mit dem Stellrad unter dem Display wie beim shuttle-search eine Bandposition anzufahren. Dabei wird das simulierte Mehrspurband auf dem Display unter dem Cursorbalken entsprechend verschoben. Die gesamte Soundstation ist selbstverständlich für Timecode-Verkopplung geeignet. Alle relevanten Timecodeinformationen, beispielsweise die momentane Bandposition, werden auf dem Display dargestellt. Umgekehrt können ebenso bestimmte Bandpositionen durch Angabe des Timecodes angefahren werden. Neben der Timecodeverkopplung bietet das Gerät zusätzlich eine MIDI-Schnittstelle.

Die Soundstation II bietet eine Reihe weiterer Editierfunktionen, die hier nicht ausführlich behandelt werden können. Dazu gehören unter anderem Crossfade, Digitalfader, Pegel Anpassung und Pitchveränderung. Zudem kann eine Take ohne Pitchveränderung in seiner Länge verändert werden. Dies ist beispielsweise bei der Filmvertonung ein äußerst nützliches Hilfsmittel.

Das bearbeitete Material kann entweder auf die Mastermaschine kopiert oder auch, beispielsweise zum Aufbau eines Archivs, auf optische Wechselplatten mit einer Kapazität von 512 MByte je Platte gespeichert werden. Dies entspricht einer Speicherlänge von ca. 80 bis 96 Minuten, abhängig von der Abtastfrequenz. Die Festplattenlaufwerke fassen formatiert je 320 MByte, also 50 bis 60 Minuten Signal. □

SSM • AUDIO • PRODUCTS

SSM 2011 Vorverstärker-System	9,50	SSM 2024 Quad VCA.....	17,50
SSM 2012 Spannungsgest. Verstärker ..	26,90	SSM 2031 HF-VCO.....	9,50
SSM 2013 Spannungsgest. Verstärker ..	17,50	SSM 2033 VCO, Chipheizung	26,90
SSM 2014 Universelles sp.gest.		SSM 2038 VCO, low power.....	26,90
Element	19,90	SSM 2040 Universal-Filterbaustein ..	19,90
SSM 2015 Mikrofonvorverstärker	19,90	SSM 2044 4-pol. Tiefbaßfilter	17,50
SSM 2016 Hochwertiger Vorverstärker ..	26,90	SSM 2056 ADSR-Baustein	17,50
SSM 2020 Dual VCA	19,90	SSM 2134 Operationsverstärker,	
SSM 2022 Dual VCA	17,50	low noise	5,40

INGENIEURBÜRO SEIDEL

Entwicklung elektronischer Schaltungen
Beratung und Vertrieb

Dipl.-Ing. Ulf Seidel
Postfach 31 09, D-4950 Minden
Telefon (05 71) 2 18 87



Edm 15 VM I
3-Wege-Baßreflex-Box

Kontaktadresse:
Edy-music · Weddern 104
4408 Dülmen

Tel. 0 25 94 / 8 45 45

Lautsprecher Selbstbausätze
... für HiFi-Disco-Musiker Lautsprecher finden Sie in unserem fetten Gesamtkatalog! Ein unentbehrliches Nachschlagewerk für jeden, der in Puncto Lautsprecher-Selbstbau zu den informierten Spezialisten zählen will. Bausätze, Einzel-Chassis-Übersicht, Literaturprogramm, Zubehörteil

Katalog + Preisliste
gegen DM 5,- Briefmarken, Schein oder Scheck. Sofort anfordern!!! Ausland Versand-Service

**Bremervörder Straße 5
D-2160 Stade
Tel. (041 41) 820 42
Telefax (041 41) 844 32**

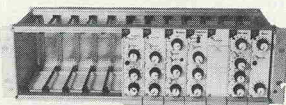
elektroakustik-stade

hifi

Logos: KEF, VISAT, Lowther, Magnat, JBL, TDL, Inter, oehlbach, FANE, WHD, THOR, vifa, AUDAX, HECO, DYNAUDIO, EV, isophon, CELESTION, Multicel, SCAS, BEYER, PERLESS.



Da
hören
Sie's



schwarz auf weiß

Die Sound-Putzer für Bühne und Studio:

Aktivbox AR 212:

- eingeb. Frequenzgangentzerrung
- eingeb. Limiter
- 200 Watt rms
- 12-zoll Lautsprecher + Horn
- hoher Wirkungsgrad
- einfache Handhabung
- sehr Rückkopplungsfest

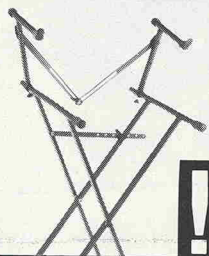
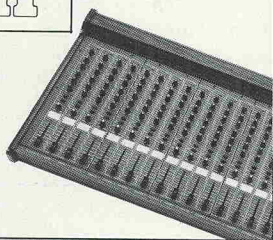
- Compressor/Limiter
- Noisegate
- Parametrischer Equalizer
- Exciter
- Vor- und Mischverstärker
- Frequenzweiche

Mik
Elektroakustik

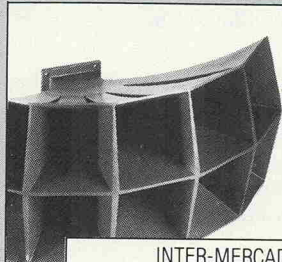
Schwarzwaldstraße 53
6082 Mörfelden-Walldorf
Telefon (0 61 05)
7 50 65 + 4 12 46

MONARCH®

**NEWS
89**



**PROSPEKT
GRATIS
ANFORDERN**



INTER-MERCADOR GMBH & CO KG
IMPORT - EXPORT

Zum Falsch 36 · Postfach 44-87 47 · 2800 Bremen 44
Telefon 04 21 / 48 90 90 · Telex 2 45 922 monac d · Telefax 04 21 / 48 16 35

etm
electronic gmbh

**HERSTELLUNG UND VERTRIEB
HOCHWERTIGER BAUTEILE FÜR
DEN LAUTSPRECHERBAU**

Luftspulen
Ferritspulen
Hochlast Eisenkernspulen
Leiterplatten
Frequenzweichen
Autofrequenzweichen

Tonfrequenzelkos
Folienkondensatoren
Drahtwiderstände
Lautsprecherkabel

Vertrieb erfolgt über den Fachhandel
kapellenstr. 15 · 5352 zülpich-enzen
tel. 02256/805

HEAD - Acoustics Kunstkopf

Der neue HEAD-Acoustics-Kunstkopf, ebenfalls auf der Tonmeistertagung neu vorgestellt, unterscheidet sich in einem Punkt wesentlich von bisher bekannten Konstruktionen. Die Ohren des Kopfes sind nicht mehr genau dem menschlichen Vorbild nachgeformt, sondern erwecken einen eher stilisierten Eindruck. Nichtsdestoweniger entsprechen die Außenohrübertragungsfunktionen dieses neuen Kopfes soweit den natürlichen, daß die Unterschiede unhörbar bleiben. Ebenso ist die Nachbildung des Kopfes auf die akustisch relevanten Merkmale reduziert worden, wie aus Bild 1 hervorgeht. Zusätzlich ist die Form der Ohrmuschel wie auch die des Kopfes geometrisch beschreibbar und kann daher in standardisierter Weise, ohne auf eine Masterform angewiesen zu sein, mit reproduzierbaren Eigenschaften gefertigt werden.

Die Mundöffnung dient nicht nur rein optischen Zwecken, sondern auch der Aufnahme eines 'künstlichen Mundes', einer Schallquelle, die hinsichtlich spektraler Zusammensetzung des abgestrahlten Schalls



Bild 1. Der Aachener Kunstkopf (links), mit den stark stilisierten Ohren (Bild 2, oben).

und Richtcharakteristik die menschliche Sprache simulieren soll. Eine solche Schallquelle wird beispielsweise beim Messen der Eigenschaften von Telefonhandapparaten benötigt.

Grundlage der neuartigen Konstruktion ist die Doktorarbeit des Gründers der Firma HEAD-acoustics, Dr. Klaus Genuit. Dieser konnte im Rahmen seiner Arbeit nachweisen, daß

sich der Einfluß der komplizierten Form der Ohrmuscheln ihrer Position am Kopf und relativ zu den Schultern auf erstaunlich wenige mechanische Parameter reduzieren läßt. Diese können am menschlichen Vorbild einfach gemessen werden. Mit den so gewonnenen Werten kann man eine stark vereinfachte künstliche Ohrmuschel anfertigen, die sich subjektiv ebenso verhält wie das Original (Bild 2).

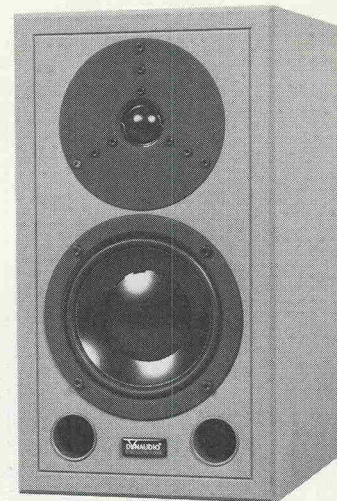
Glockenreine 600 Watt

GLOCKENKLING stellt eine Studioendstufe vor, die von der Bugatti-Endstufe für Bühnenanwendungen abgeleitet wurde. Sie leistet 2x300 W an 4 Ohm, hat zwei überdimensionierte, getrennte Netzteile, symmetrische Cannon-Eingänge, Lautsprecher-Polklemmen, Peak-Limiter und alle üblichen Schutzanlagen. Die Studio-Art Endstufe kostet 3.800,—DM.

PA & Studio-Technik
Höchte 2
4923 Extertal 1

Nahfeld-Monitor für's Studio

Mit der CRAFTT stellt Dynaudio einen Zweiweg-Monitor mit Baßreflexabstimmung für den Studiobetrieb vor. Als Besonderheit wird vom Hersteller hervorgehoben, daß durch spezielle Fertigungsmethoden und Entwicklungen im Bereich der Chassis-Komponenten eine hohe Betriebssicherheit und hervorragende Langzeitkonstanz der Boxendaten erreicht wurde.



CRAFTT, eine Neuentwicklung von Dynaudio für den Studiobereich.

Akai's Samplerfamilie wird größer

Auf der Frankfurter Musikmesse stellte Akai Professional den neuesten Nachwuchs der S 1000-Familie vor: S 1000HD und S 1000PB.

Der S1000HD ist mit einer 40MB Haddisk (mit Lüfter)

Der neue Sampler von Akai.

und dem SCS-Interface IB102 ausgestattet. (Unverb. Preisempf. DM 11.890,—). Der S1000PB ist die 'Playback Only' Version des S1000 und gedacht sowohl als Zweitgerät für S1000-Besitzer als auch für Profis, die mit den verfügbaren Soundlibris Musikproduktionen realisieren (unverb. Preisempf. DM 6.590,—).

Äußerst bemerkenswert ist auch das IB104 Interface Board für AES/EBU & CD/DAT Standard. Mit diesem Interface ist es möglich, mit der 'Digital'-Welt zu kommunizieren ohne die digitale Ebene verlassen zu müssen. Dieses einzigartige Feature erzielt eine bisher unerreichte Klangqualität.

In Frankfurt wurden auch die neuen Software-Versionen 2.0 für alle S1000 Modelle vorgestellt, die außer der zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Zeitkorrektur (Time Stretching) noch weitere wichtige, neue Features beinhaltet.

Eine Sample-Disk mit digital aufgenommen 16-Bit-Samples (produziert in den Air Studios in London) und eine ganze Reihe neuer Sounds runden das Programm der S1000-Produktgruppe ab.



Der Firmenphilosophie entsprechend wurde die Klangcharakteristik des Monitors neutral eingestellt. Jedoch sind der Mitten- und Hochtonbereich zur Anpassung an die Hörposition um jeweils $\pm 1,5\text{dB}$ zu verändern.

Dynaudio Vertriebs GmbH
Winsbering 28
2 Hamburg 54.

EIN KOMPLETTES
AUDIOTESTSYSTEM IN
EINEM GERÄT

201 DUAL CHANNEL AUDIO ANALYZER



KEYBOARD



Haben Sie den Testvorgang Ihrer Audiogeräte schon einmal unter die Lupe genommen?

Sollten Sie noch immer eine Palette von verschiedenen Messgeräten benutzen, dann ist es Zeit für unseren Audio-Analyzer, RE201:

Den kompletten Audiotest können Sie in einem Bruchteil der normalen Zeit mit unserem Gerät durchführen!

Der RE201, 2-Kanal-Audio-Analyzer, ersetzt eine Vielzahl von Einzelmessgeräten. Z.B. die Funktion eines Klirrfaktormessers, Audio Generators, Wow & Flutter Meters, Phasennessers, Frequenzmessers und Voltmeters sind in diesem Gerät kombiniert.

Der RE201 erlaubt kurze Messzeiten bei grosser Testvielfalt ohne Eingeständnisse an Leistung und Genauigkeit. Z.B. sind Klirrfaktor $\leq 0.001\%$ (-100 dB) und einzelne Harmonische bis zu 0.0006% garantierte Daten. Die Speicherung von bis zu 100 verschiedenen Testreihen ist möglich, die durch Betätigung einiger Tasten abgerufen werden können.

Der RE201 – ein vollständiges Testsystem in einem Gerät. Benachrichtigen Sie uns noch heute, damit wir Ihnen behilflich sein können, Ihr Audiotestsystem zu verbessern.

RE • INSTRUMENTS

re

Electronics for Test and Communication

RE INSTRUMENTS GmbH

Dürener Strasse 19, D5170 Jülich, Postfach 1425
Telefon 02461/4147 Telefax 02461/56831 Telex 833609

Altecs Geburtstags-Serie

Zu ihrem 50jährigen Bestehen hat die traditionsreiche Firma Altec neben der High-Power-Version des historischen Koaxiallautsprechers Altec 604, der auf der Tonmeistertagung 1988 neu vorgestellt wurde, eine Leistungsstufe mit der Bezeichnung 9444A herausgebracht (Bild 1).

Die Stufe ist unter anderem deshalb recht interessant, weil sie trotz günstigen Preises in einer universell einsetzbaren Leistungsklasse liegt und weil man bei ihrer Konstruktion der Kühlung besondere Aufmerksamkeit geschenkt hat. Die Endstufe ist mit einer Dauerleistung von 200 Watt an 8 Ohm und 300 Watt an 4 Ohm angegeben, bei Brückenschaltung liefert die Stufe 800 Watt an 8 Ohm.

Die meßtechnische Überprüfung dieser Daten ergab, daß die Firma Altec sich hier eher ein wenig zurückgehalten hat; die Endstufe hält also leistungsmäßig was sie verspricht. Verpackt ist das Ganze in einem stabilen, drei Höheneinheiten hohen 19"-Stahlblechgehäuse mit einer hinreichend stabilen Aluminiumfrontplatte, an der höchstens Handgriffe zu vermissen wären. Das Gehäuse ist 32,4 cm tief, wird also in jedem Rack Platz finden können.

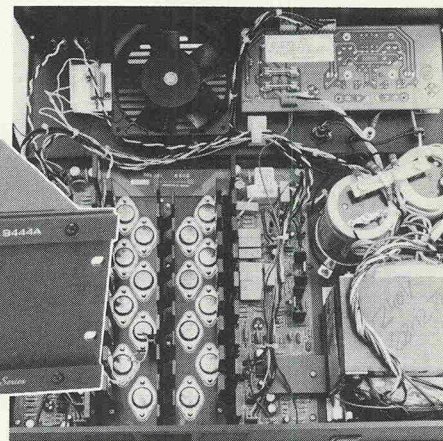
Die Frontplatte ist eher dezent ausgeführt. Neben den Lüftungsschlitzen, durch die die erwärmte Luft die Endstufe verläßt, finden sich neben dem Netzschalter samt Power-LED nur noch eine Clip-Leuchtdiode und eine weitere, die das Ansprechen einer der Schutzschaltungen anzeigt.

Jeder Kanal verfügt separat über Schutzschaltungen gegen überhöhte Temperatur, Kurzschluß am Ausgang, Überspannung, HF-Einstreuungen und zu hohe Phasendrehung, sprich Schwingneigung. Die angeschlossenen Lautsprecher werden gegen Gleichspannung, niederfrequente Wechselspannung (Motorboating) sowie gegen Einschaltvorgänge geschützt.

Auf der Rückseite der Endstufe befinden sich die Ein- und Ausgänge der Stufe sowie die Pegelsteller. Bei einer Alternativ-



Bild 1 (oben). Die dezent Frontplatte des 9444A, Bild 2 (rechts) zeigt die unsymmetrische Anordnung der Endtransistoren.



version bekommt man kalibrierte Rastpotis (stepped attenuators) anstelle der einfachen Potis, die Endstufe heißt dann 9444A/ SA. Die Eingänge sind sowohl auf XLR-Verbinder, als auch auf Klemmleisten geführt. Das läßt darauf schließen, daß die Endstufe auch für den Einsatz in festinstallierten Beschallungsanlagen entwickelt worden ist, wie dies ja bei Altec mit dem Incremental Power Amp bereits Tradition ist. Bei Festinstallationen verzichtet man häufig aus Gründen der Zuverlässigkeit auf Steckverbinder zugunsten der erwähnten Schraubklemmverbindungen.

Solche findet man auch für die Ausgänge der Endstufe. Für andere Anwendungen würde man möglicherweise gern die gewohnten Binding-Posts benutzen, findet sie aber bei der Altec-Endstufe nicht. Wer diese aber wirklich braucht, kann die Binding-Posts für ein paar Mark nachrüsten. Neben den Öffnungen, durch die der Lüfter kühle Luft ansaugt, fallen auf der Rückseite zwei achtpolige Steckverbinder auf, die an Röhrensockel erinnern. Hier besteht die Möglichkeit, Überträger zur Symmetrierung der Eingänge nachzurüsten. An den Oktalsockeln liegen zusätzlich Spannungen von ± 15 V DC an, die es erlauben, auch aktive Filtermodule einzusetzen. Die Endstufe kann dann auch ohne separate Frequenzweichen in Mehrweganlagen betrieben werden.

Der Dual/Bridge-Umschalter, mit dem die Endstufe auf Brückenbetrieb umgeschaltet werden kann, vervollständigt die Ausstattung der Rückseite, die gut lesbar und eindeutig beschriftet ist.

Öffnet man nun das Gehäuse, so findet man neben dem Blechpaketnetztrafo und den Ladeelkos eine Platine, auf der sich die gesamte Elektronik der Endstufe befindet. Diese Bauweise wirkt sich natürlich positiv auf die Kosten bei der Fertigung aus. Dominant auf der Platine ist ein relativ einfach aufgebauter, aber hinreichend großer Kühlkörper, der im Luftstrom des Kühlventilators liegt. Auf diesem Kühlkörper befinden sich pro Kanal acht Leistungstransistoren, deren Abstand untereinander von ihrem Abstand vom Lüfter abhängt (Bild 2). Eine solche Anordnung ist die Lehre, die man aus Fehlern anderer Hersteller gezogen hat. Eine Ursache für den Ausfall von Endstufen-

transistoren ist nämlich die, daß Transistoren, die nahe am Kühlventilator liegen, relativ gut gekühlt werden, während sich an den entfernter gelegenen Transistoren die Kühlluft schon soweit erwärmt hat, daß eine effiziente Kühlung nicht mehr möglich ist. Diese Transistoren sterben dann natürlich als erste den Wärmetod, zumal sie sich bei enger Anordnung gegenseitig aufheizen.

Die Anordnung der Transistoren in der Altec 9444A versucht nun, die Verteilung der Wärmequellen im Kühlluftstrom dem zu erwartenden Temperaturgefälle anzupassen, so daß die Stufe thermisch auf der sicheren Seite arbeitet.

Insgesamt handelt es sich bei der ALTEC 9444A um eine Endstufe, die hinsichtlich Leistung und Ausstattung vielseitig einsetzbar ist und trotz günstigen Preises keine konstruktiven Einschränkungen an der falschen Stelle aufweist. (D.M.)



... jetzt mit Deutschland GmbH

Altec Lansing, einer der führenden Hersteller von Beschallungsanlagen, hat in Frankfurt/Main eine Niederlassung gegründet. Der Mann der ersten Stunde ist Gary Rilling — und das auch in direktem Sinn, da seine Wiege in Schwaben stand (was ma am Schwätze uschwer hehre ko).

Die Gründung der Deutschland GmbH war eine notwendige Konsequenz im Sinne der Anwender und Repräsentanten, betont Gary Rilling. Er sieht

sich als Schnittstelle zwischen den deutschen Fachhandelpartnern und Altec Lansing einerseits und als Mittler zwischen Anwendern und Fachhandelpartnern andererseits.

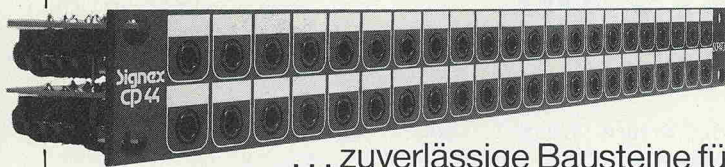
Flexibilität, permanente Fortbildung der Repräsentanten, fachgerechte Installationen und die schnelle Information über modernste Technik und Neuentwicklungen sowie überregionale Aktivitäten sind einige seiner Tätigkeitsschwerpunkte in Deutschland.

Falsch verbunden?

Exclusiv bei



Adam Hall GmbH
Gewerbegebiet Süd
D-6390 Usingen 1
Telefon 06081 - 16031
Telex 418061 ahal d
Telefax 06081 - 6291



Die perfekte Lösung heißt:

Isotrack-Patchbays

... zuverlässige Bausteine für die sichere Verbindung technischer Geräte.

44 übersichtlich angeordnete Klinkenbuchsen 6,3 mm auf schwarzer Stahlblende garantieren zweckmäßigen Arbeitskomfort bei nur 1 HE Platzbedarf. Übersichtliche Kennzeichnung der Patchbuchsen durch auswechselbare Einschubkärtchen. 5 Modelle mit gleicher Frontseite - unterschiedlichen rückseitigen Anschlüssen - für den individuellen Bedarf.

Isotrack - ein Element fortschrittlicher Technik

Bitte technisches Merkblatt anfordern !

GLOCKENKLANG
„Double Two“
Noise Gate.

4 in 1.
Das Gate mit den
exzellenten Testergebnissen.

Vertrieb: Riverside Music

Information + Wissen

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Helstorfer Str. 7
3000 Hannover 61

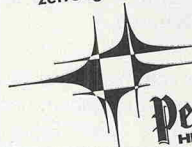
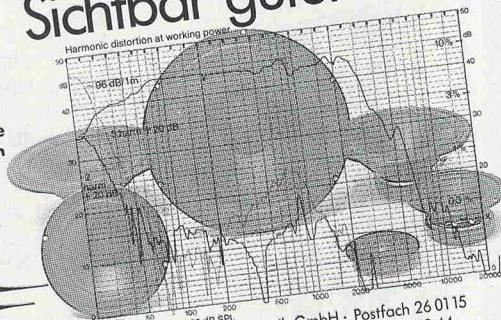
HEISE



cc-line

Sichtbar guter Sound

- Hervorragendes Design
- Beeindruckende Frequenzkurven
- Extrem niedrige Verzerrungswerte



Zero level 60 dB SPL
PEERLESS Elektronik GmbH · Postfach 26 01 15
4000 Düsseldorf 1 · Telefon (02 11) 30 53 44

MONACOR®

... check it out !

DYNAMISCH ODER
ELECTRET-
SUPERMIKE'S ZU
SUPERPREISEN!!!

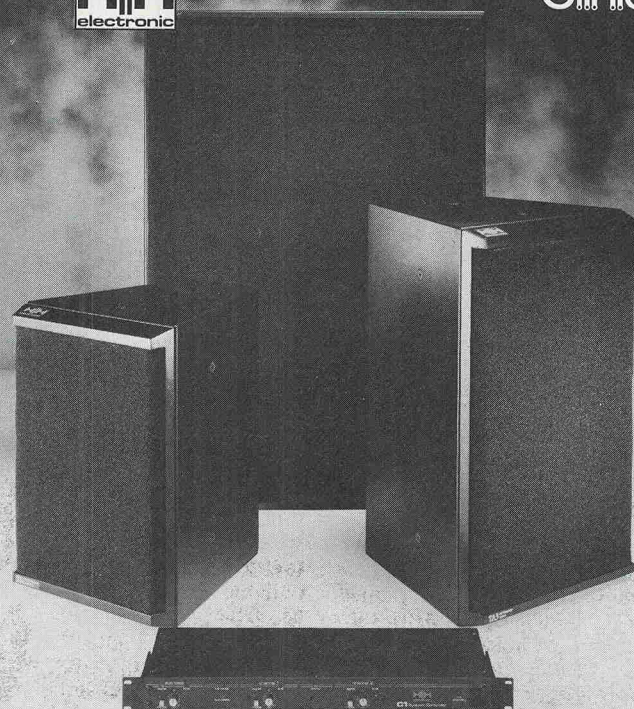
PROSPEKT GRATIS!

INTER-MERCADOR GMBH & CO KG
IMPORT - EXPORT

Zum Falsch 36 · Postfach 44-87 47 · 2800 Bremen 44
Telefon 04 21 / 48 90 90 ☉ - Telex 2 45 922 monac d - Telefax 04 21 / 48 16 35

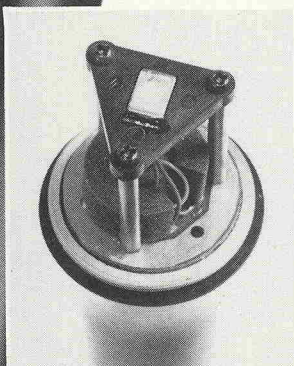
VERTRAUEN IST GUT,
KONTROLLE IST BESSER ...

Die neuen kontrollierten
TA SERIES Lautsprechersysteme
von



Meisterbetrieb · Günther Christ · Telefon 06132/75414 · Telefax 496132/75424

Nahbesprechungsmikrofon CROWN CM 310



Das Crown Anti-Noise-Mikro - und ein Blick unter das Schutzgitter.

Unter der Bezeichnung 'Anti-Noise-Mikrofone' versteht man Mikrofone mit quasi eingebauter Unterdrückung von Umgebungsgeräuschen. Solche Mikrofone werden häufig in öffentlichen Verkehrsmitteln eingesetzt und dort von Busfahrer/innen benutzt, in der professionellen Beschallungsbranche aber bestenfalls von Bluesharp-Spielern geliebt.

Dies soll anders werden mit dem Differoid-Mikrofon von Crown, einem Hersteller, der auf dem Mikrofonsektor eher durch seine Grenzflächenmikrofone bekannt ist. Diese sind allerdings auch schon der etwas exotischeren Art zuzurechnen, so daß ein weiteres Spezialmikrofon schon fast nicht mehr verwundert.

Das Prinzip des sogenannten 'anti-noise' Mikrofons ist jedoch schon alt und wurde in den frühen Tagen bei der BBC in Form von Reportagemikrofonen eingesetzt. Die Eigenschaft solcher Mikrofone ist es, bei Besprechung aus wenigen Zentimetern Abstand ein nor-

males Übertragungsverhalten an den Tag zu legen, bei größeren Abständen aber unempfindlich zu sein. Dieser Effekt soll wohlgerneht nicht vom Besprechungspegel, sondern vom -abstand abhängen, der Einsatz beispielsweise eines Noise-Gates kommt daher nicht in Frage. Woher kann das Mikrofon aber 'wissen', aus welcher Entfernung es besprochen wird?

An für diesen Zweck nutzbaren Effekten bleibt eigentlich nur der Nahbesprechungseffekt übrig. Er ist den meisten Sängern und Sängerinnen eher als Möglichkeit der Klangveränderung bei Richtmikrofonen bekannt, wird aber auch bei der Realisierung eines 'anti-noise' Mikrofons benutzt.

Als Nahbesprechungseffekt bezeichnet man bei normalen Richtmikrofonen die Eigenschaft, auf kürzer werdende Besprechungsabstände mit einer Anhebung der Bässe zu reagieren, bis bei Besprechung mit Lippenkontakt die Stimme unnatürlich baßlastig erscheint. Dieser Effekt kann genutzt werden, um flachen Stimmen mehr Fülle zu geben; er kann aber auch meist durch schaltbare Hochpaßfilter am Mikrofon bei Bedarf abgeschwächt werden.

Der Nahbesprechungseffekt kommt dadurch zustande, daß erstens Richtmikrofone auf den sogenannten Druckgradienten einer Schallwelle ansprechen und daß zweitens das Schallfeld in der unmittelbaren Nähe von Schallquellen ähnlich wie ein Kugelschallfeld stark gekrümmte Wellenfronten aufweist. Nun ist aber der Druckgradient in einem Kugelschallfeld nicht frequenzunabhängig sondern weist zunehmend eine Anhebung tiefer Frequenzen auf, je mehr man sich der Schallquelle nähert. Diese Eigenschaft des Schallfeldes wird vom Gradienten-, sprich Richtmikrofon, erfaßt und wiedergegeben. Durch eine geeignete Konstruktion ist es auch möglich, Richtmikrofone ohne Nahbesprechungseffekt zu bauen, wie sie z.B. bei der Abnahme von Instrumenten benö-

tigt werden. Beim Anti-noise Mikrofon ist der Effekt jedoch erwünscht, man benutzt daher z.B. auch Richtmikrofone mit Achtercharakteristik, die einen ca. 6 dB stärkeren Nahbesprechungseffekt zeigen als beispielsweise Mikrofone mit Nierencharakteristik.

Nun bekommt das Mikrofon einen elektronischen Entzerrer, der tiefe Frequenzen abschwächt und dafür sorgt, daß bei Besprechung aus sehr kurzem Abstand das Übertragungsverhalten des Mikrofons dem eines normalen Mikrofon entspricht. Wird der Besprechungsabstand nun erhöht, werden zumindest die tiefen Frequenzen nur noch abgeschwächt wiedergegeben. Dieser Effekt ist naturgemäß bei tiefen Frequenzen am stärksten, im Sprachbereich bleiben allerdings immer noch etwa 5 dB. Dies kommt den Erfordernissen der Praxis jedoch nahe genug, denkt man zum Beispiel an die Unterdrückung von Rückkopplungen. Bei mittleren bis hohen Frequenzen kann man das Rückkopplungsverhalten noch durch Einsatz von

definiert abstrahlenden Hörnern unter Kontrolle bringen, während der Baßbereich wirkliche Probleme birgt. Hier arbeiten Anti-Noise-Mikrofone jedoch gut, bei hohen Frequenzen wird der Effekt dann durch die Abschattungswirkung des Kopfes unterstützt, da das Mikrofon ja fast mit Lippenkontakt besprochen wird.

Den erwarteten Aufbau findet man auch beim Crown CM 310. Das große Bild zeigt das Äußere des Mikrofons. Im kleinen Bild wird der eigentlich recht einfache Aufbau des Mikrofons deutlich. In einer dreieckigen Platte ist eine sehr kleine Mikrokapsel eingelassen, die auf beiden Seiten der Membran Schalleintrittsöffnungen hat. Die Kapsel weist allerdings keine Achtercharakteristik auf, die auch angesichts des angestrebten Einsatzzweckes des Mikrofons nicht von Vorteil wäre.

Die zur Entzerrung des Frequenzganges notwendige Elektronik befindet sich im Griffkörper des Mikrofons. Durch die Baßabsenkung wird das Mikrofon erfreulicherweise unempfindlich gegen Handgeräusche, der Aufwand zur elastischen Lagerung der Kapsel kann sich daher in Grenzen halten. (D.M.)

Einschub-Weiche



CARVER USA, Hersteller der Leistungsendstufen PM 1.5, PM 350 und PM 175 stellt mit dem PMX-Modul einen aktiven 2-Weg-Frequenzweichen-einschub für die Modelle PM 350 und PM 175 vor. Die besonderen Merkmale sind:

2-Weg 24 dB/Okt. Linkwitz-Riley Charakteristik, wählbare Übernahmefrequenzen (Plug-In), 18 dB/Okt. Subsonicfilter, HF-Limiter (einstellbar), unab-

hängiger HF-Level, symmetrierte Ausgänge.

Das CARVER PMX-Modul stellt sicherlich eine interessante Bereicherung bei Festinstallationen und kundenspezifischen Beschallungsanlagen dar.

Informationen:

CARVER Vertrieb:
KLING & FREITAG
Kapellenstr. 16
3000 Hannover 61
Tel. 05 11/55 68 78
Fax. 55 22 50.

Neu- erscheinung

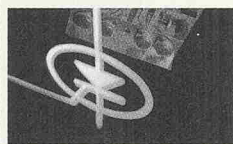
Sofort
lieferbar!

ELEKTRONIK

Broschur, 184 Seiten
DM 38,80/öS 303,-/sfr 35,70
ISBN 3-922705-46-4

J. C. J. van de Ven **LEISTUNGSHALBLEITER- HANDBUCH**

mit Leistungs-MOSFETs



Dioden
Brückengleichrichter
Thyristoren
Triacs
Leistungs-Transistoren
und Leistungs-FETs



Hier können bestimmte Bauelemente aufgrund ihrer technischen Daten ausgesucht werden. Das Handbuch bietet die einzigartige Kombination einer alphabetischen Liste von allgemein verwendeten Bauteilen mit mehreren nach verschiedenen Kriterien zusammengestellten herstellerunabhängigen Auswahltabellen.

HEISE



Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 46/14n

Neu- erscheinung

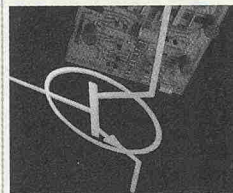
Sofort
lieferbar!

ELEKTRONIK

Broschur, 208 Seiten
DM 38,80/öS 303,-/sfr 35,70
ISBN 3-922705-45-6

J. C. J. van de Ven **TRANSISTOR- HANDBUCH**

mit SMD-Bauteilen



Dieses Handbuch läßt sich dazu verwenden, bestimmte Leistungshalbleiterbauelemente aufgrund ihrer technischen Daten auszusuchen.

Es bietet die einzigartige Kombination einer alphabetischen Liste von allgemein verwendeten Bauteilen mit mehreren nach verschiedenen Kriterien zusammengestellten herstellerunabhängigen Auswahltabellen.

HEISE



Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 45/14n

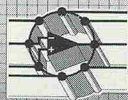
Nf-Technik — mal mit, mal ohne Rechner

**COMPUTER &
ELEKTRONIK**

Broschur, 147 Seiten
DM 16,80
ISBN 3-922 705-04-9

R.M. Marston **110 Operationsverstärker- Schaltungen**

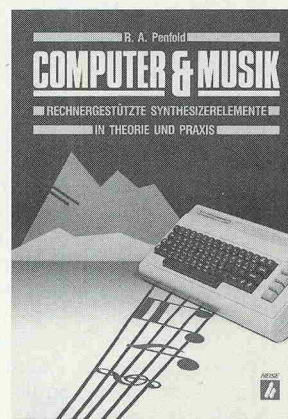
für den Hobby-Elektroniker



HEISE

Der Operationsverstärker ist eines der wichtigsten elektronischen Bauelemente. In diesem Buch werden erprobte Schaltungen aus einem weiten Anwendungsspektrum vorgestellt. Alle Schaltungen sind bewußt einfach gehalten und bereiten auch dem Anfänger kaum Probleme. Ein Buch für die Praxis.

Broschur, 108 Seiten
DM 18,80
ISBN 3-922705-37-5



R. A. Penfold **COMPUTER & MUSIK**

RECHNERGESTÜTZTE SYNTHESIZERELEMENTE
IN THEORIE UND PRAXIS

Der Homecomputer als Hilfsmittel zur elektronischen Klangsintese — Stichworte: Sequenzer, MIDI-Schnittstellen, Soundgeneratoren, Digitalumsetzer, Kompander, Mehrkanal-Generatoren. Sämtliche Themen werden leicht nachvollziehbar behandelt. Vorausgesetzt wird etwas Erfahrung in der Programmierung von Computern und im Aufbau einfacher Schaltungen.

Broschur, 153 Seiten
DM 16,80
ISBN 3-922 705-03-0

R.M. Marston **110 Funktionsgenerator- Schaltungen**

für den Hobby-Elektroniker



HEISE

Funktionsgeneratoren — bestückt mit Transistoren, Operationsverstärkern, Digital-ICs und speziellen Funktionsgenerator-ICs. Alle Schaltungen wurden sorgfältig dimensioniert, aufgebaut und getestet.

HEISE



Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. CE/12

Gehörbezogene Signalverarbeitung

Unter diesem Stichwort kann man eine ganze Reihe von Geräten zusammenfassen, die auf der Tonmeistertagung präsentiert wurden. Gemeint ist damit, daß Eigenschaften des menschlichen Gehörs in die Konzeption von Studiogeräten einfließen und so entweder Funktionen ermöglichen, die es bisher noch nicht gab oder aber Vereinfachungen erlauben, die die Geräte entweder preiswerter oder aber leistungsfähiger werden lassen. Neuartige Signalbeeinflussungsmöglichkeiten gibt es zum Beispiel beim Creative Audio Processor von AKG und dem Richtungsmischpult der Aachener Firma HEAD-acoustic. Beide bieten zunächst die Möglichkeit der Filterung von Signalen entsprechend den Eigenschaften des menschlichen Außenohres.

Dieses stellt im Prinzip ein variables akustisches Filter dar, das seine Übertragungseigenschaften entsprechend der Schalleinfallrichtung verändert. Zusätzlich entstehen Pegel- und Zeitdifferenzen zwischen den beiden Ohren dadurch, daß der Schall das abgewandte Ohr etwas später und, durch die Abschattungswirkung des Kopfes, abgeschwächt erreicht. Die Information, die in den Unterschieden der beiden Ohrsignale sowie der richtungsspezifischen Klangbeeinflussung enthalten ist, wertet das Gehör zur Bestimmung der Schalleinfallrichtung aus.

Die Klangbeeinflussung durch die Filterwirkung des Außenohres wird übrigens nicht als Klangverfärbung sondern als Richtungseindruck gehört. Diese Effekte werden beim Einsatz eines Kunstkopfes als Aufnahmемикروفon ausgenutzt: Der Kunstkopf erzeugt dieselben frequenzabhängigen Pegel- und Zeitunterschiede der Ohrsignale, wie dies ein menschlicher Kopf tun würde. Um den korrekten Richtungseindruck zu erzeugen, muß beispielsweise ein Musikinstrument konsequenterweise mit Hilfe eines Kunstkopfes aufgenommen werden. Die nachträgliche Positionierung des Instrumentes,

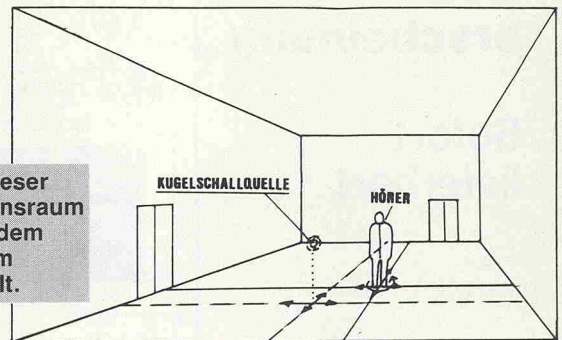
wie beispielsweise bei Mehrspuraufzeichnungen mit Hilfe eines Pan-Pots, war bisher nicht möglich. Sowohl der AKG CAP als auch das Aachener Richtungsmischpult bieten nun die Möglichkeit, mit Hilfe gemessener bzw. berechneter Außenohrübertragungs-Funktionen aus einem Monosignal ein Kunstkopf-Stereosignal zu erzeugen, so daß bei Kopfhörerwiedergabe das Signal aus einer vorgebbaren Richtung zu kommen scheint. Es handelt sich hier also um das Kunstkopf-Äquivalent zu einem Pan-Pot.

Mit diesem Hilfsmittel ist es beispielsweise denkbar, von einer Mehrspuraufzeichnung eines Konzertes nicht nur eine konventionelle Abmischung für Lautsprecherwiedergabe, sondern auch einen speziellen Remix in Kunstkopfsterophonie für Kopfhörerwiedergabe zu erstellen. Dies ist wohlge-merkt auch für Aufnahmen möglich, die nicht mit dem Kunstkopf gemacht wurden. Es kann ebenso bereits vorhandenes Material genutzt werden.

Neben dem 'Zumischen' von Richtungsinformation bietet der CAP von AKG zusätzlich die Möglichkeit des Hinzufügens von Rauminformation zum Kunstkopfsignal. Das Prinzip, nach dem dies ermöglicht wird, ist grundsätzlich einfach. Der Unterschied zwischen einem 'trockenen' Signal ohne und einem Signal mit Rauminformation ist im wesentlichen der, daß der Raum durch Reflexionen an den Wandflächen dem eigentlichen Signal im einfachsten Fall abgeschwächt und verzögerte Abbilder hinzufügt, und zwar für jede Reflexion eines.

Für die Simulation dieses Vorganges mit Hilfe von Kunstkopfsignalen kommt erschwerend hinzu, daß das Originalsignal nicht nur verzögert und abgeschwächt sich selbst zugemischt werden muß, sondern auch daß die Reflexionen im allgemeinen auch aus einer anderen Richtung kommen. Für die korrekte Simulation muß also jeder Reflexion zuvor mit

Bild 1. Dieser Simulationsraum wird auf dem Bildschirm dargestellt.

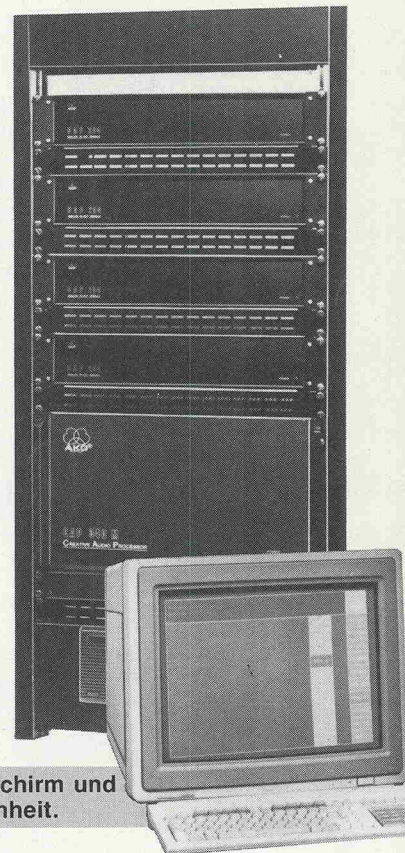


Hilfe eines Richtungsmischermoduls die entsprechende Richtungsinformation hinzugefügt werden.

Die Steuerung der Synthese von Rauminformation durch die Simulation der Reflexionsverteilung und der Nachhallstruktur eines gedachten Raumes wird im AKG-CAP-System von einem Steuerrechner durchgeführt. Die Verbindung mit dem Benutzer wird durch eine graphische Benutzeroberfläche hergestellt, die den simulierten Raum, die Position der Schallquelle und die Position und Ausrichtung des Kopfes des simulierten Hörers zeigt (Bild 1). Veränderungen in der Konfiguration können direkt mit Hilfe einer Maus vorgenommen werden.

Die Signalprozessoreinheit befindet sich mit dem Steuerrechner in einem 19"-Rahmen, der auch getrennt von der Bedienkonsole untergebracht werden kann (Bild 2).

Bild 2. Bildschirm und Prozessoreinheit.



Digitales Multicore

Die Firma Klotz stellte auf der Tonmeistertagung unter anderem ein digitales Multicore auf Glasfaserbasis vor. Unmittelbar einleuchtender Vorteil der Lichtleitertechnologie: Aufgrund der hohen Bandbreite der Glasfaser können sehr viele Kanäle über eine Faser übertragen werden. Beim Klotz System sind es maximal 192 Audiokanäle sowie Synchronisations-, Midi- und andere Digitalsignale. Selbst ein konventionelles Multicore geringerer Kapazität ist um ein Vielfaches größer, schwerer und vermutlich auch

teurer als ein einzelnes Glasfaserkabel.

Es muß allerdings für jeden analogen Kanal in der Stagebox ein Analog/Digital-Wandler vorgesehen werden, ebenso am anderen Ende der Verbindung ein D/A-Wandler — falls man nicht über ein digitales Pult verfügt.

Falls doch, kennt das Klotz-System das AES/EBU-Standardformat für digitale Audio Daten, so daß eine Direktverbindung problemlos möglich ist.

electro-acoustic



Mit freundlicher Genehmigung Arthur Stoppe, Sigma Sound

Aspekte der Studioakustik

Michael Kesselheim

Akustische Probleme sind keine einfachen Probleme: Diese Weisheit hat schon so mancher Erbauer von Konzertsälen zur Kenntnis nehmen müssen. Bei kleineren Räumen wie Studios und Kontrollräumen treten Probleme wie mangelnde Schalleinstrahlung an Sitzplatz No.274 oder das Einfallen der letzten Schallanteile am Hörort nach acht Sekunden nicht so schnell auf. Dafür hat man jedoch mit anderen Problemen zu rechnen, die es nicht minder in sich haben und das Einrichten eines Studios zu weit mehr machen, als dem Aufstellen von einigen Möbeln, Musikinstrumenten, Mikrofonen und einer teuren elektronischen Anlage. Da es dazu auch heute noch kein Patentrezept gibt — und so mancher Designer hätte aus gestalterischen Gründen wohl auch kein gesteigertes Interesse an einem solchen, bleibt im allgemeinen beim Aufbau nichts anderes übrig, als aufzubauen auf eine Mischung zwischen Wissen und Glauben: Wissen über das Verhalten von Schallwellen und wie man es mißt, Wissen über die Eigenschaften von elektrischer und elektronischer Ausrüstung, Wissen über die Verarbeitungsweisen des menschlichen Gehörs und Glauben an die Leitsätze des favorisierten Designers und nicht zuletzt Glauben an das eigene Gehör.

electro-acoustic

Nehmen wir also an, man möchte ein kleines bis mittelgroßes Studio einrichten, habe eine leerstehende Etage im Hinterhof eines größeren Hauses gefunden, vom Straßenlärm dringt nur wenig durch die weiter vorne liegenden Büroräume, in der darunterliegenden Etage befindet sich auch keine Schlosserei und es ist genug Platz da, um einen Aufnahme- und einen Kontrollraum aufzubauen, liebevoll umschlossen von einer schallisierenden Außenschale. Man steht inmitten der Räumlichkeiten und überlegt, wie man jetzt das Studio aufbauen und dabei so etwas wie hohe Qualität erreichen kann. Die erste Frage, die sich dabei stellt, ist die nach der Bedeutung des Begriffs 'Qualität' für einen solchen Raum.

Sie führt schon direkt hinein in eine Problematik, die sich je nach Funktion eines Raumes verschieden darstellt und auch heute in einer Zeit verbesserter Meßtechnik noch oft über die Hörorgane erfahrener Designer entschieden wird. Nehmen wir z.B. an, daß das Studio für Musikaufnahmen dienen soll. An den Aufnahme- und Kontrollraum stellt man die Forderung, die Klänge eines in einer Raumecke aufgestellten Klaviers zum Mikrofonort so zu übertragen, daß sie später für den Hörer einer Schallplattenversion möglichst 'natürlich', 'transparent' usw. klingen soll. Dies bedeutet, daß der Aufnahme- und Kontrollraum die verschiedenen Frequenzen des Schallsignals etwa gleich stark vom Entstehungsort zum Mikrofon hin übertragen und dabei

Bild 1.
Stehende
Wellen
zwischen
zwei
Wänden
aus (2)

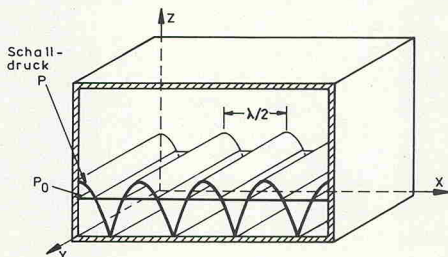
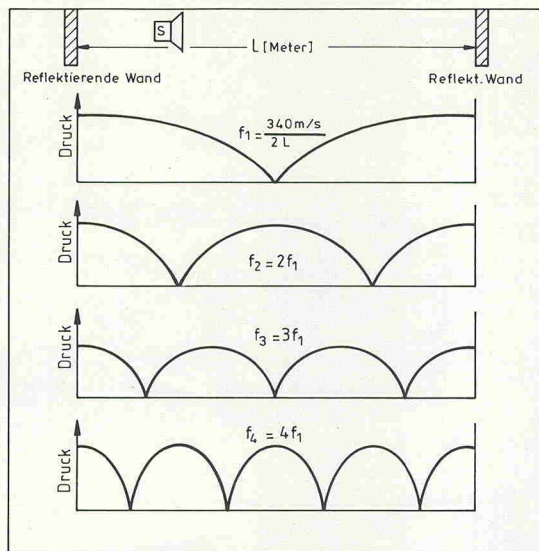


Bild 2. Wellen-
muster der Axialmode
(4,0,0) aus (4)

möglichst wenig seine eigene 'Charakteristik' aufprägen soll. Was nun aber diese Charakteristik ausmacht, läßt sich letztlich nur über Hörversuche herausfinden, und ein mögliches Vorgehen besteht dementsprechend auch darin, den Raum erst einmal nach ästhetischen Kriterien aufzubauen, Probeaufnahmen zu machen, Übertragungsprobleme nach Gehör und mit einfachen Meßverfahren zu lokalisieren und mal hier ein Stück Absorptionsmaterial anzubringen, mal da eine reflektierende Fläche mehr zu erzeugen: Daß dies zu — gelinde gesagt — erhöhten Investitionskosten und zusätzlichem Zeitaufwand führen kann, dürfte jedem klar sein. Deshalb besteht eine ständige wissenschaftliche Bemühung darin, Räume mit guter Akustik auszumessen, ihre subjektiv guten Eigenschaften mit objektiven Mitteln zu beschreiben und dadurch zu Konzepten zu gelangen, die schon im 'Reißbrettstadium' eines Projektes wirksam werden können.

Das Wichtigste beim Einrichten eines Studios mit guten Eigenschaften ist, sich darüber im Klaren zu sein, daß man, akustisch gesehen, ei-

gentlich nicht einen sondern mindestens vier Räume einrichtet, je nachdem, bei welchen Schallfrequenzen man den einen geometrischen Raum betrachtet. Dazu rufe man sich noch einmal die einfache Beziehung für Wellenausbreitung in Erinnerung, daß die Wellenlänge sich umgekehrt proportional zur Frequenz der Welle verhält,

$$\text{Wellenlänge} \cdot \text{Frequenz} = \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}$$

d.h. je höher die Frequenz, desto kleiner die räumliche Periode der Welle. Das akustische Verhalten eines Raumes sieht dann unterschiedlich aus, je nachdem wie sich seine Abmessungen zur Wellenlänge des sich ausbreitenden Schalls verhalten.

A. Sind sie sehr viel kleiner als die Wellenlänge, also bei sehr niedrigen Frequenzen, wird sich der Luftdruck im Raum bei Anregung durch eine beliebige Schallquelle überall gleichförmig ändern, Absorber haben den einzigen Effekt, dem gesamten Raum Energie zu entziehen, Reflexionen von Schallanteilen spielen keine Rolle. Es findet eine 'langsame' Veränderung des statischen Luftdrucks im Raum statt.

Anzahl der Koeffizienten ungleich Null	Name der Eigenmode	Punkte gleicher Auslenkung jeweils	Energiedichte	Bild Nr.
1	axial	in einer Ebene	groß	2
2	tangential	auf einer Geraden	mittel	3
3	schräg	keine nebeneinander	klein	4

B. Liegen die Raumabmessungen im Bereich der Wellenlänge, also bei etwas höheren Frequenzen, wird das Verhalten des Raumes von seinen 'Eigenmoden' dominiert. Dies sind stehende Wellen, die sich abhängig von der Geometrie des Raumes bei ganz bestimmten Frequenzen, genannt 'Eigenfrequenzen', ausbilden, wesentlich höhere Energiedichten aufbauen können als Wellen bei umgebenden Frequenzen und die vor allem schlecht kompensierbare, ortsabhängige Energiedichten im Raum erzeugen. Bild 1 zeigt diesen Effekt für die ersten Eigenfrequenzen einer schallharten parallelen Wandanordnung. Für einen Quaderraum der Dimensionen $L \times B \times H$ berechnen sich die Eigenfrequenzen zu

$$f = (c/2) \cdot \sqrt{(p/L)^2 + (q/B)^2 + (r/H)^2}$$

mit
 c = Schallgeschwindigkeit (m/sec)
 f = Frequenz der Eigenmode (Hz)
 L = Länge des Raums (m)
 B = Breite des Raums (m)
 H = Höhe des Raums (m)
 p, q, r natürliche Zahlen, die nicht alle gleich Null sind.

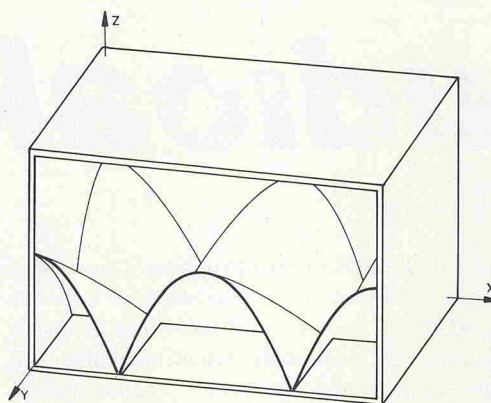


Bild 3. Wellen-
muster einer Tangen-
tialmode aus (4)

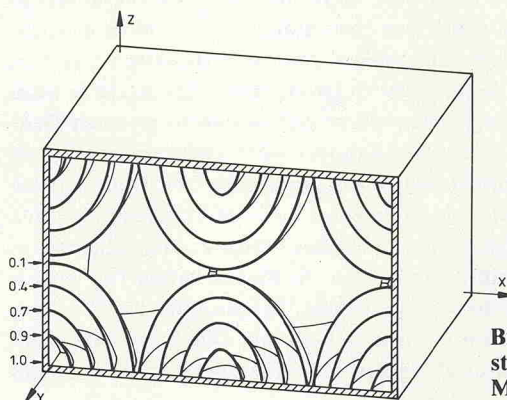


Bild 4. Wellen-
muster einer schrägen
Mode aus (4)

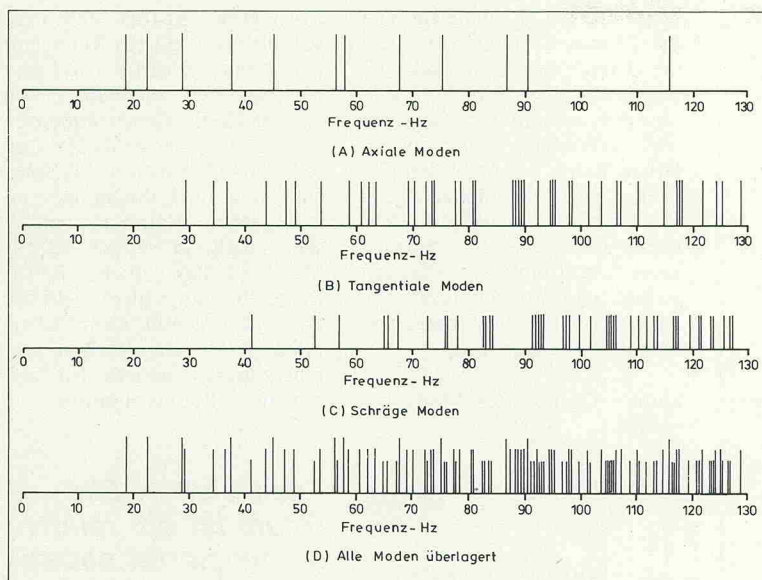


Bild 5. Eigenfrequenzen für einen quaderförmigen Raum mit Volumen 10 x 8,3 x 6,5 m aus (2)

V = Volumen des Raums (m³)
S = äquivalente Absorptionsfläche
S = F · A

mit
F = Oberfläche des Raumes (m²)
A = durchschnittlicher Absorptionskoeffizient im Raum

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß diese Berechnungen nur für relativ hohe Frequenzen oder große Räume gilt und nicht verallgemeinert werden kann.

D. Werden die Raumabmessungen sehr groß gegen die Wellenlänge, bei sehr hohen Frequenzen, verhalten sich akustische Wellen wie Lichtstrahlen, breiten sich geradlinig aus und reflektierte Anteile bilden einzeln hörbare Interferenzen miteinander. Einerseits können dabei charakteristische Klangverfärbungen durch den sogenannten Kammeffekt entstehen, der immer dann zustande kommt, wenn eine Schallwelle mit einer von ihr abgeleiteten, geringfügig verzögerten Version kohärent (mit fester Phasenbeziehung) interferiert, wie es zum Beispiel oft in der 'Tischrednersituation' vor kommt (Bild 8 und 8a).

Jede Eigenfrequenz ist durch ihr Koeffiziententripel (p,q,r) eindeutig bestimmt. Die zu ihr jeweils gehörende Welle hat verschiedene Charaktere, je nachdem wieviele Koeffizienten ungleich Null sind (s. Tabelle).

Die Anordnung verschiedener Eigenfrequenzen auf der Frequenzachse für einen Quaderraum zeigt Bild 5. Praktisch muß man sich solche Raummoden so vorstellen, daß der Raum bei ihren Frequenzen einen verlustbehafteten Resonator darstellt, so daß jede von ihnen bei Ausmessung mit einem Sinussignal steigender Frequenz eine ganze Resonanzkurve zum Verhalten des Raums beiträgt (siehe Bild 6). Dadurch verkompliziert sich die Sache leider ganz erheblich, da nun die Anteile verschiedener Moden zeitlich miteinander sehr viele verschiedene Interferenzen bei verschiedensten Frequenzen bilden können und dadurch auch komplizierte Muster von Differenz- und Summensignal entstehen, die letztlich nur noch statistisch erfäßbar sind (siehe Bild 7).

Im ungünstigen Fall können sich Moden, gespeist von stän-

diger Schallanregung, bis zu sehr hohen Schalldrücken aufschaukeln und dabei den Klang von Sprache und Musik erheblich verzerren.

C. Sind die Abmessungen eines Raumes relativ groß gegen die Wellenlänge eines Signals, findet sogenannte diffuse Schallausbreitung statt. Sie entsteht im wesentlichen dadurch, daß jetzt die Eigenmoden des Raumes so dicht beieinanderliegen, daß sie quasi ein Kontinuum über der Frequenz bilden. Sie werden bei Anregung von Oberfläche zu Oberfläche reflektiert, an den geometrischen Unebenheiten des Raumes gebrochen und bilden schließlich insgesamt eine nur noch statistisch erfäßbare Verteilung von Schallenergie im Raum. In jedem Raumpunkt fallen Schall-

wellen von allen Seiten und mit verschiedenen Zeitverzögerungen ein und es entsteht die Art von Nachhall, die man mit Hilfe der raumakustischen Nachhallzeit messen kann. Für diese Art von Schallfeld (und nur für diese!) gelten die Nachhallzeitdefinitionen und -formeln, wie man sie in der Literatur finden kann. Die wohl berühmteste Gleichung stammt von Sabine (6). Sie verbindet die Nachhallzeit (Zeit in der die Energie des Schallfeldes nach impulsförmiger Anregung um 60 dB gefallen ist) mit dem Volumen des Raumes und seiner äquivalenten Absorptionsfläche.

$$RT_{60} = k \cdot V/S$$

mit
k = 0,161 (s/m)
RT₆₀ = Nachhallzeit (s)

Bild 7. Schalldruckabfall bei niedrigen Frequenzen aus (2)

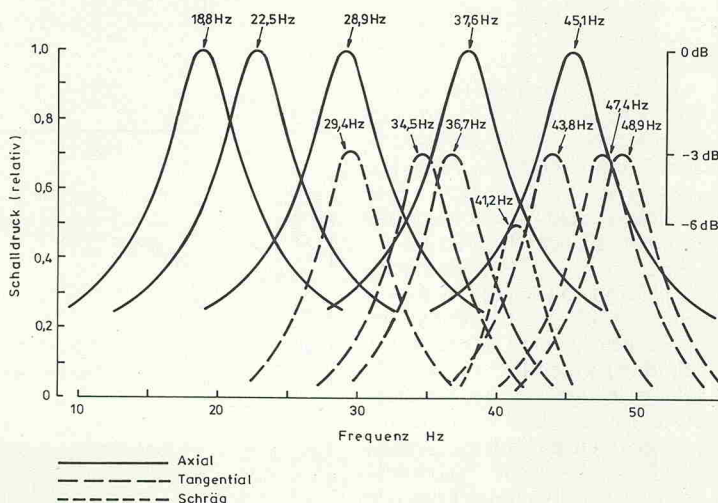
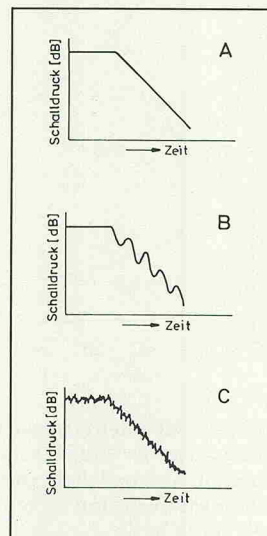


Bild 6. Eigenmoden des Raumes aus Bild 5 mit eingezeichneten Resonanzkurven aus (2)



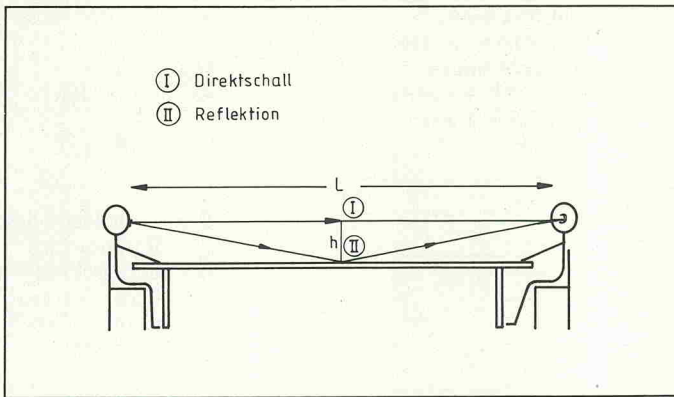


Bild 8. Tischrednersituation

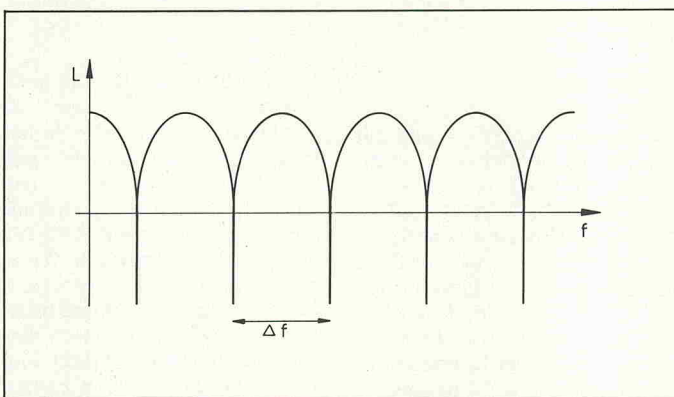


Bild 8a. Struktur eines Kammfilterspektrums

Der Effekt besteht darin, daß am Hörort charakteristische Überhöhungen und Einbrüche im Spektrum des Signals entstehen, von denen vor allem die

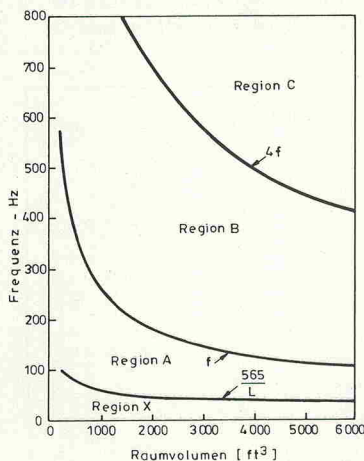


Bild 9. Der Grenzverlauf zwischen den vier Frequenzbereichen in Abhängigkeit von Raumvolumen und 'Nachhallzeit' aus (2)

ersteren vom menschlichen Ohr sehr deutlich wahrgenommen werden. Andererseits bietet gerade das strahlenartige Verhalten höherfrequenter Wellen gute Möglichkeiten, sie so zu lenken, daß gewünschte Verzögerungen entstehen und dem Ohr die richtige Räumlichkeitsinformation geliefert wird. Daher bedeutet ein generelles Absorbieren dieser Anteile, 'das Kind evtl. mit dem Kammfilter auszuschütten'.

Die vier genannten Frequenzbereiche überdecken zusammen den Hörbereich des Menschen, der in etwa von 16 bis 16000 Hz angesetzt werden kann. Bei welchen Schallfrequenzen sie für ein und denselben Raum ineinander übergehen, hängt entscheidend von seiner Geometrie ab, und hier ist der Punkt, in dem sich kleinere Räume (also Studios) wesentlich von größeren (wie zum Beispiel Konzertsälen) unterscheiden: Während in letzteren das diffuse Schallfeld und einzelne 'geometrische' Reflexionen das Gros der

Schallenergie ausmachen, hat bei kleinen Räumen vor allem der Bereich der Schallmoden einen so großen Einfluß, daß man im wesentlichen die sonst weit verbreiteten Konzepte des Diffusfeldes, das heißt den Gebrauch von 'Nachhallzeit' und 'Sabinescher Formel' im üblichen Sinne getrost vergessen kann. Um Räume klassifizieren zu können seien hier empirische Richtwerte für die Übergangsfrequenzen angegeben:

Untere Grenze des Modenbereichs:

$$f_{ab} = \frac{c}{2 \cdot L}$$

mit

f_{ab} = Grenzfrequenz zwischen Bereich A und B (Hz)

c = Schallgeschwindigkeit (340 m/s)

L = Länge des Raums (m)

Obere Grenze des Modenbereichs:

$$f_{bc} = k \cdot \sqrt{RT_{60}/V}$$

mit

k = 1893

f_{bc} = Grenzfrequenz zwischen Bereich B und C (Hz)

RT_{60} = Nachhallzeit des Raumes (s)

V = Volumen des Raumes (m^3)

Obere Grenze des Bereichs diffuser Ausbreitung:

$$f_{cd} = 4 \cdot f_{bc}$$

mit

f_{cd} = Grenzfrequenz zwischen Bereich C und D (Hz)

f_{bc} = Grenzfrequenz zwischen Bereich B und C (Hz)

Mit diesen Angaben stellt man schnell fest, daß ein Raum mit den Abmessungen 7 m x 6 m x 3 m und einer Nachhallzeit von $RT=0,7$ s die Grenzfrequenzen $f_{ab}=24$ Hz, $f_{bc}=141$ Hz und $f_{cd}=564$ Hz hat, d.h. für Sprache kann man ihn annähernd als 'großen' Raum mit diffussem Schallfeld betrachten, für Musik ist dies jedoch z.B. für Bässe überhaupt nicht mehr der Fall. Bild 9 gibt einen Überblick über den Verlauf der Übergangsfrequenzen für verschiedene Raumvolumina.

Fazit bisher: Ein Raum ist ein relativ komplizierter akustischer Übertragungsmechanismus.

Um sich nun in der Praxis einen Überblick über sein Gesamtverhalten zu verschaffen, kann man prinzipiell entweder betrachten, welche Schallanteile wann an den Aufnahmeort gelangen, wenn man irgendwo im Raum einen Schallimpuls erzeugt ('Analyse im Zeitbereich') oder man erzeugt stationären Schall einer festen Frequenz, variabler Frequenz oder mit einem breiten Spektrum und mißt nach einer genügend langen 'Einschwingzeit', welche Frequenzanteile mit welcher Energie ans Mikrofon gelangen ('Analyse im Frequenzbereich').

Die akustischen Eigenschaften eines Raumes im Frequenzbereich zu betrachten heißt im einfachsten Fall, ihm einen stationären Schall anzubieten, zu warten, bis die transienten Folgen des Einschaltvorgangs ab-

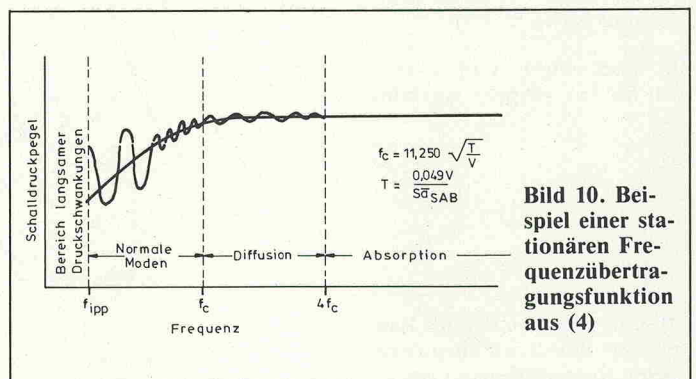


Bild 10. Beispiel einer stationären Frequenzübertragungsfunktion aus (4)

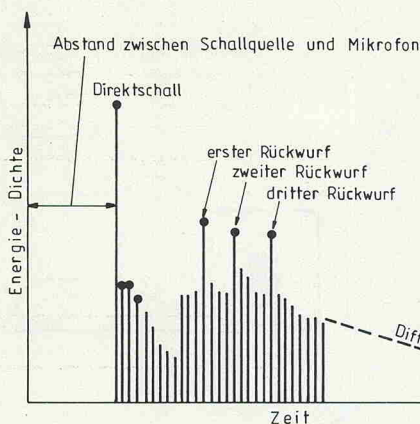
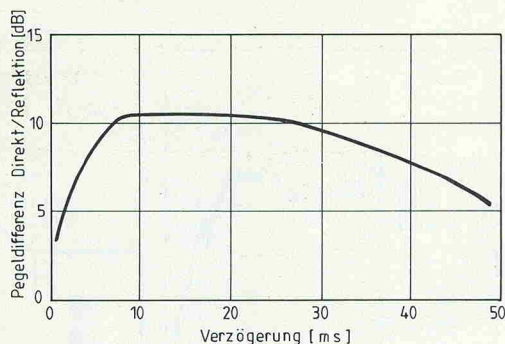


Bild 11. Prinzipieller zeitlicher Verlauf der Energiedichte für einen LEDE-Kontrollraum aus (4)

Bild 12. Zulässiger Pegel einer Reflexion bei Haas-Effekt aus (2)



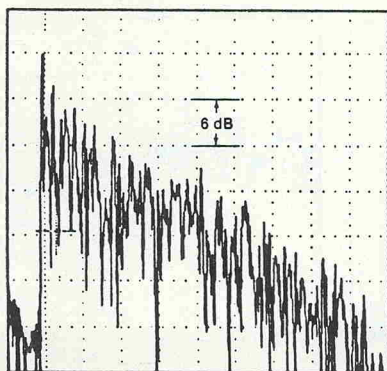
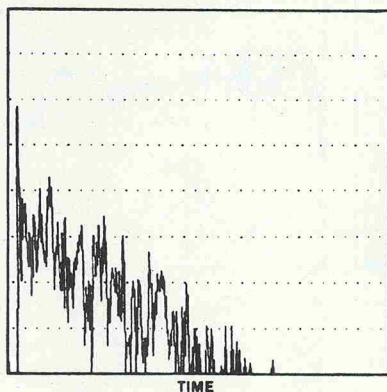
geklungen sind und dann den Signalpegel am Mikrofon für die interessanten Stellen des Raumes registrieren (Messung der 'Raumübertragungsfunktion' für stationäre Schallsignale). Eine sehr elegante Methode bietet hier das automatische Anregen des Raumes mit einem Sinussignal, das langsam durch den interessierenden Frequenzbereich 'geschoben' wird, verbunden mit einer gleichzeitigen, meist computergestützten Analyse des Pegels am Aufnahmeort, die dann zu einem Pegel-Frequenz-Diagramm der 'stationären Raumantwort' führt.

Ein Beispiel einer solchen Darstellung zeigt Bild 10. In den Frequenzverlauf wurden auch die Grenzen zwischen den Bereichen verschiedenen Raumverhaltens eingezeichnet, so daß sich sehr deutlich die Resonanzüberhöhungen des Raumes bei Eigenfrequenzen im Bereich der Modenausbreitung erkennen lassen, ebenso der mehr ausgeglichene Verlauf der Kurve im Diffusionsbereich und im Bereich geometrischer Reflexionen.

Betrachten wir nun ein Raumverhalten in der Zeitdimension.

electro-acoustic

In Bild 11 ist aufgetragen, welche Signalanteile nach welcher Zeit bei Aussenden eines Schallimpulses am Mikrofonort ankommen werden: Nach der Abgabe des Impulses



Direct-to-reverberant ratio: -2.22 dB

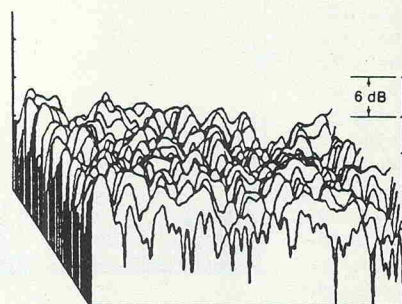
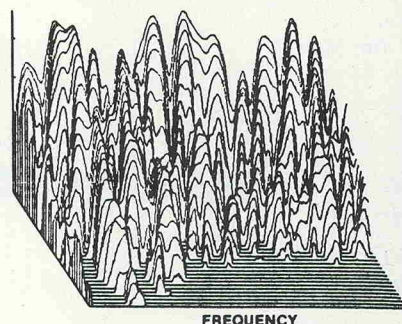
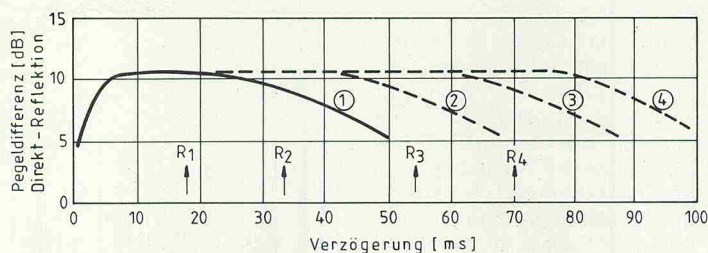


Bild 14. Beispiel der grundlegend unterschiedlichen Antworten eines großen und eines kleinen Raums aus (4)



braucht die Schallwelle zuerst eine gewisse Zeit, um als 'Direktschall' an den Mikrofonort zu gelangen. Kurz danach können Anteile ankommen, die z.B. aus dem geringfügig abgelenkten Direktschall stammen, die in einem guten Studio aber relativ geringe Energie haben werden. Schließlich wird irgendwann die erste starke Reflexion z.B. von einer eigens dafür vorgesehenen Raumfläche eintreffen. Man kann sie formal z.B. so definieren, daß sie als erster reflektierter Anteil weniger als 6 dB schwächer ist als die höchste in der folgenden Zeit auftretende Energiedichte.

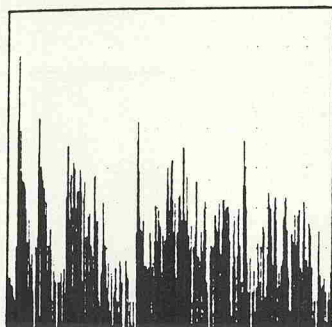
Die Zeit zwischen Ankommen des Direktschalls und dieser ersten starken Reflexion nennt man englisch 'initial time delay' ITD bzw. 'initial signal delay' ISD, zu deutsch etwa 'Anfangsverzögerung'. Sie spielt vor allem für die räumliche

Bild 13. Kutruff-Effekt. Verlängerung der zulässigen Verzögerung für Haas-Effekt durch Reflexionen in gleichen Abständen aus (2)

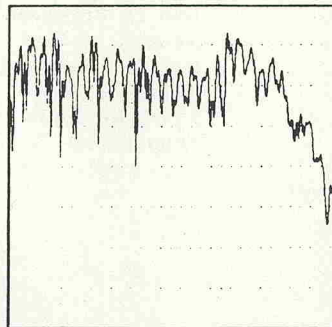
Wahrnehmung eines Schallsignals eine wichtige Rolle: Nehmen wir an, ein Direktschall erreicht einen Hörer von links vorn und die erste — angenommen etwa gleich starke — Reflexion von rechts vorn und wir verzögern das Eintreffen der Reflexion von Null ausgehend.

1. Wächst dann der Zeitverzug zwischen beiden Signalen von sehr kleinen Werten von einigen Mikrosekunden aufwärts, so wird der Hörer nur ein Summensignal aus Direktschall und Reflexion wahrnehmen, das langsam von vorn nach links zur Schallquelle wandert. Dort angelangt, wird sich die wahrgenommene Richtung nicht mehr verändern.

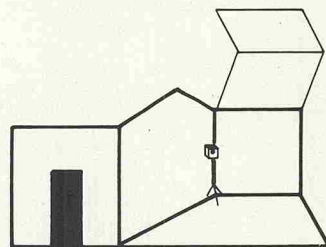
2. In der Folge tritt bei wachsender Verzögerung der interessante Effekt auf, daß die Energie der Reflexion zwar zur Lautheitswahrnehmung des Schallsignals weiterhin beiträgt, aber ein Mensch sich in der Lokalisierung der Schallquelle nicht mehr von ihr beirren läßt, sondern sich ausschließlich nach dem Direktschall richtet ('Gesetz der ersten Wellenfront'). Dies gilt bis zu einer Verzögerung von etwa 40 ms.



(A)

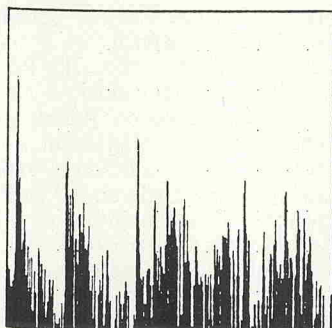


(B)

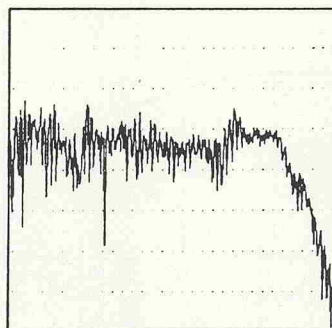


(C)

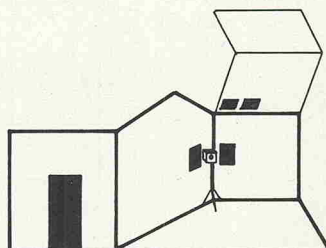
3. Dieser Effekt kann bei etwa 10-20 ms Verzögerung sogar so weit gehen, daß der 'Sekundärschall' bis zu etwa 10 dB über dem 'Primärschall' liegen kann, ohne einen Einfluß auf die Lokalisierung zu haben ('Haas-Effekt'). Bild 12 zeigt, bei welcher Verzögerungszeit das verzögerte Signal wie stark sein darf, um gerade noch den Effekt zu erzeugen.



(A)



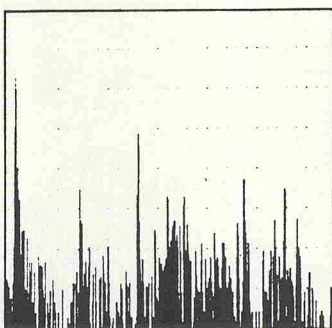
(B)



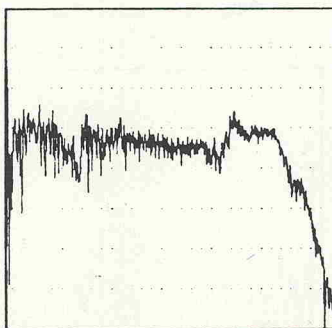
(C)

Läßt man der ersten Reflexion in bestimmten, gleichmäßigen Abständen und vorzugsweise aus der gleichen Richtung noch andere Reflexionen folgen, so kann das Zeitverzögerungsintervall (engl. 'fusion zone'), in dem der Effekt garantiert ist, sogar noch bis auf ein Mehrfaches erweitert werden ('Kuttruff Effekt', Bild 13).

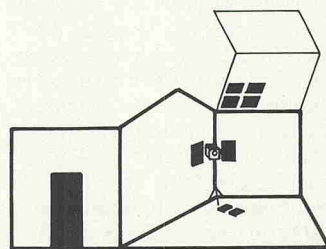
4. Wächst die Verzögerung zwischen Direktschall und erster Reflexion dann in den Bereich von 50-100 ms, so wird die Reflexion immer mehr als Echo wahrgenommen, was für Studios normalerweise als Störeffekt gilt.



(A)



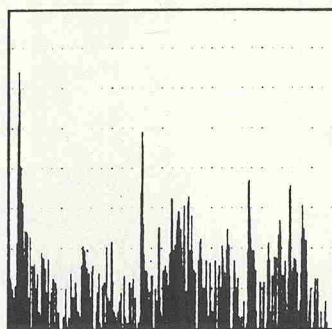
(B)



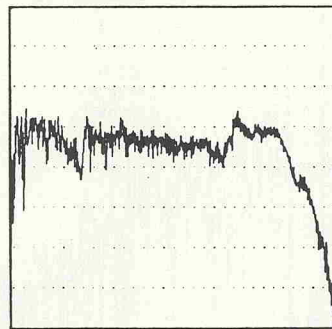
(C)

Mit dem Tecron-Analysator können die vielfältigsten Messungen veranstaltet werden.

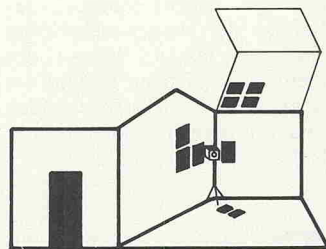
In der Praxis wird der Haas-Effekt bzw. Kuttruff-Effekt dazu ausgenutzt, frühe Reflexionen zeitlich so zu legen, daß sie den Primärschall unterstützen, ohne die räumliche Information zu verzerren, andererseits wird man die Anfangsverzögerung für den Kontrollraum größer konstruieren als für den Aufnahmerraum, damit beim Abhören und Mischen die Charakteristik der Aufnahme nicht verfälscht wird.



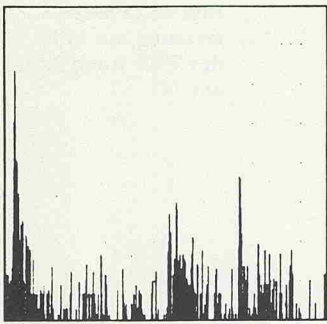
(A)



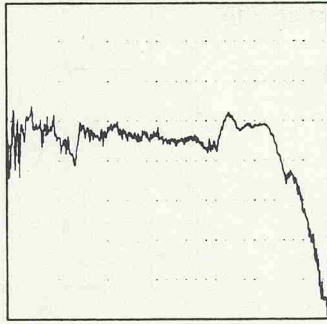
(B)



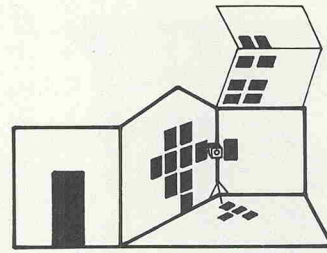
(C)



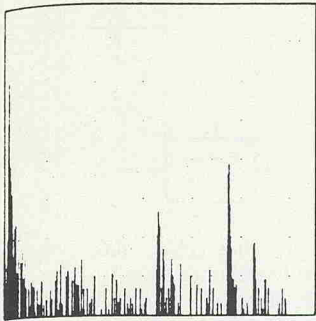
(A)



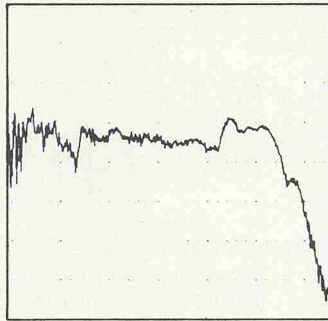
(B)



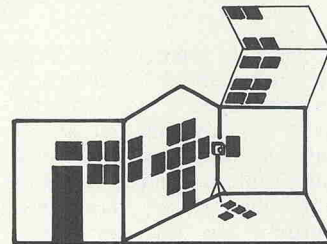
(C)



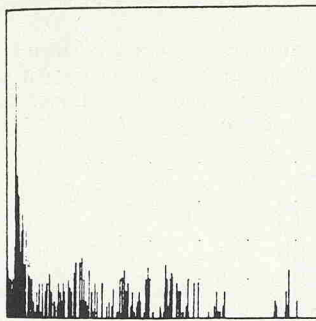
(A)



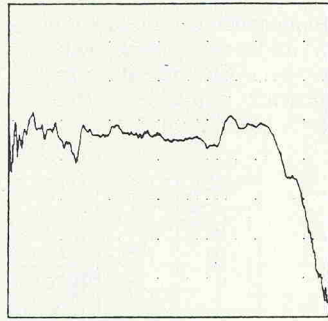
(B)



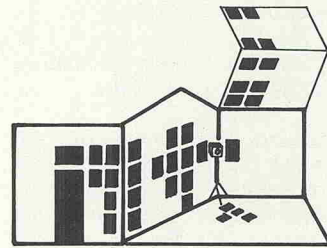
(C)



(A)



(B)



(C)

Bild 15. Veränderung des akustischen Raumverhaltens bei Einbringen von SONEX-Feldern aus (4), Untersuchungen und Messungen von Doug Jones

Nach der ersten Reflexion treffen in unserer zeitlichen Betrachtung mit wachsender Verzögerung reflektierte und mehrfach reflektierte Schallanteile ein. Dabei wird einerseits mit wachsender Ordnung der

electro-acoustic

Reflexionen der Pegel dieser Anteile immer geringer, andererseits aber auch die Anzahl gleichzeitig eintreffender Anteile, also die Eintreffendichte immer größer. Es bildet sich dabei für höhere Frequenzen (s.o. Frequenzbereich C) das diffuse Nachhallfeld, dessen Energie idealerweise exponentiell über der Zeit abfällt. In dieses Zeitintervall fallen allerdings auch noch einzelne Reflexionen der höheren Frequenzen (Frequenzbereich D), die eventuell den Leistungsabfall hörbar stören können; sie müssen

mit geeigneten Mitteln gesondert unterdrückt werden.

Soweit der Idealverlauf des Schalldrucks am Aufnahmeort bei Erzeugung einer Impulsanregung. Erzeugt man beliebige Schallanregungen wie Musik- und Sprachsignale in dem so untersuchten Raum, so kann man sich vorstellen, daß sie annähernd aus einer Aneinanderreihung von Impulsen verschiedener Amplitude bestehen, auf die der Raum einzeln in der beschriebenen Weise reagiert.

Eine natürliche Erweiterung der beiden genannten Analyseweisen von akustischem Raumverhalten ist die heute weitverbreitete 3D-Darstellung der Leistungsdichte am Aufnahmeort nach Impulsanregung des Raumes, aufgetragen über Frequenz(-bändern) und Zeit. Bild 14 zeigt für einen kleinen Raum (oben) und einen großen Konzertsaal (unten) einerseits die Raumimpulsantwort (Energie gegen Zeit), andererseits dasselbe Signal, aber nach Frequenzbändern aufgespalten. An diesen Bildern wird noch einmal deutlich, wie stark beim kleinen Raum das Fehlen eines statistisch verteilten Nachhalls mit dem Vorherrschen einzelner Resonanzen verbunden ist, was sich auch beim ungleichmäßigen Abklingen bemerkbar macht. Gute Anschauung für die Anwendung solcher Darstellungsweisen bietet die Arbeit von Doug Jones: In Bild 15 wird dargestellt, wie sich die Zeit- und Frequenzdiagramme verändern, wenn in einem Raum sukzessive Sonexfelder aufgebaut werden.

An dieser Stelle sollte klar geworden sein, daß die Meßausrüstung des Studio-Einrichters einen zentralen Faktor seines Arbeitserfolges darstellt. In den letzten Jahren hat sich gerade auf diesem Gebiet mit den Tecron TEF-Analysatoren ('Time-Energy-Frequency', siehe Bild 16), vorangetrieben durch die Entwicklung im Computerbereich, eine Revolution vollzogen. Mit diesen Analysatoren stehen jetzt Geräte zur Verfügung, die verschiedenste Darstellungsweisen für Systemeigenschaften beherrschen, z.B.

○ Phasenmessungen aller Art einschließlich Gruppenlaufzeiten, Nyquist Diagrammen und Phase als Funktion der Frequenz

○ Impedanzmessungen aller Art

○ Digitale Oszilloskopmessungen

○ FFT-Messungen aller Art bis in den Megahertzbereich

○ Messung von Richtfaktoren und Darstellung in 3D-Diagrammen, Polardiagrammen oder Winkel gegen Frequenz

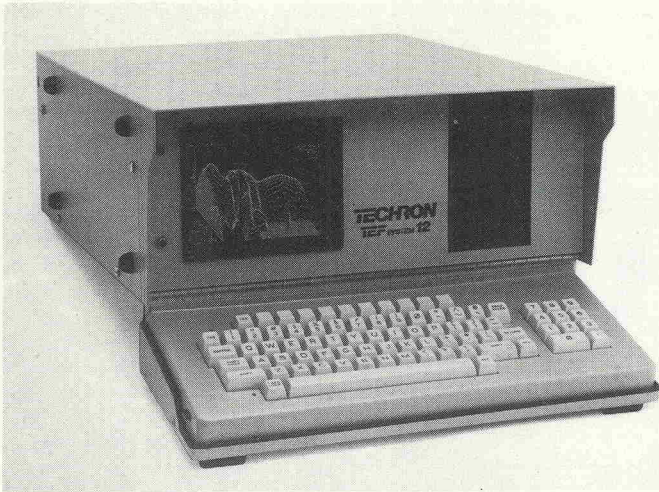


Bild 16. TED-Analysator (Werksfoto)

○Messung von Amplitude über Frequenz und Zeit für Impulsantworten

○Impuls- und Doppelimpulsmessungen

○Messung der Energiezeitkurven

○Nachhallmessungen mit Schröderintegration

○Messungen Frequenz gg. Zeit

○Messung von harmonischen Verzerrungen in Betrag und Phase

○Vergleich von Direktschall und reflektiertem Schall

○Vibrationsmessungen

○Messungen Energie gegen Frequenz

○Geglättete und integrierte Energiezeitkurven

○Direkte Messung spezieller Kenngrößen wie

% Al.Cons, RASTI, D/R, $L_D - L_R$

All diese Messungen einschließlich Stabilitätsmessungen können mit einem einzigen Gerät

verwirklicht werden. Die Verfahren bauen dabei theoretisch auf der Theorie des 'analytischen Signals' auf, praktisch auf Messungen von Übertragungsfunktion und Impulsantwort mit Hilfe eines FM-chirp-Signals (i.w. ein Sinuswobbel, Bild 18 zeigt typische Meßaufbauten.) Die Vorteile sind

○hohe dynamische Aussteuerbarkeit

○keine Probleme mit Auflösung im Zeit- oder Frequenzbereich

○keine destruktiv wirkenden Testsignale wie Impulse

Hat ein TEF-Analysator erst einmal die Übertragungsfunktion ermittelt, kann er alle seine Darstellungen errechnen und ausgeben. Ein Beispiel für die meßbasierte Darstellung eines Bodediagramms zeigt Bild 19, eines Frequenz-Zeit-Diagramms Bild 20.

Betrachtet man verschiedene Bilder von Raumimpulsantworten und Raumübertragungsfunktionen, wird schnell klar, daß es eine nichttriviale Aufgabe ist, hier

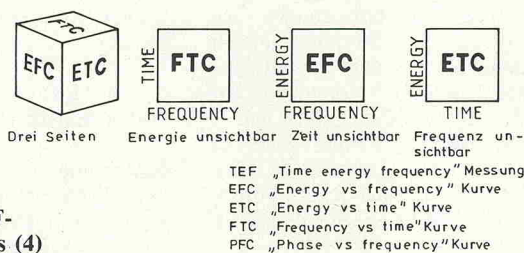


Bild 17. Die Analyse-Arten am TEF-Analysator aus (4)

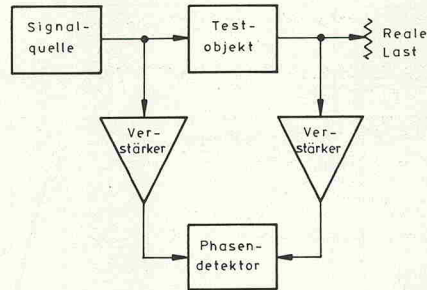
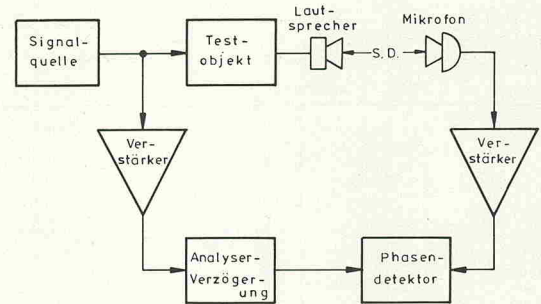


Bild 18. Phasenmessung mit Hilfe des TEF-Analysators aus (4)



eine Idealform zu erreichen. In der Vergangenheit haben sich dazu neben verschiedensten 'Faustregeln' auch einige exakte Ansätze entwickelt.

Speziell bei kleinen Räumen geht es darum, trotz geringer geometrischer Weglängen, stehender Wellen im genutzten Frequenzbereich und der damit verbundenen Abwesenheit eines rein diffusen Feldes, ein gewünschtes zeitliches Verhalten der besprochenen Art zu errei-

chen. Dies gelingt dann, wenn die Eigenmoden des Raumes — oft einzeln — kontrolliert und die akustischen Weglängen

○durch Absorption unerwünschter Schallanteile

○durch zusätzliches Anbringen reflektierender Flächen

○durch das geschickte Ausnutzen der strahlenförmigen Ausbreitung vor allem bei höheren Frequenzen

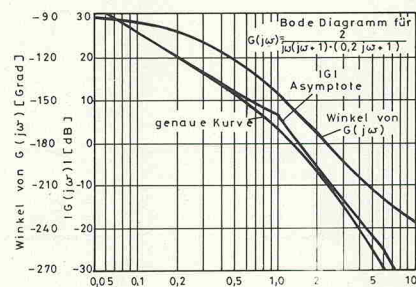


Bild 19. Beispiele einer Bodediagrammdarstellung

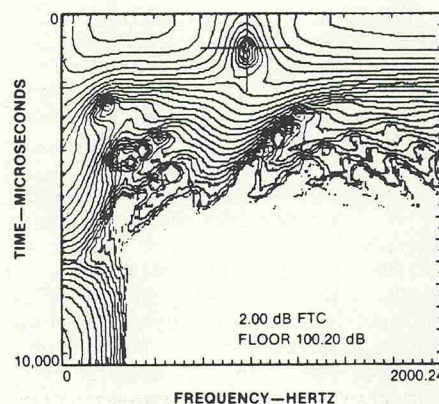


Bild 20. Abbildung des Pegels über Zeit und Frequenz für ein klirrendes Filter aus (4)

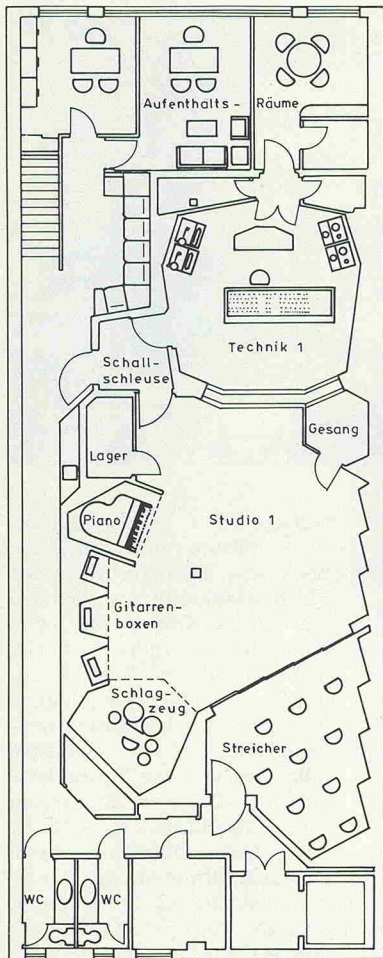


Bild 21. Grundriß des Studio 1 und Kontrollraumes der Sigma in Philadelphia aus (2)

auf die günstigen Verzögerungszeiten hin optimiert werden.

Obwohl beim Studiobau die jeweilige Funktion stark die Bauweise beeinflusst, lassen sich einige allgemeine Regeln für Aufnahme- und Kontrollräume gleichermaßen angeben:

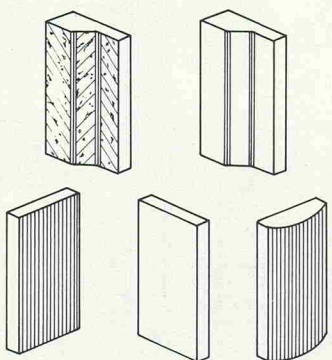


Bild 23. Einige typische Formen für Modulare Diffusoren und Reflektoren, Breite etwa 1,3 Meter, Länge bis zu 4 Metern aus (2)

electro-acoustic

○Die Wände eines Raumes sollten nie parallel zueinander stehen, um sogenannte Flatterechos zu vermeiden: Diese sind keine stehenden Wellen, sondern entstehen, wenn eine Schallwelle zwischen zwei parallelen Flächen wiederholt hin- und herläuft und dabei jedesmal ein Schallergebnis am Aufnahmeort erzeugt. Dieser Effekt kann natürlich auch dann auftreten, wenn durch Gegenstände im Raum solche Flächen erzeugt werden.



Bild 22. Ansicht des Studio 1 der Sigma Sound Studios (mit freundlicher Genehmigung von Arthur Stoppe, Sigma Sound)

○Aus dem gleichen Grund sollte auch die Decke nicht parallel zum Fußboden verlaufen, wobei sie in Kontrollräumen von der Front ausgehend ansteigen oder abfallen sollte.

○Im Allgemeinen läßt sich durch den zweischaligen Aufbau der Wände ein gutes Verhalten des Raumes bei niedrigen Frequenzen erzielen, während für höhere Frequenzen eine Vielzahl von auftragbaren Materialien hergestellt werden.

○Ein gutes Studio sollte eine geräuscharme oder -lose Klimaanlage haben, Befestigungen sollten sehr sorgfältig behandelt werden ('Schrauben und Kleben statt Nageln'), die Beleuchtung nicht gerade aus lärmenden Neonröhren bestehen.

Aufnahmeräume müssen i.a. verschiedenste akustische Verhältnisse bieten können, um so den unter-

schiedlichen Konstellationen von Schallquellen bei der Aufnahme gerecht zu werden. Einfache Mittel dazu sind einerseits ein 'Divide et impera', das akustische Entkoppeln der Quellen durch geschicktes Platzieren, z.B. in zueinander entlegenen Ecken oder in separaten Räumen (für Schlagzeug), andererseits bringt der Einbau variabler Wirkelemente wie Falttüren oder versetzbarer Absorptionselemente die Möglichkeit der individuellen 'Feinabstimmung', verwirklicht z.B. in den SIGMA-Sound-Studios in Philadelphia, Pennsylvania (Bild 21,22).

Eine Lösung, die davon ausgeht, daß kein Studioaufbau perfekt sein wird und daher Umbauten und evtl. Umzüge keine Seltenheit sind, wurde erstmals 1978 von Modular Perfection Inc. in Miami, Florida angeboten. Es handelt sich

Bild 24. Der Kontrollraum von Sigma Sound Studios, Philadelphia, USA (mit freundlicher Genehmigung von Arthur Stoppe, Sigma Sound)

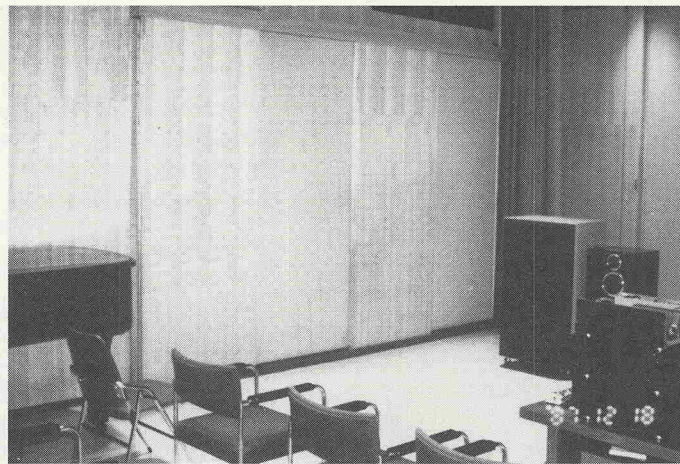
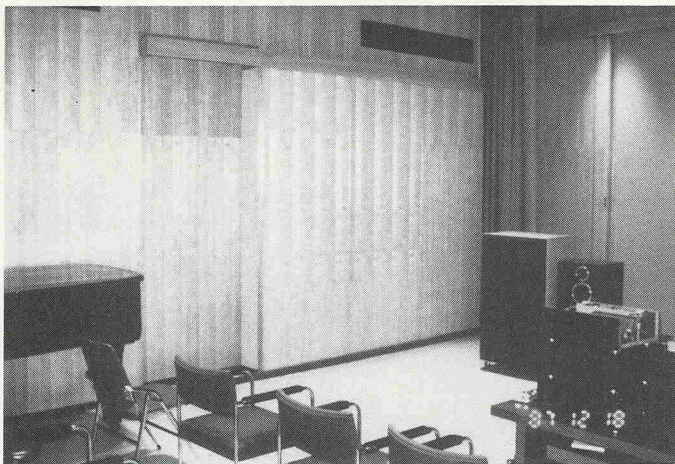


Bild 25. Seitenansicht des Ishii-Mizutani Abhörraums, reflektierend eingestellt (mit freundlicher Genehmigung Matsushita Audio, Japan)

Bild 26. Wie Bild 25, jedoch absorbierend eingestellt (mit freundlicher Genehmigung Matsushita Audio, Japan)

dabei um eine Art akustischer Fertigbauweise aus absorbierenden und reflektierenden Standardbauteilen (Bild 23), die sich relativ problemlos wieder demontieren lassen. Der Vorteil bei dieser Vorgehensweise besteht neben der Wiederverwendbarkeit vor allem auch in der freien Wählbarkeit der Absorptionskoeffizienten für die verschiedenen Wand- und Deckenelemente. Ohne erheblichen Aufwand an zusätzlichen Absorbern lassen sich so Strahlengänge ortsindividuell optimieren.

Systematisch haben ein solches Vorgehen Ishii und Mizutani (5) untersucht. Sie gehen aus von der Tatsache, daß ein Raum mit optimalem Verlauf der Nachhallzeit über der Frequenz

sich trotzdem qualitativ als schlecht erweisen kann. Sie erklären dies mit einer Reihe von Nachteilen konventioneller Konstruktion:

1. Oft ist die Übertragungsfunktion eines Raumes nicht wirklich gerade und verändert sich dabei auch noch mit dem Einfallswinkel am Aufnahmeort.
2. Bei tiefen Frequenzen reagiert der Raum oft aufdringlich.
3. Der Übertragungsbereich ist oft zu eng für HiFi-Anwendungen.

4. Das 'trial and error' Design erweist sich oft als kompliziert und zeitaufwendig.

Dann bemängeln sie, daß eine gerade Übertragungskurve nur dann auftreten wird, wenn alle Flächen des Raumes fast ideal reflektierend sind. Dies hat dann aber den Nachteil, daß man dadurch einen Hallraum

erzeugt statt eines Studios. Also müssen zum Ausgleich noch fast ideal absorbierende Flächen eingeführt werden: So entsteht das Konzept der Kombination fast idealer Absorber und fast idealer Reflektoren, über deren Flächenverhältnis im Raum sich leicht die nominelle Nachhallzeit einstellen läßt. Den von den beiden konstruierten Demonstrationsraum zeigen die Bilder 25 bis 27. Er hat eine Oberfläche von 235 Quadratmetern, ein Raumvolumen von 732 Kubikmetern, eine absorbierende Oberfläche von 58 Quadratmetern und eine anvisierte Nachhallzeit von 0,5 Sekunden. Bild 28 zeigt die

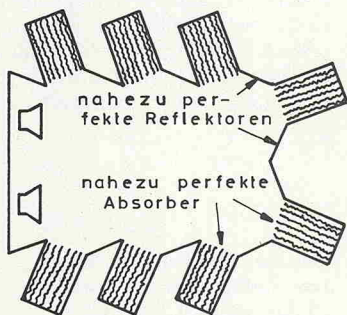
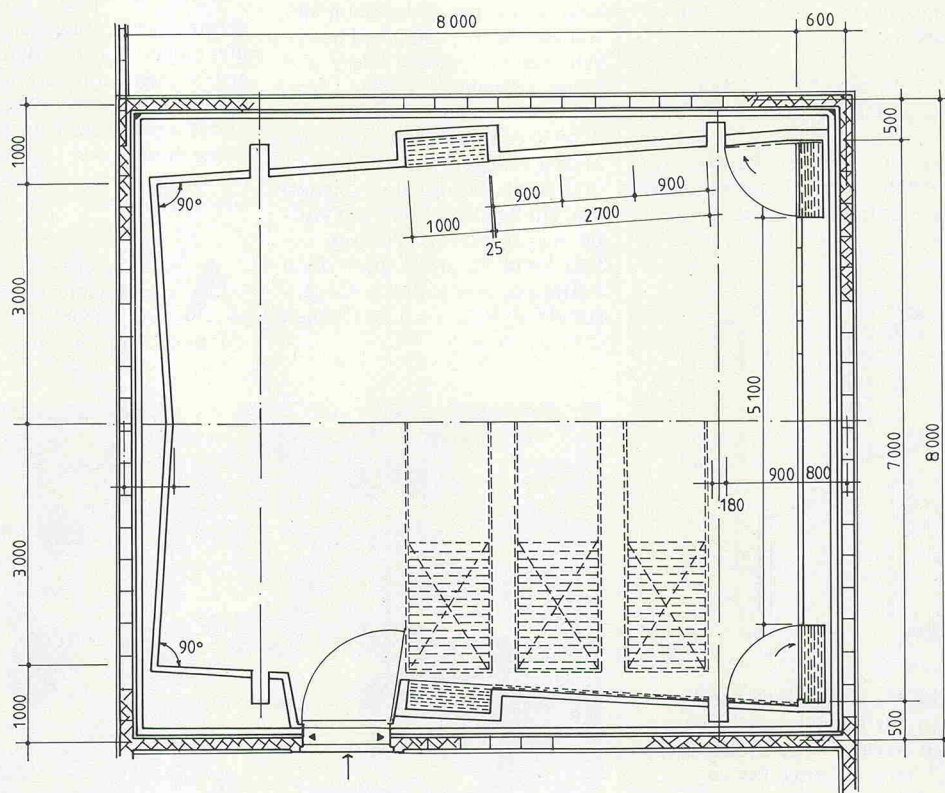


Bild 27. Grundriß des Ishii-Mizutani Abhörraums aus (2)



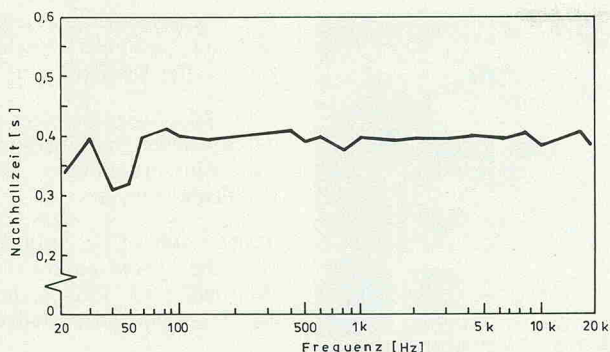


Bild 28. Verlauf der Nachhallzeit über der Frequenz für den Ishii-Mizutani Abhörraum aus (2)

Nachhallzeitkurve des Raumes über der Frequenz. Abgesehen vom Modenbereich zeigt sie eine hervorragende Gleichmäßigkeit.

Kontrollräume verlangen in ihrem akustischen Design eine unverfälschte Übertragung von den Monitorlautsprechern zum Mischpult bzw. zum Auditorium. Dabei entstehen oft zusätzlich einschränkende Bedingungen durch das optische Design (Fenster zum Aufnahmerraum) und durch die operationellen Bedingungen (Lage des Mischpultes, zusätzliche Aggregate). Ausgehend von einfacheren Vorgehensweisen, die mehr auf angenehmes, indirektes Licht und augenfällige Wandpaneele Wert legten als auf akustische Stringenz, entwickelte sich das Gebiet des Designs hin zu mikroprozessorgesteuerter Messung, Computersimulationen und der Berücksichtigung psy-

cho-physikalischer Ergebnisse wie Haaseffekt und Kammfiltereffekt. Heute existiert eine Reihe von Designkonzepten, von denen die Augspergers und Davis hier kurz beschrieben werden sollen.

Augsperger hat seit 1975 über einhundert Kontrollräume konstruiert und in weiteren einhundert eigene Korrekturen angebracht. Seine Haltung zur Funktion eines guten Kontrollraums beim Mischen stellt er folgendermaßen dar: '...gute Mischräume (mixdown rooms) haben nicht die Funktion, 'perfekte' Abhörräume zu sein. ... Stattdessen wird ein Mischraum als Arbeitsmittel benutzt. Er sollte den Ingenieur in die Lage versetzen, ein Endprodukt zu konstruieren, das mehrschichtig und sehr komplex sein kann und trotzdem seine Integrität in einer großen Vielfalt von Abhörbedingungen bewahrt' (1,

Übersetzung d. Verf.). Augsperger vollzog auch die Abstimmung des Kontroll- und Mischraums des Sigma Sound Studio 1 (1, Bild 29). Dabei gab er als Konstruktionseingangsbedingungen folgendes an:

1. Die Form des Kontrollraumes sollte zweiseitig symmetrisch sein, mit einer Breite von vorne 16-19 Fuß (4,8-5,7 Meter) und hinten 20-24 Fuß (6-7,2 Meter), gemessen an der inneren Schale. Das Raumvolumen sollte bei 4000-6000 Kubikfuß (macht 108-162 Kubikmeter) liegen.

2. Für die angemessene Übertragung räumlicher Information in den Schallsignalen ist eine korrekte geometrische Beziehung zwischen Ort des Operateurs und der Lage der Monitorlautsprecher notwendig:

○Die Monitore sollten etwa 3-4 Meter vom Mischpult entfernt sein und ihre Richtungen zum Mischpult einen Winkel von 60 Grad ergeben.

○Die horizontalen Mittenachsen der Lautsprecher sollten sich etwa einen Meter hinter der Konsole treffen.

○Wenn möglich, sollten die Monitorunterkanten tiefer als die Türhöhe liegen, möglichst 10 Grad über der Ohrhöhe.

○Der Wandbereich über dem Fenster zum Aufnahmerraum sollte bis zur endgültigen Aufstellung der Monitore unbedeckt bleiben und erst dann sollte die Raumbooberfläche über

'trial and error' mit Baffeln belegt werden. So können z.B. frühe Reflexionen besser kontrolliert werden.

3. Ein 'richtiges' Reflexionsverhalten des Raumes sieht Augsperger dann gegeben, wenn das Verhältnis von Direktschall- und reflektierter Energie am Ohr des Operateurs etwa eins ergibt und sich eine 'Nachhallzeit' des Raumes von etwa 0,25-0,3 Sekunden eingestellt. Ersteres kann vor allem durch den Richtfaktor der Monitore erreicht werden. Zusätzlich sollte der Raum geringfügig

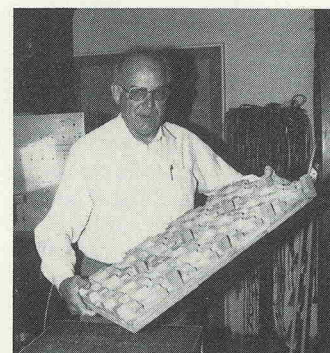


Bild 30. Zehnfach verkleinertes Modell eines Schröder-Diffusors, präsentiert von Professor Schröder

'front live — back dead' eingestellt werden, d.h. etwas mehr Reflexionen von vorn als von hinten für den Operateur. Für die projektierte Nachhallzeit errechnet sich ein durchschnittlicher Absorptionskoeffizient der Oberflächen von 0,33. Zur Einstellung der Absorptionsverhältnisse sorgt Augsperger zuerst in den drei Raumrichtungen für gleiche Absorption und reguliert dann etwas nach, bis der Raum sich 'richtig' anhört.

4. Unter 125 Hz sollte erhebliche Absorption vorhanden sein, unter 40 Hz weniger als die Hälfte des Nachhallpegels, verglichen mit den mittleren Frequenzen. Woofer sollten unter den Fenstern aufgestellt werden. Dort und auf der Rückwand des Raumes sollte auch das Gros der Absorption stattfinden.

5. Diffusions- und Reflexionselemente sollten hingegen gleichmäßig über den Raum verteilt sein, da sonst einseitige Schallverhältnisse entstehen, die ohne weiteres hörbar sind.

Bild 29. Kontrollraum des Studio 1 der Sigma Sound Studios (mit freundlicher Genehmigung Arthur Stoppe, Sigma Sound)



Bild 31. Tele-Image Studios in Dallas, gebaut von Russel Berger (Foto: Doug Tomlinson)



Augspergers Raum basiert auf dem Grundkonzept, daß Schall am Kopf des Operateurs von vorn und symmetrisch einfallen soll, wobei der hintere Teil des Raumes so präpariert wird, daß noch genügend 'Umhüllung' des Schallfeldes und ein geeignetes Abklingen gewährleistet ist. Hiervon unterscheidet sich grundlegend das Konzept von Don Davis, das 1978 zum ersten Mal beschrieben (DAVIS, 1978) und unter dem Markennamen 'LEDE' bekannt geworden ist (für 'live end- dead end'). Die Grundidee besteht darin, durch eine weitgehend absorbierende Vorderfront und eine diffus reflektierende Rückfront des Kontrollraumes dafür zu sorgen, daß sich ein psychoakustisch günstiger 'initial signal delay' am Ohr des Operateurs ergibt: Der von den Monitoren abgestrahlte Schall wird bei solchen Verhältnissen einerseits als ungestörter Direktschall zum Ohr des Operateurs gelangen, wobei frühe Reflexionen an der Wand neben den Lautsprechern vermieden werden, andererseits wird die erste starke Reflexion nur über einen Umweg zur Rückwand des Raumes entstehen, so daß zum Einstellen des ITD ein maximaler Verzögerungsweg zur Verfügung steht. Weiterhin kann, da sich Schallfelder über den hinteren Teil des Raumes ausbreiten, durch geeignete Diffusoren an der Rückwand in einfacher Weise ein künstliches Nachhallfeld erzeugt werden. Ein solches Konzept wird natürlich nur funktionieren, wenn

Schallwellen die hier vorausgesetzte Gerichtetheit besitzen, d.h. das Konzept wirkt nur bei 'geometrischen' Frequenzen (Bereich D).

Davis selbst erlaubt die Verwendung des Begriffs LEDE bei Räumen, die folgende Eigenschaften haben:

1. Eine unsymmetrische äußere Raumschale, die die niedrigen Frequenzen (Bereiche A,B im Frequenzschema) im Raum unterstützt und dabei selbst frei von Körperschallresonanzen bleibt. Dies garantiert eine saubere Übertragung der Bässe bei Musikwiedergabe.
2. Eine symmetrische innere Raumschale, die wirksam wird bei 'geometrischen' Frequenzen (Bereich C,D oben): 'Symmetrie' heißt hier nicht 'Parallelität', zur Vermeidung von Flatterechos sollten Wände grundsätzlich eine gewisse Schräge zueinander aufweisen.
3. Ein effektiver Schallweg ohne Echobildung zwischen Monitoren und Operateur, der mindestens bis 2-5 ms nach dem ITD-Intervall des Raumes garantiert ist.
4. Ein bei geometrischen Frequenzen stark diffuses Feld während der Dauer der Wirksamkeit des Haaseffektes (etwa nach 20 ms).
5. Keine Schallübertragung, z.B. durch Körperschall, zwischen Monitor und Operateur vor dem Eintreffen des direk-

ten Luftschalls. Dies würde, da Körperschall sich meist erheblich schneller ausbreitet als Luftschall, zu einer undefinierten 'ersten Wellenfront' (s.o.) führen.

6. An der Rückseite des Raumes sind Wände und Decke so arrangiert, daß sie ein so irreguläres und dichtes Kammfiltermuster liefern, daß keine Klangverfärbungen entstehen.

Das irreguläre Reflexionsmuster im hinteren Teil des Raumes läßt sich heute sehr gut mit sog. Schröder-Diffusoren erreichen. Dies sind Diffusoren, die auf zahlentheoretischen Grundlagen basieren und hervorragend kontrollierbare Zeit- und Frequenzeigenschaften besitzen (siehe Bild 30). Ein Beispiel eines LEDE-Studios mit solchen Diffusoren zeigt Bild 31. Vorteile des LEDE-Konzeptes bestehen darin, daß

1. die Kammfiltermuster der Diffusoren Energie liefern, wo Absorber 'schweigen'.
2. die Verzögerung bis zur ersten signifikanten Reflexion so groß eingestellt werden kann, daß der subjektive Eindruck eines großen Raumes erzeugt wird.
3. alle Reflexionen erster Ordnung unter den Haas- und Kuttruffeffekt fallen.
4. auch bei höheren Pegeln keine Klangverfärbungen auftreten.

5. ein angemessenes Nachhallfeld mit 'normaler' Nachhallzeit erzeugt werden kann.

6. die Schallwege so gelegt sind, daß optischen und operationellen Einschränkungen keine Probleme erzeugen.

Besitzer von LEDE-Studios loben die 'Transparenz' und 'Klarheit' ihrer Räume, ferner die 'Sauberkheit' des Klanges.

In diesem Artikel konnten nur wenige der modernen Konzepte zur Einrichtung von Studios angesprochen werden. Es sollte deutlich geworden sein, daß das verbesserte Verständnis für menschliche Wahrnehmungsprozesse und die Akustik von Räumen einerseits, verbesserte und vor allem schnellere Meßmethoden andererseits uns einer wirklichen 'Methodik' des Studiobaus etwas näher gebracht haben. Bis zum Erreichen dieses Zieles ist es jedoch noch weit und unklar bleibt vorerst, ob die Eigenschaften einer 'guten Akustik' jemals vollständig erfaßbar sein werden.

Literatur

- (1) AUGSPERGER, G.L. 'Contemporary Mixdown Room Design'. dB The Sound Engineering Magazine, Vol. 15, No.11, S.54-59. November 1981.
- (2) BALLOU, G. (ed.). Handbook for Sound Engineers. Indianapolis, 1987. Howard W. Sams & Co.
- (3) DAVIS, D. 'Putting It All Together in a Control Room'. Synergetic Audio Concepts Tech Topic, Vol. 5, No. 7, April 1978.
- (4) DAVIS, D., DAVIS, C. Sound System Engineering. Indianapolis, 1987. Howard W. Sams & Co.
- (5) ISHII, S., MIZUTANI, T. 'A New Type of Listening Room and Its Characteristics - A Proposal for a Standard Listening Room', presented at the 72nd convention of the AES. Reprint 1987 (B-4). Oktober 1982.
- (6) SABINE, W.C. Collected papers on Acoustics. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press, 1922.

Das TASCAM 8-Spur Studio:



Tascam 238 Syncoaset: 8 getrennte Spuren mit 12-fach LED-Anzeige * dbx-Rauschunterdrückung (S/N: < 90 dB) * Autolocator * Cue * Echtzeitzahlwerk * Sync-Spur * 9,5 cm/Sec. * Frequenzgang: 30 Hz-16 kHz * Ext. Pitch-Con.

AUDIO ELECTRIC - Preis: DM 3.500,-

Unseren Katalog versenden wir gegen DM 3,50 in Briefmarken



AUDIO ELECTRIC Musikinstrumente GmbH
Robert-Bosch-Str. 1 • 7778 Markdorf • Tel. 0 75 44 / 7 16 08

ct magazin für
computer
technik

magazin für elektronik
elrad

Besuchen Sie uns
auf der

HANNOVER MESSE
CeBIT'89
Welt-Centrum Büro-Information-Telekommunikation
8. - 15. MÄRZ 1989
Halle 7, Stand C 57

FÖÖDN

- Hörner
- Treiber
- Boxen
- Lautsprecher
- Endstufen

Beratung—Service—Verkauf
Schützenstr. 39—43 • 5650 Solingen 1
Tel. (02 12) 4 42 91

DENN DIE SCHÄRFSTEN
SACHEN KAMEN IMMER
SCHON AUS SOLINGEN.

THE SUPERGATE NOISEGATE in VCA-TECHNIK

5 μ sec schnell, studiotauglich
kein Knacken und Flattern, Hold, Wait,
Ducking, Keyinput, durchstimmbare
Hoch + Tiefpaßfilter im Steuerweg.
2 Kanäle in 19" 1 HE.

als Bausatz ab 355,— DM
als Fertiggerät 898,— DM

Kostenloses Informationsmaterial
im Handel und bei

blue valley Studioteknik
Saure + Klimm GBR

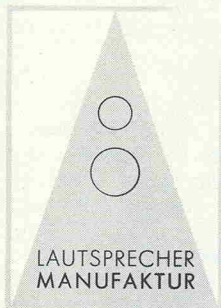
Germaniastr. 13, 3500 Kassel
Neue Tel. 05 61/77 04 27 neue
Updateversion Updateversion

Lautsprecher Manufaktur GmbH

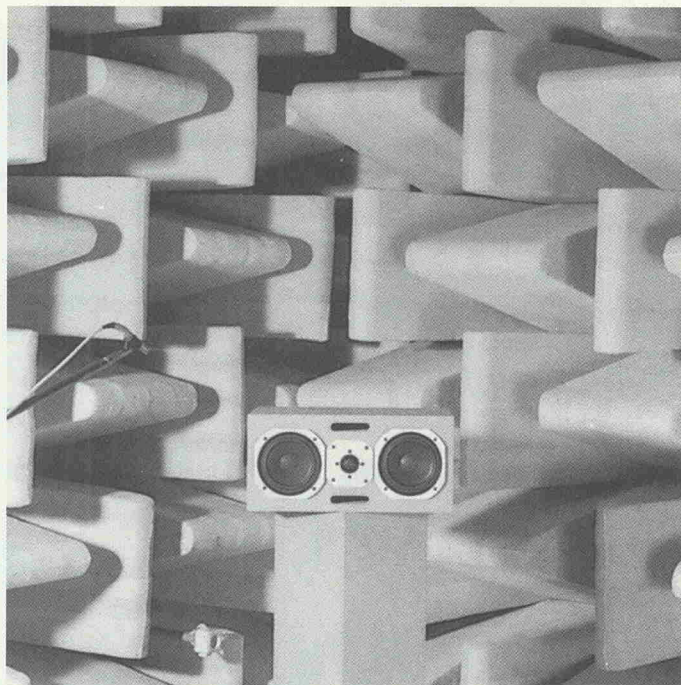
Diskotheken-Beschallungen
HiFi-Boxen
Car-HiFi
Designorientierte HiFi-Boxen
Eigene Schreinerei

**6800 Mannheim 24,
Schulstraße 85**

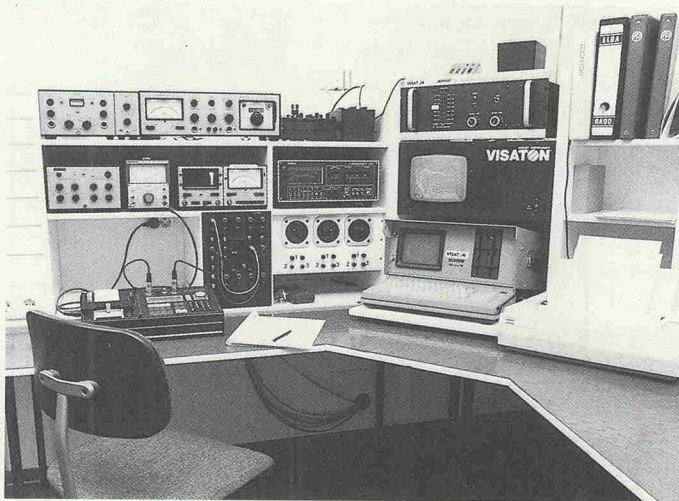
Tel. (06 21) 85 77 77 / 85 61 70



Klare Sache beim Mixdown



Hier sehen Sie den Prototyp des neuen VISATON Studio - Nahfeld - Monitors. In dieser Box steckt unsere ganze Erfahrung aus der Elektroakustik. Zusammen mit modernster Meßtechnik entstand so ein Abhörlautsprecher neuester Generation, der den enorm gestiegenen Anforderungen im professionellen Studio- und im Home - Recording - Bereich problemlos gerecht wird.



VISATON - Audio - Meßplatz

Der Studio - Nahfeld - Monitor wird als Fertigbox lieferbar sein.

WEST GERMANY
VISATON

VISATON®
Peter Schukat
Postfach 16 52
Ohligser Str. 29-31
5657 Haan 1
Tel.: 0 21 29 / 55 20

Moving Lights — Licht in Bewegung

Michael Friedriszik

Die Idee ist im Prinzip recht einfach: Man nehme ein normales PAR 64-Scheinwerfergehäuse und versehe es mit einer Antriebsvorrichtung, die es ermöglicht den Strahl des Spots in der vertikalen und horizontalen Ebene frei zu bewegen: Die Lightshow gewinnt an Dynamik, akzentuierte Wechsel — wie sie bislang nur mit einer gewissen Mindestzahl an Spots erst möglich waren — sind nun auch mit weniger Material zu bewerkstelligen.

Mehrere Positionen können von ein- und demselben Scheinwerfer 'abgedeckt' werden.

Sofort kommen jedoch auch die Nachteile dieser Technik ins Spiel: Das Geld, das man beim Kauf von weniger Scheinwerfergehäusen und Zubehör spart, muß beim Finanzieren der 'Posis' voll eingesetzt werden, in der Regel liegen die Preise für positionierbare Systeme, die einerseits aus den modifizierten PAR 64-Gehäusen, andererseits aus den entsprechend hochwertigen Steuergeräten bestehen, weit über den Anschaffungspreisen einer kanalmäßig vergleichbaren Lichtanlage.

Wie oft bei technischen Neuerungen liegt der Teufel im Detail; bei vielen Systemen ist die Entwicklung der mechanischen Teile unbefriedigend und unausgereift, wieder andere bringen trotz guter beleuchtungs-technischer Eigenschaften Gewichtsprobleme mit sich, einige Geräte sind schlichtweg zu langsam, 'zittern' zu stark beim Haltevorgang oder produzieren Lichtstrahlen, die allenfalls in kleinen Diskotheken befriedigend sind, jedoch auf Bühnen keine ausreichende Lichtmenge anbieten.

Sicherlich wird niemand auf die Idee kommen, positionierbare Scheinwerfersysteme ausschließlich als Ersatz für mehrere herkömmliche Scheinwerfer zu nutzen. Praktikabel ist der Einsatz als Effektscheinwerfer, der Lichttechniker wird mit Posis genau so umgehen, wie er mit Aircrafts, Lecos und ähnlichen Effektscheinwerfern bisher auch umgegangen ist: Zunächst wird mit genügend PAR-Spots bzw. Theaterscheinwerfern dafür gesorgt, daß die Grundvoraussetzung beim Bühnenlicht (nämlich,

daß man 'was' sieht), erfüllt ist. Erst danach kann man sich designerischen Aufgaben widmen.

Neben dem 'Klassiker' Varilite gibt es mehrere Systeme auf dem Markt, die teilweise recht unterschiedliche Wege gehen, um die oben angerissenen Probleme in den Griff zu bekommen.

Spectron und Mac Spot nennen sich die Posi-Systeme des Schweizer Herstellers ACR. Die Antriebseinheit ('Drive-

electro-acoustic



Werkfoto: PosiSpot Amptown

Unit') des Systems trägt die Bezeichnung Mac Spot, in der Grundauführung wird hier ein Stufenlinsenscheinwerfer bewegt. Zum Lieferumfang gehört ein 16-kanaliges Steuergerät, das umfangreiche Programmierungs- und Steuerfunktionen ermöglicht. Der Spectron besteht zu einem Teil aus der Drive Unit des Mac Spots — bewegt wird hier jedoch ein Scheinwerfersystem, das, basierend auf dem Prinzip der additiven Farbmischung, mit drei Lampen nahezu sämtliche Farbvariationen anbieten kann. Mechanischen Farbwechselsystemen wurde diese Methode der Farbvariation vorgezogen, da Farbwechsler durch ihr hohes Eigengewicht die Konstrukteure vor vermeidbare neue Probleme gestellt hätten.

Amptown Hamburg hat mit dem 'Posi-Spots-System' ein Gerät auf dem Markt, das aufgrund praktischer Erfahrungen bereits mehrfach überarbeitet bzw. durch Zubehörteile ergänzt wurde. Hier wird ein PAR 64-Gehäuse in allen 'Himmelsrichtungen' schwenkbar gelagert. Präzise Motoren sorgen für große Genauigkeit bei der Bewegungssteuerung. Ein Controller überwacht auch hier die Steuerfunktionen, die selbstverständlich abspeicherbar sind. Für diese Spots wird seit der Musikmesse 88 ein Rollenfarbwechsler angeboten, der aufgrund seines relativ geringen Eigengewichtes durchaus noch für den Einsatz mit diesem System geeignet ist.

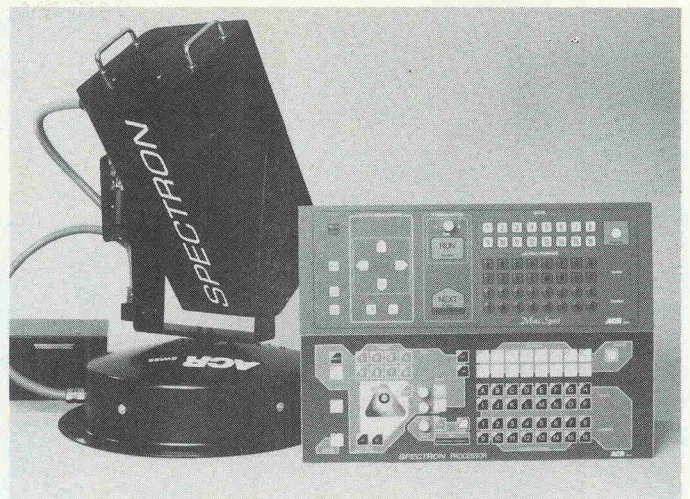
Coemar, ein italienischer Hersteller, hat mit seinem 'Robot' durch diverse Fernsehproduktionen auf sich aufmerksam gemacht. Die Gruppe Münchner Freiheit setzte das Posi-System ebenfalls mit Erfolg ein. Der Clou bei dieser Variante: Die Bewegung des Lichtstrahls wird durch die Umlenkung durch einen motorgesteuerten Spiegel bewerkstelligt. Das Gehäuse ist ansonsten fest montiert. Aufgrund der geringen bewegten Masse ist der Verlauf des Strahls bei Bewegung daher sehr ruhig. Im Laufe des letzten Jahres kamen mehrere Nachfolgemodelle auf den Markt, die sich jedoch vom Basismodell nur durch die Lampenart und -leistung unterscheiden. Seit neuestem ist zusätzlich zu

dem existierenden Steuergerät auch Steuersoftware auf dem Markt.

Intracent, ein bei Hamburg ansässiges Unternehmen, ist seit Jahren ernsthaft mit der Entwicklung und Konstruktion positionierbarer Scheinwerfer beschäftigt. Probleme bestanden in der Anfangszeit in erster Linie in der Auswahl der Motoren sowie der Konstruktion im Detail.

Pulsar ist ebenfalls seit der Musikmesse 88 in Frankfurt mit dem OSKA auf dem Markt der hochwertigen Steuergeräte für Posischeinwerfer vertreten; ein entsprechendes Gerät, das konstruktionsmäßig dem Robot-System von Coemar ähnelt, wurde vorgestellt.

Realsystem, das Produkt einer jungen Firma, die erstmalig mit lichttechnischen Geräten den Markt betritt, löst auf originelle Weise das Problem mit der bewegten Masse und den Abmessungen der Scheinwerfersysteme, die mit einem Umlenkspiel arbeiten (Clay, Paky (Pulsar), Robot): Der Spiegel wird einfach in ein herkömmliches PAR-Gehäuse integriert. Dadurch hat der Benutzer zwar etwas größere Einschränkungen in der 'Einstell-Weite' in Kauf zu nehmen als bei den anderen beiden Spiegel-Systemen. Die-



Der ACR-Posi-Spot mit zugehöriger Steuer- und Speichereinheit.

Resümee:

Der Erwerb eines positionierbaren Scheinwerfersystems macht eine genaue Analyse des gedachten Einsatzortes und der Bedingungen vor Ort unbedingt nötig, sollen nicht mehrere 10.000 DM (denn soviel kosten diese Anlagen schon in der Grundauführung — sechs bis zwölf Kanäle mit Steuergerät bzw. Steuersoftware) in den Sand gesetzt werden. Wichtige Aspekte bei der Auswahl des geeigneten Modells sind (unter anderen):

○Leistungen des Systems (Farbwechsler, etc.)

○Lichtausbeute und Art bzw. Güte des produzierten Lichtstrahls

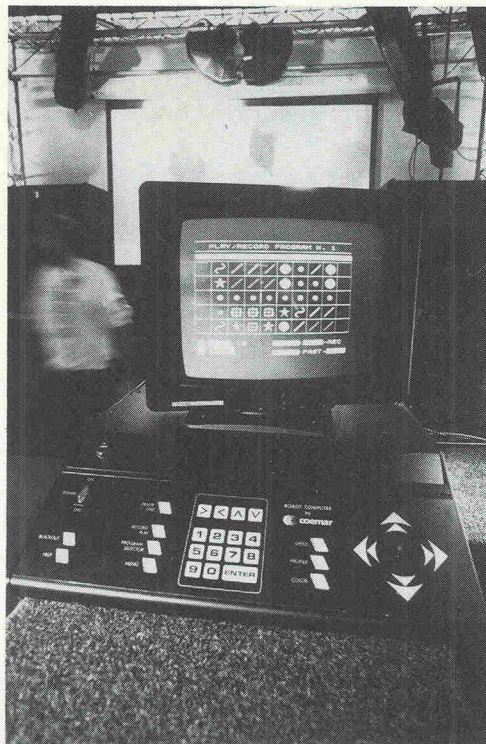
○Systemkompatibilität (Interessant, wenn beispielsweise Theaterausrüstung mit teilweise negativen Steuerspannungen mit Roadmaterial kombiniert werden soll.)

○Roadtauglichkeit/Stabilität

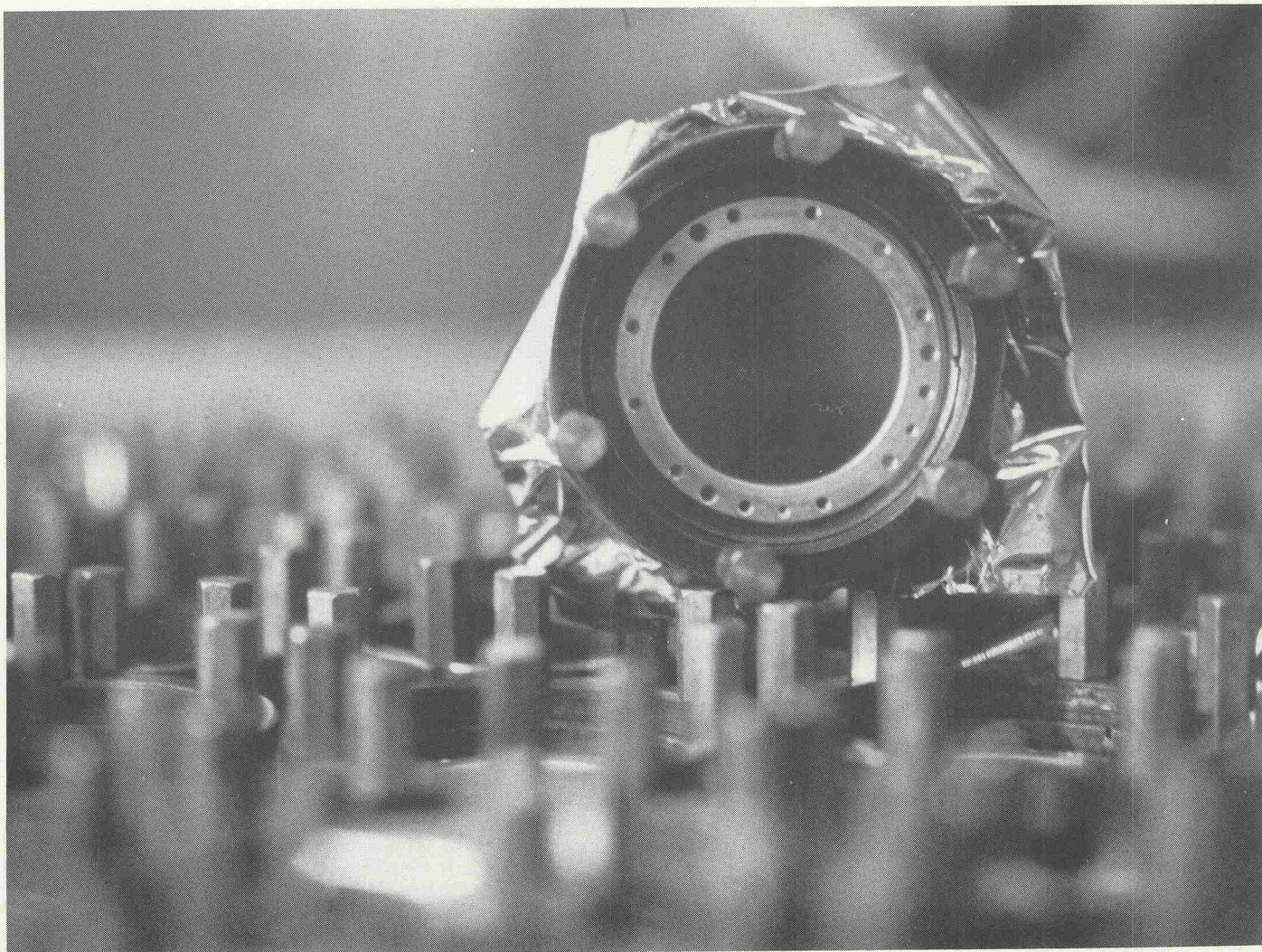
○Einhaltung gültiger Sicherheitsnormen (Besonders wichtig bei Importgeräten)

○Service

○Anschaffungspreis- und -konditionen (Einige Firmen bieten ähnlich wie in der Lasertechnik günstige Leasingkonditionen.) □



Das Coemar-Bedienteil mit Bildschirm-anzeige



Mikrofone

Konstruktionsmerkmale als Auswahlhilfe

Bruce Bartlett

Welches Mikrofon ist für meine Anwendung am besten geeignet? Soll ich ein Kondensatormikrofon oder ein dynamisches mit Kugel- oder Kardioidcharakteristik wählen? Ist ein gerader oder ein betonter Frequenzgang günstiger?

Dieser Artikel soll Ihnen helfen, die richtige Wahl zu treffen. Dazu werden einige der besonderen Stärken und Schwächen verschiedener Mikrofone beschrieben und deren Auswirkungen in unterschiedlichen akustischen Situationen erläutert.

Im Idealfall sollte es ein universelles Mikrofon geben, das in allen Situationen einsetzbar ist. Aber ein solches Element gibt es leider nicht, weil jede Situation unterschiedliche Anforderungen an das

Mikrofon stellt. Im Gegensatz zu Verstärker oder Lautsprecher, die im Idealfall eine frequenzunabhängige Übertragungsfunktion besitzen, ist ein solcher gerader Frequenzgang manchmal nicht machbar oder sogar unerwünscht. Beispielsweise wird der Toningenieur zur klanggetreuen Aufnahme klassischer Musik ein Mikrofon mit geradem Frequenzgang verwenden. Dagegen wird Popmusik in der Regel mit höhenbetonten Mikrofonen aufgenommen, um die Brillanz zu verstärken (das steigert den Plattenumsatz!).

Für den Toningenieur im Musikstudio sind Signale bei 41 Hz Musik, während der mehr an Sprache interessierte Tontechniker einer Rundfunkanstalt das als Störsignal bezeichnet. Daher besitzen Mikrofone zur Aufnahme klassischer Musik bis zu sehr tiefen Frequenzen einen flachen Amplitudengang und spezielle Sprachmikrofone eine definierte und deutlich höher liegende untere Grenzfrequenz.

Ganz entsprechend wünschen sich Bühnensprecher ein Mikrofon, dessen Baßbetonung

electro-acoustic

mit sinkendem Sprechabstand zunimmt, um Wärme und Kraft in die Stimme zu legen. Das gleiche Mikrofon würde ohne nachträgliche Entzerrung im Studio bei Musikinstrumenten einen 'schmutzigen', dumpfen und tonalen Klang geben.

Daneben stehen Mikrofone mit unterschiedlichen Richtcharakteristika zur Verfügung. Das Mikrofon mit Kugelcharakteristik nimmt Schall aus allen Raumrichtungen gleich empfindlich auf und eignet sich z.B. zur Erfassung des Nachhalls in Konzerträumen. Ein nur in eine Richtung empfindliches Mikrofon reagiert nur in geringem Maße auf rückwärtigen Schalleinfall und wird häufig dann eingesetzt, wenn störende Umgebungsgereusche verringert werden sollen. Alle diese Möglichkeiten machen Mikrofone zu faszinierenden akustischen Elementen.

Wir haben festgestellt, daß es Bedarf an Mikrofonen mit unterschiedlichen Frequenzgängen

Der Autor



Autor Bruce Bartlett, hauptamtlich bei der Mikrofon-Firma Crown als Projektingenieur und Leiter der Dokumentation angestellt, hat schon einige hundert Artikel veröffentlicht, einschließlich der (zumindest in den USA) recht populären Serie 'Recording Techniques'. Außerdem ist er Mitglied der Audio Engineering Society (vier 'papers'), sowie Inhaber von mehreren Patenten aus dem Mikrophonbereich.

electro-acoustic

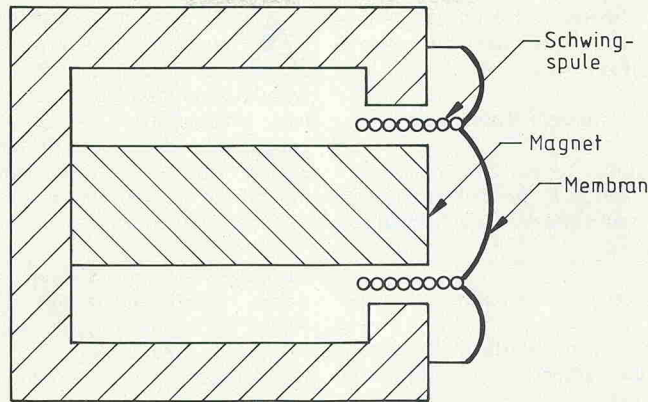


Bild 1. Das dynamische Mikrofon: Die Schwingenspule ist an der Membran befestigt und bewegt sich im Magnetfeld.

und Richtdiagrammen gibt. Daneben muß jedes Mikrofon grundsätzlich folgende Anforderungen erfüllen:

- geringes Eigenrauschen
- hohe Aussteuerbarkeit (Fähigkeit, hohe Schalldruckpegel ohne Verzerrungen aufzunehmen)
- geringe Empfindlichkeit gegen Brummen und HF-Einstreuungen
- geringe Empfindlichkeit gegen mechanische Erschütterungen (Halte- und Bewegungsgeräusche)
- geringe Empfindlichkeit gegen Wind und 'Pop' (knallartige Schallereignisse)
- geringe richtungsabhängige Klangverfärbungen (gleicher Frequenzgang auch außerhalb der Hauptempfindlichkeitsachse)
- hohe Empfindlichkeit (zur Überdeckung des Eigenrauschens in 'schlechten' Mischpulten).

Alle diese Eigenschaften sind für sauberen Klang notwendig: kein Rauschen, keine Verzerrungen, keine richtungsabhängigen Klangverfärbungen. Andere wünschenswerte Eigenschaften sind:

- kleine Abmessungen (manchmal)
- hohe Richtungsempfindlichkeit (manchmal)

- Robustheit
- geringe Kosten.

Leider kann kein Mikrofon alle diese Eigenschaften in sich vereinen, weil sie einander widersprechen: Wird beispielsweise das Schutzgitter eines Mikrofons extra groß dimensioniert, um die beim nahen Besprechen durch Knallaute auftretenden Verzerrungen zu vermeiden, dann kann das Mikrofon für bestimmte Anwendungen zu groß sein. Die Erhöhung der Übersteuerungsfestigkeit durch Hinzufügen eines internen Ausgleichskanals senkt das Signal-Rauschverhältnis.

Im allgemeinen müssen bei jeder Entwurfsentscheidung Kompromisse eingegangen werden, denn Vorteile im einen Bereich verursachen Nachteile im anderen.

In diesem Beitrag werden einige dieser Kompromisse diskutiert, so daß Mikrofonanwender besser verstehen können, welche Charakteristika in einer gegebenen akustischen Situation am bedeutsamsten sind. In Kenntnis dieser Entwurfskompromisse können dann Mikrofone sachgerechter ausgewählt werden.

Beginnen wir mit der Betrachtung verschiedener Methoden zur Umsetzung akustischer Größen in elektrische Signale.

Mikrofone für professionelle Anwendungen können abhängig von ihrem Funktionsprinzip in zwei Gruppen, dynamische und Kondensator-Mikrofone unterteilt werden. Im dynamischen Mikrofon bewegt sich eine Leitschleife im statischen Magnetfeld und 'schneidet' so

zusagen die Feldlinien, um Elektrizität zu erzeugen. Dynamische Systeme gibt es in zwei Ausführungen, dem Mikrofon mit bewegter Spule und dem Bändchenmikrofon.

Das Mikrofon mit bewegter Spule (im allgemeinen 'dynamisches Mikrofon' genannt) wird in Bild 1 dargestellt. Eine Spule ist mit der Membran fest verbunden und wird in einem Magnetfeld geführt. Wenn Schallwellen die Membran in Bewegung versetzen, bewegt sich auch die Spule im magnetischen Feld, so daß darin ein elektrisches Signal induziert wird, das der anregenden Schallwelle ähnlich ist.

In einem Bändchenmikrofon (Bild 2) wird eine dünne Metallfolie oder ein Metallband in einem Magnetfeld gehalten. Schallwellen versetzen das Bändchen im magnetischen Feld in Bewegung und erzeugen so ein elektrisches Signal.

In einem Kondensatormikrofon (Bild 3) wird eine leitende Membran in geringem Abstand parallel zu einer metallischen, ebenfalls flächigen Gegenelektrode angeordnet und aufgeladen, so daß ein Plattenkondensator entsteht. Einfallende Schallwellen verändern den Abstand zwischen Membran und Gegenelektrode und damit auch die Kapazität des Kondensators. So entsteht ein elektrisches Signal, das der Schallwelle weitgehend proportional ist.

Membran und Gegenelektrode können entweder mit einer externen Polarisierungsspannung geladen werden oder sind bei Verwendung von Elektretmaterialien in der Membran oder auf der Gegenelektrode permanent polarisiert.

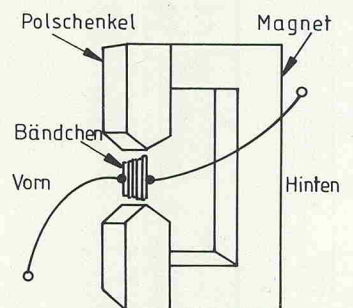


Bild 2. Das Bändchen beim 'Bändchen-Mikrofon' ist gleichzeitig Membran und Leiter.

Die unterschiedlichen physikalischen Konstruktionsprinzipien dieser drei Mikrofontypen bedingen unterschiedliche elektronische Eigenschaften.

Ein Kondensatormikrofon sollte gewählt werden, wenn folgende Anforderungen zu erfüllen sind:

- ausgezeichnetes Impulsverhalten (z.B. wichtig für die unverfälschte Aufnahme von Schlagzeug, Becken, akustischen Instrumenten und großen Ensembles)

- hohe obere Eckfrequenz (zur Aufnahme von Instrumenten mit sehr hochfrequenten Signalanteilen)

- hohe Empfindlichkeit (für Mikrofonaufnahmen leiser Schallquellen aus größerer Entfernung)

- geradliniger, gleichmäßiger Frequenzgang (für die meisten Studioanwendungen zur Wiedergabe natürlicher Klangfarben)

- kleine Abmessungen (für Ansteckmikrofone).

Wählen Sie Mikrofone mit bewegter Spule, wenn folgende Anforderungen zu erfüllen sind:

- langsamere Impulsantwort (zur Dämpfung extremer Musikdetails, z.B. bei sehr naher Beschallung mit Holzblas- oder Blechinstrumenten)

- niedrigere Kosten (im allgemeinen) als Kondensatormikrofone

- besondere Robustheit

- hohe akustische Ansteuerbarkeit (z.B. für elektrische Gitarrenverstärker oder Schlagzeug)

- geringes Eigenrauschen

- Unempfindlichkeit gegen hohe Temperaturen und Feuchtigkeit

- höhere Zuverlässigkeit (weil keine Speisung benötigt wird).

Wählen Sie ein Bändchenmikrofon, wenn folgende Anforderung zu erfüllen ist:

- warmer, sanfter Klang (z.B., um die Härte des Klanges von Blechinstrumenten bei naher Beschallung zu mindern).

Beachten Sie, daß diese Charakteristika nur als Trends zu verstehen sind. Es gibt beispielsweise Mikrofone mit bewegter Spule, die einen gleichmäßigen Frequenzgang oder hohe Empfindlichkeit besitzen, und man kann auch Kondensatormikrofone mit hoher Übersteuerungssicherheit in robuster Ausführung finden.

Im folgenden werden einige wichtige Mikrofonparameter der unterschiedlichen Wandler-typen miteinander verglichen.

Aufgrund seiner geringeren Membranmasse und höherer Dämpfung reagiert ein Kondensatormikrofon schneller als ein dynamisches auf plötzliche Änderungen des Schalldrucks (Transiente). Mit einem guten Kondensatormikrofon können Sie jedes feine Anschlagen eines Beckens oder das Anzupfen jeder einzelnen Gitarrensaite korrekt erfassen. Die hohe Klangqualität macht das Kondensatormikrofon ganz besonders zur Erfassung von Becken, Snare Drums, akustischer Instrumente und Vokalaufnahmen geeignet.

Das dynamische Mikrofon mit bewegter Spule hat im allgemeinen eine langsamere Impulsantwort als das Kondensatormikrofon. Daher wird es häufig zur Dämpfung feiner akustischer Details eingesetzt, die von Kondensatormikrofonen unvermindert erfaßt werden.

Aufgrund der einfachen Wandlerkonstruktion besitzt das Kondensatormikrofon im allgemeinen einen ebenmäßigen Frequenzgang. Auch die — im Prinzip ebenso einfachen — Bändchenmikrofone werden wegen ihres flachen Frequenzganges gelobt.

Im Gegensatz dazu haben dynamische Mikrofone mit bewegter Spule einen ungleichmäßigeren Frequenzgang als Kondensator- und Bändchenmikrofone; aber auch sie sind — bei entsprechenden Preisen — in exzellenter Qualität erhältlich. Der Wandler mit bewegter Spule besitzt eine Schwingspule, die zu Störungen der kolbenartigen Membranbewegung und Eigenschwingungen führen kann; beim Lautsprecher sind diese Störungen unter dem Namen Partialschwingungen bekannt. Das verursacht Spitzen und Einbrüche im Frequenzgang. Außerdem erfolgt durch die Schwingspule eine Unterteilung der Membran in zwei akustische Bereiche, die mit der Luftsäule im Magnetspalt in Resonanz geraten können und dann Anomalien im Frequenzgang verursachen. Die Membranen von Kondensator- und Bändchenmikrofonen können zwar auch Eigenbewegungen ausführen, diese sind aber im allgemeinen nicht so stark ausgeprägt.

Aufgrund seiner geringeren Membranmasse kann das Kondensatormikrofon hohe Frequenzen besser erfassen als Bändchenmikrofone und solche mit bewegter Spule. Obwohl die Masse des Bändchens ebenfalls sehr gering ist, werden hohe Frequenzen aufgrund akustischer Phaseninterferenzen zwischen Vorder- und Rückseite des Bändchens abgeschwächt. Anschaulich betrachtet können die bei hohen Frequenzen (kurzen Wellenlängen) von Vorder- und Rückseite des Bändchens erzeugten Signale entgegengesetzte Polarität besitzen und sich daher akustisch auslöschen. Dieses Problem tritt bei Kondensatormikrofonen und solchen mit bewegter Spule nicht auf: Hohe Frequenzen auf der Membranrückseite werden entweder durch das Mikrofongehäuse (bei Kugelcharakteristik) oder durch akustische, phasendrehende Netzwerke (bei rich-

tungsempfindlichen Mikrofonen) stark abgeschwächt.

Das Übertragungsverhalten von Mikrofonen mit bewegter Spule kann im hochfrequenten Bereich mit Hilfe eines vor der Membran angeordneten Helmholtz-Resonators verbessert werden. Der Helmholtz-Resonator besteht aus einem kleinen Luftvolumen mit einer oder auch mehreren Eintrittsöffnungen. Diese System gerät bei hohen Frequenzen in Resonanz und gleicht die bei diesen Frequenzen abfallende Empfindlichkeit von Wandlern mit bewegter Spule aus. Beachten Sie, daß hierbei ein Kompromiß eingegangen werden muß: Signalkomponenten mit Frequenzen oberhalb der Resonanz des Helmholtz-Resonators werden stark abgeschwächt und erfahren zusätzliche Phasendrehungen. Der Helmholtz-Resonator wird häufig auch in Kondensatormikrofonen eingesetzt.

Allerdings ist bei diesen die notwendige Anhebung hochfrequenter Signalkomponenten geringer als bei Mikrofonen mit bewegter Spule.

Die verschiedenen Frequenzgänge auf den nachfolgenden Seiten zeigen, aus welchen Komponenten sich die Kurven der verschiedenen Mikrofone zusammensetzen.

Im allgemeinen ist das Kondensatormikrofon am empfindlichsten, gefolgt vom dynamischen und dann dem Bändchen-Mikrofon. Im folgenden sind die typischen Leerlauf-Empfindlichkeiten der drei Mikrofontypen angegeben:

Kondensator : -65 dBV für einen Schalldruckpegel (SPL) von 74 dB (5,6 mV/Pa)

Bewegte Spule: -75 dBV (1,8 mV/Pa)

Bändchen : -80 dBV (1 mV/Pa)

Das Kondensatormikrofon ist aufgrund seines effektiven Aufbaus empfindlicher als das mit bewegter Spule. Außerdem muß das Kondensatormikrofon mit einem Vorverstärker betrieben werden, der bei Bedarf eine zusätzliche Spannungsverstärkung gestattet.

Die Ausgangsspannung eines Kondensatormikrofons kann nach (2) folgendermaßen berechnet werden:

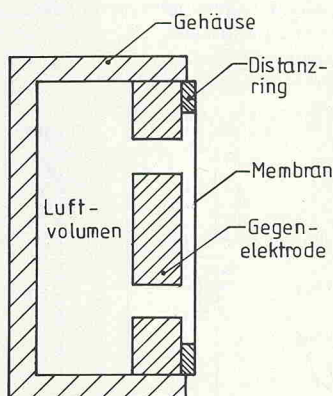


Bild 3. Das Kondensator-Mikro: Zwischen Membran und Gegenelektrode liegt eine Polarisationsspannung.

$$\Delta V = \Delta C \left(-\frac{V}{C} \right)$$

darin ist

V = Spannung über den Kondensatorplatten

ΔV = Spannungs-Änderung oder Ausgangssignal

C = Kapazität zwischen Membran und Stator in Farad

ΔC = Kapazitäts-Änderung zwischen Membran und Stator, hervorgerufen durch die Bewegung der Membran

Je höher die Polarisationsspannung V , um so höher ist die Empfindlichkeit. Eine zu hohe Spannung führt aufgrund elektrostatischer Kräfte dazu, daß sich die Membran an die Gegenelektrode anlegt und dann keine schallfeldproportionalen Bewegungen mehr ausführen kann.

Je größer die Kapazitätsänderung ist, desto größer ist auch die Spannungsänderung (und damit das Ausgangssignal). Die Kapazitätsänderung wird größer, wenn die Membranfläche zunimmt oder der Abstand zwischen Membran und Gegenelektrode abnimmt. Leider verursacht eine zu große Membran aufgrund von Beugungserscheinungen Klangverfärbungen bei seitlichem Schalleinfall. Ein sehr kleiner Abstand zwischen Membran und Gegenelektrode ist fertigungstechnisch nur mit großem Aufwand zu realisieren. Besonderes Augenmerk muß dann darauf gelegt werden, daß kleine Staubpartikel zwischen Membran und Gegenelektrode geraten. Die Hersteller müssen einen Kompromiß zwischen Mikrofonempfindlichkeit und Produktionsaufwand finden.

Das Mikrofon mit bewegter Spule erfordert andere Entwurfskompromisse, um zu entsprechenden Empfindlichkeiten zu gelangen. Nach (3) wird die Ausgangsspannung eines dynamischen Mikrofons folgendermaßen berechnet:

$$e = B \cdot l \cdot v$$

Darin ist
 e = Ausgangsspannung (EMK)
 electro-acoustic

B = magnetische Induktion in Tesla

l = Leiterlänge in Metern

v = Membrangeschwindigkeit in m/s

Je größer die magnetische Induktion und die Windungszahl der bewegten Spule, umso größer ist die Ausgangsspannung. Auf der anderen Seite kann ein zu starker Magnet Probleme mit dem akustischen Frequenzgang bereiten und das Mikrofon groß und schwer machen. Zu viele Windungen auf der Induktionsspule erhöhen die Masse des bewegten Systems und verschlechtern damit das Übertragungsverhalten bei hohen Frequenzen. Wird der Luftspalt des Magneten sehr klein ausgeführt, um die Induktion zu erhöhen, dann ist die Fertigung des Mikrofons aufwendig, weil sehr darauf geachtet werden muß, daß die Schwingspule die Magnetpole nicht berührt. Neue magnetische Materialien, wie beispielsweise Samariumkobalt, können auch bei kleinen Abmessungen hohe Feldstärken erzeugen.

Das Bändchenmikrofon ist unempfindlicher als das dynamische Mikrofon, weil das Bändchen nur einen einzigen kurzen Leiter mit niedriger Impedanz darstellt, der im Magnetfeld bewegt wird. Daher muß ein großer Magnet und ein Aufwärtstransformator verwendet werden, um das Ausgangssignal zu vergrößern. Hinzu kommt, daß das Bändchenmikrofon auf Druckdifferenzen reagiert (Druckgradientenmikrofon), weil die einfallende Schallwelle beide Seiten des Bändchens erreichen kann. Das Druckdifferenzsignal des Achtercharakteristik aufweisenden Bändchenmikrofons ist stets kleiner als das Ausgangssignal des druckempfindlichen und daher Kugelcharakteristik besitzenden, normalen dynamischen Mikros.

Ein Kondensatormikrofon kann sehr viel kleiner aufgebaut werden als ein dynamisches. Letztere müssen sowohl einen Magneten als auch eine Schwingspule mit nicht zu vernachlässigenden Abmessungen besitzen, damit sie genügend große Ausgangssignale erzeugen können. Dagegen ist eine Kondensator-Mi-

krofonkapsel in der Lage, das gleiche Ausgangssignal schon mit dem Volumen(!) eines Fünf-Pfennig-Stückes zu erzeugen.

Ein gut gebautes dynamisches Mikrofon kann sehr hohen Schalldruck ohne nennenswerte Verzerrungen in elektrische Ausgangssignale umsetzen. Selbst extrem hohe Schalldruckpegel bewegen die Membran nur leicht. Dagegen kann die stets notwendige Elektronik eines Kondensatormikrofons recht leicht schon vom Kapselsignal her übersteuert werden. Ein Abschwächer zwischen Kapsel und Elektronik verringert zwar die Gefahr von Übersteuerungen (die obere Aussteuerungsgrenze wird zu höheren Schalldruckpegeln verschoben), verschlechtert aber auch das Signal-Rauschverhältnis. Wird die Mikrofonelektronik auf maximale Aussteuerbarkeit entworfen, dann geht das in der Regel auf Kosten der Stromaufnahme und des Rauschverhaltens. Der Hersteller muß einen Kompromiß zwischen diesen Faktoren finden, um für eine gewünschte Anwendung ein zufriedenstellendes Mikrofon realisieren zu können.

Dynamische Mikrofone besitzen im Vergleich zu Kondensatormikrofonen ein sehr geringes Eigenrauschen, weil sie keine aktiven elektronischen Bauelemente besitzen, die zusätzliches Rauschen erzeugen könnten. Die Leerlauf-Rauschspannung eines dynamischen Mikrofons kann folgendermaßen (4) berechnet werden:

$$E = \sqrt{4 \cdot k \cdot R \cdot T \cdot \Delta F}$$

darin ist

E = Rauschspannung in Volt

k = Boltzmannsche Konstante
 $(1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$

R = äquivalenter Rauschwiderstand des Mikrofons in Ohm

T = Temperatur in Kelvin

ΔF = Bandbreite in Hertz

Je größer die an den Mikrofonanschlüssen auftretende Ausgangsimpedanz (frequenzabhängiger Widerstand) ist, um so stärker ist auch das Eigenrauschen. Bei einer Temperatur von 300 K erzeugt ein Mikrofon mit 150 Ohm Ausgangsimpedanz eine Rauschspannung von $2,23 \cdot 10^{-7} \text{ V}$ oder -133 dBV. Das Eigenrauschen kann folgendermaßen als äquivalenter Schalldruckpegel beschrieben werden:

$$\text{Eigenrauschpegel} = V_n \cdot S + 74 \text{ dB in dB}_{\text{SPL}}$$

Darin ist

V_n = Rauschspannungspegel in dBV

S = Mikrofonempfindlichkeit in dBV/ μbar

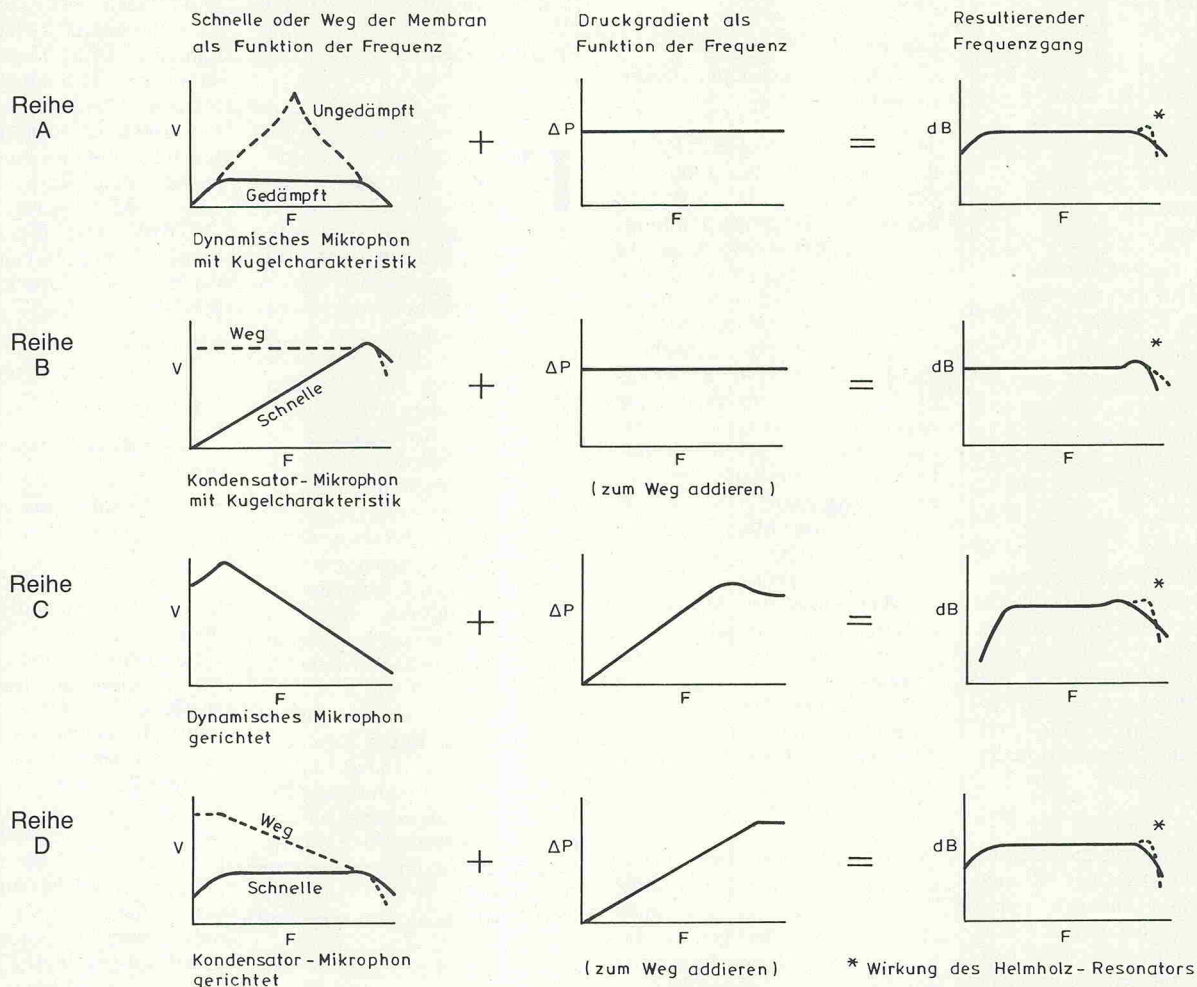
(1 Pascal = $10 \mu\text{bar}$)

Beträgt die Empfindlichkeit des oben bezeichneten Mikrofons -75 dBV/ μbar , dann weist es ein Eigenrauschen von 16 dB $_{\text{SPL}}$ auf. Dieser Wert ergibt sich bei linearer Messung. Häufiger wird jedoch das A-bewertete Eigenrauschen angegeben. Die Messung erfolgt dann unter Verwendung eines Bandpaßfilters mit einem Frequenzgang, der dem subjektiven menschlichen Hörempfinden nahekommt (abnehmende Empfindlichkeit für Frequenzen unter 1 kHz). Daher kommt das A-bewertete Eigenrauschen dem subjektiven Empfinden und damit praktischen Gegebenheiten näher, als das physikalisch korrekt erfaßte, unbewertete Eigenrauschen.

Vom Eigenrauschen her liegen dynamische Mikrofone eindeutig vorn.

Das Eigenrauschen eines extrem guten Kondensatormikrofons beträgt A-bewertet 14 dB (14 dBA). Kondensatormikrofone mit einem Eigenrauschen unter 20 dBA werden als exzellent angesehen und solche mit Werten unter 30 dBA als gut.

Ein Kondensatormikrofon benötigt eine Stromversorgung, z.B. in Form einer Batterie oder einer externen Phantomspeisung. Die Simplex-Phantomspeisung erfolgt mit Spannungen zwischen 12



Die linke Spalte des Diagramms stellt die Kurven für die Membranschnelligkeit (durchgezogene Linien) und den Membranhub (gestrichelte Linien) von vier Wandlertypen dar.

Die mittlere Spalte zeigt den Druckgradienten (Differenzschalldruck zwischen Vorder- und Rückseite der Membran) als Funktion der Frequenz. In einem Mikrofon mit Kugelcharakteristik (druckempfindlich) wird die Membranrückseite vom Mikrofongehäuse umschlossen, so daß die Druckdifferenz frequenzunabhängig konstant ist. In einem Mikrofon mit besonderer Empfindlichkeit in eine oder zwei Richtungen (empfindlich auf den Druckgradienten) wird die Membranrückseite ebenfalls den einfallenden Schallwellen ausgesetzt. Aufgrund des größeren Laufweges kommen sie dort etwas später als auf der Membranvorderseite an. Daher entsteht die Druckdifferenz im wesentlichen aufgrund des Phasengradienten der

fortschreitenden Schallwelle und wächst bei fester Mikrofongeometrie frequenzproportional an.

Die rechte Seite des Diagramms zeigt für Systeme mit bewegter Spule die Summe aus Schnelle- und Druckgradientenfrequenzgang bzw. für Kondensatormikrofone die Summe aus Weg- und Druckgradientenfrequenzgang. Das sind die resultierenden Amplitudenfrequenzgänge der vier Mikrofontypen.

Die Reihe A zeigt die frequenzabhängige Membranschnelle eines dynamischen Mikrofons mit Kugelcharakteristik. Die mitten im Übertragungsbereich liegende Resonanz wird resistiv gedämpft, so daß die Membranschnelle weitgehend von der Frequenz unabhängig konstant ist. Die Ausgangsspannung ist der Schnelle proportional. Der Differenzdruck (Druckgradient) zwischen beiden Membranseiten ist ebenfalls frequenzabhängig konstant, weil die Rückseite der Membran akustisch abgekapselt ist. Daher verläuft der

resultierende Frequenzgang im gesamten Audiofrequenzbereich nahezu geradlinig.

Reihe B zeigt die frequenzabhängige Membranschnelle eines druckempfindlichen und daher Kugelcharakteristik aufweisenden Kondensatormikrofons. Es besitzt eine resistiv gedämpfte Resonanz an der oberen Frequenzgrenze des Übertragungsbereiches. Die Membranschnelle wächst mit 6 dB/Oktave an, während die Membranauslenkung frequenzunabhängig konstant ist. Die Ausgangsspannung ist der Auslenkung (Weg) proportional. Aufgrund der Mikrofon-Konstruktion ist auch der Druckgradient konstant, so daß der resultierende Frequenzgang im nahezu gesamten Audiofrequenzbereich frequenzunabhängig ist.

Reihe C zeigt den Schnellefrequenzgang eines besonders in eine Richtung empfindlichen dynamischen Mikrofons mit bewegter Spule. Es weist eine resistiv gedämpfte Resonanz bei tiefen Frequenzen

auf, so daß die Schnelle im größten Teil des Übertragungsbereiches mit 6 dB/Oktave abfällt. Die Ausgangsspannung ist schnelleproportional. Dagegen nimmt der Druckgradient bis zu mittleren Frequenzen um 6 dB/Oktave zu, so daß der resultierende Frequenzgang ebenfalls im nahezu gesamten Audiofrequenzbereich flach verläuft.

Reihe D zeigt die frequenzabhängige Membranschnelle eines richtungsempfindlichen Kondensatormikrofons. Es besitzt bei mittleren Frequenzen eine resistiv gedämpfte Resonanz, so daß der Schnellefrequenzgang nahezu frequenzunabhängig konstant ist und der Wegfrequenzgang im größten Teil des Übertragungsbereiches mit 6 dB/Oktave abfällt. Die Ausgangsspannung ist dem Weg proportional. Da der Druckgradient jedoch mit 6 dB/Oktave zunimmt, ist der resultierende Frequenzgang nahezu flach.

und 48 V, die über zwei gleiche Widerstände auf die Anschlüsse zwei und drei des Mikrofonsteckers geführt werden. In Phantomschaltung erfolgt die Speisung des Mikrofons über die beiden Signaladern. Viele Mischpulte stellen an ihrem Mikrofonanschlußbuchsen Versorgungsspannungen zur Phantomspeisung bereit, so daß mit dem Einstecken des Mikrofonsteckers die Speisung sichergestellt ist.

Im Gegensatz dazu benötigt das dynamische Mikrofon keine Stromversorgung und bietet daher eine größere Betriebssicherheit.

Ein gut durchdachtes dynamisches Mikrofon ist sehr robust und kann auch beträchtlicher physikalischer Gewalt widerstehen. Das gleiche gilt auch für einige moderne Kondensatormikrofone, obwohl deren Elektronik etwas bruchempfindlicher ist. Im Gegensatz dazu sind 'Bändchen'-Membranen sehr empfindlich, und können bereits durch starken Wind oder un-

sachgemäße Behandlung deformiert werden.

Hohe Temperaturen und Feuchtigkeit vermindern das Isolierverhalten in Kondensatormikrofonen und verschlechtern die Eigenschaften der darin verwendeten Elektretmaterialien, während dynamische Systeme auf derartige äußere Einwirkungen kaum reagieren. Bei hoher Luftfeuchtigkeit kann sich der schmale Spalt zwischen Membran und Gegenelektrode eines Kondensatormikrofons mit Wasserdampf füllen und die Polarisationsspannung momentan kurzschließen. Diese Ausfälle treten bei dynamischen Systemen auch in hoher Luftfeuchtigkeit wegen des größeren Abstandes zwischen Spule und Magnetpolen erheblich seltener auf.

Mikrofone mit unterschiedlichen Richtempfindlichkeiten weisen anwendungsspezifische Vor- und Nachteile auf. Bevor diese diskutiert werden, sollen die am häufigsten verwendeten Richtdiagramme dargestellt werden.

Ein Mikrofon mit Kugelcharakteristik ist in alle Raumrichtungen gleich empfindlich und reagiert auf den Schalldruck. Kardioidmikrofone besitzen eine Vorzugsempfindlichkeit für Schall, der senkrecht auf die Vorderseite der Membran trifft. Schallwellen, die seitlich oder von hinten eintreffen, werden weitgehend unterdrückt. Ein Mikrofon mit Gradientencharakteristik (Achtercharakteristik) reagiert gleichempfindlich auf Schall, der senkrecht auf die Vorder- oder Rückseite des Mikrofons trifft. Seitlich einfallender Schall wird sehr stark unterdrückt. In Bild 4 sind unterschiedliche Richtdiagramme dargestellt.

Die Kardioidmikrofone können weiter aufgliedert werden in Superkardioid- und Hyperkardioid-Charakteristiken. Ein Mikrofon mit Kardioidcharakteristik ist innerhalb eines großen Winkelbereiches für Schall von vorn empfindlich. Zu den Seiten nimmt die Empfindlichkeit um ca. 6 dB und nach hinten um ca. 15 bis 25 dB ab. Mikrofone mit Superkardioid-Charakteristik sind an den Seiten um 8,7 dB unempfindlicher und besitzen zwei scharfe

Empfindlichkeitseinbrüche bei Winkeln von 125° beiderseits der Hauptempfindlichkeitsachse. Die Hyperkardioid-Charakteristik ist seitlich um 12 dB unempfindlicher als in Haupttrichtung und besitzt beiderseits davon unter Winkeln von 110° Empfindlichkeitseinbrüche.

Da richtungsempfindliche Mikrofone Schall aus bestimmten Raumrichtungen unterdrücken, werden Kardioidmikrofone und solche mit Achtercharakteristik eingesetzt, um unerwünschte Schallanteile wie Raumrückwirkungen (Nachhall), Rückkopplungen oder Störquellen (nicht vom eigenen Instrument stammende Schallanteile) zu unterdrücken. Diese Mikrofone gewährleisten auch eine gute Kanaltrennung bei der Anfertigung von Bandaufnahmen.

Mikrofone mit ganz ausgeprägter Richtcharakteristik (Peilmikrofone) werden durch Anordnung eines geschlitzten Röhrchens (Interferenzrohr) vor der Membran eines Hyperkardioidmikrofons realisiert. Solche Spracherfassung über größere Entfernungen wird z.B. bei der

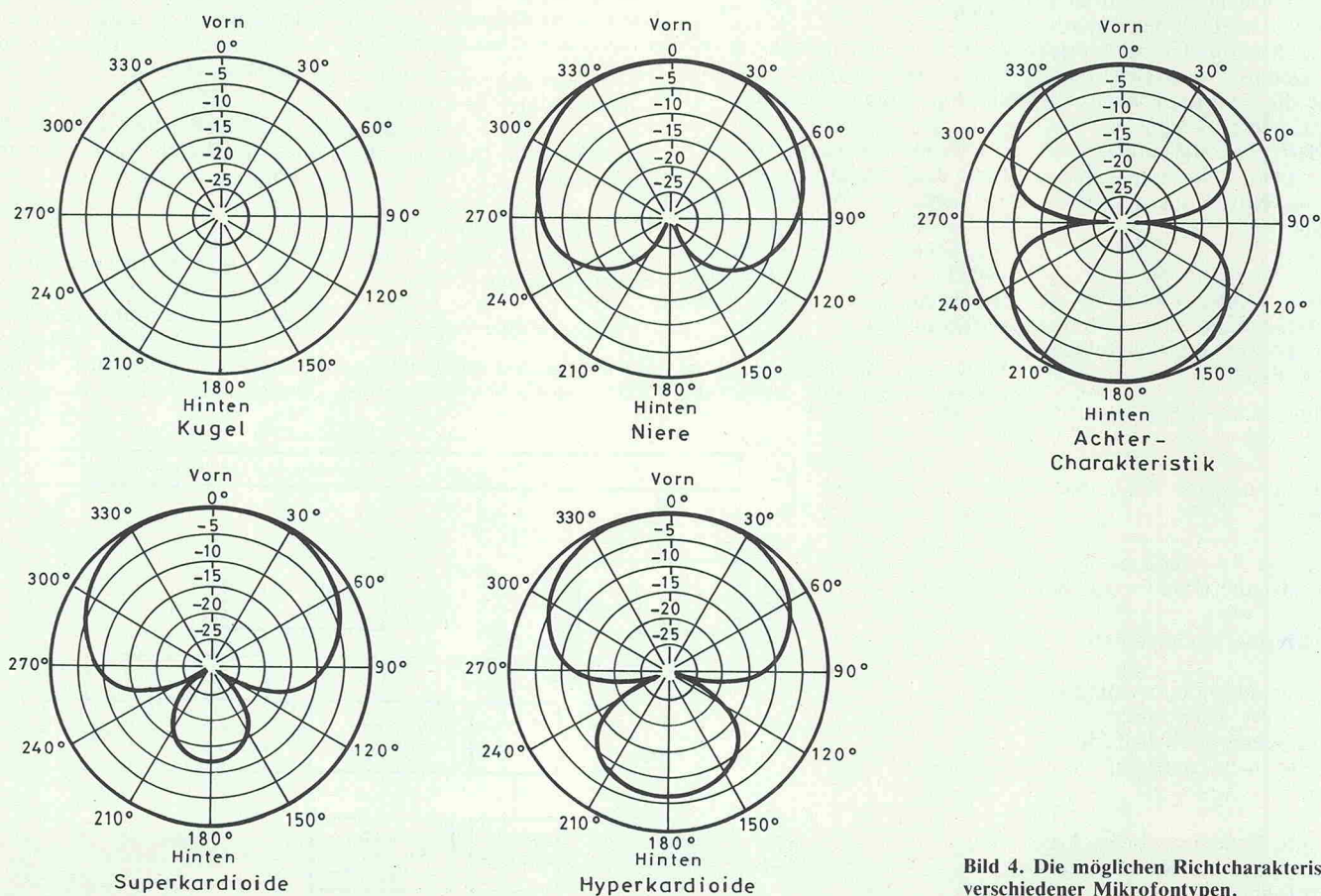


Bild 4. Die möglichen Richtcharakteristika verschiedener Mikrofontypen.

Herstellung von Filmen oder in Fernsehstudios sowie bei der elektronischen Informationsbeschaffung (vornehmer Ausdruck für Geheimdienst!) eingesetzt.

Die meisten in eine — oder zwei Richtungen empfindlichen Mikrofone heben tiefe Frequenzen an, wenn sie aus geringer Entfernung beschallt werden. Bei solchen Mikrofonen tritt dieser Effekt auf, wenn zwischen den Schalleintrittsöffnungen für Vorder- und Rückseite der Membran nur ein einziger, definierter Umweg existiert.

Dieser Nahbeschallungseffekt führt beispielsweise zu einem angenehmen warmen Klang von Trommeln. Werden mit solchen Mikrofonen jedoch Studioaufnahmen angefertigt, dann entsteht ein unangenehm dröhnender Sound sowohl bei Gesang als auch bei der Aufnahme von Instrumenten. Zur Minimierung des Nachbesprechungseffektes wurden spezielle Mikrofone entwickelt; andere besitzen eine umschaltbare untere Grenzfrequenz zur Abschwächung der Bässe. Alternativ läßt sich die Baßbetonung natürlich auch mit dem Equalizer des Mischpultes neutralisieren. Dadurch wird gleichzeitig auch die Empfindlichkeit für tieffrequente Störquellen vermindert, die aufgrund der verbleibenden Seitenempfindlichkeit des Mikrofons mit erfaßt werden.

In folgenden Fällen ist die Anwendung eines Mikrofons mit Kugelcharakteristik sinnvoll:

- ungerichtete Schallaufnahme
- Erfassung des Raumnachhalls
- geringe Empfindlichkeit auf Explosivlaute (Pop-Geräusche)
- geringes Handgeräusch
- kein Nachbesprechungseffekt; sonst Verwendung eines richtungsempfindlichen Mikrofons mit mehreren Laufzeitkanälen
- gute Erfassung tiefer Frequenzen (gilt für Kondensatormikrofone)

○ geringe Kosten (im allgemeinen).

Verwenden Sie richtungsempfindliche Mikrofone, wenn folgende Anforderungen erfüllt werden müssen:

- richtungsselektive Aufnahme
- Unterdrückung der Raumakustik, von Hintergrundgeräusch und Störquellen
- Baßanhebung bei Nahbeschallung
- Wiedergabe des aufgenommenen Signals über Lautsprecher im gleichen Raum — akustische Rückkopplung

○ Intensitäts-Stereoaufnahmen.

Verwenden Sie Kardioidmikrofone, wenn folgende Anforderungen erfüllt werden müssen:

- Großer Aufnahmewinkel vor dem Mikrofon
- Maximale Unterdrückung von Schallanteilen, die von hinten auf das Mikrofon treffen.

Verwenden Sie Mikrofone mit Superkardioiden, wenn folgende Anforderungen erfüllt werden sollen:

- Große Schalldruck-Unterschiede von Instrumenten vor und hinter dem Mikrofon
- Als guter Kompromiß zwischen der Unterdrückung rückwärtigen Schalls (z.B. von Monitor-Lautsprechern) und des Schalleinfalls aus unterschiedlichen Richtungen (Hauptlautsprecher oder Verstärkeranlage).

Verwenden Sie ein Mikrofon mit Hyperkardioiden, wenn fol-

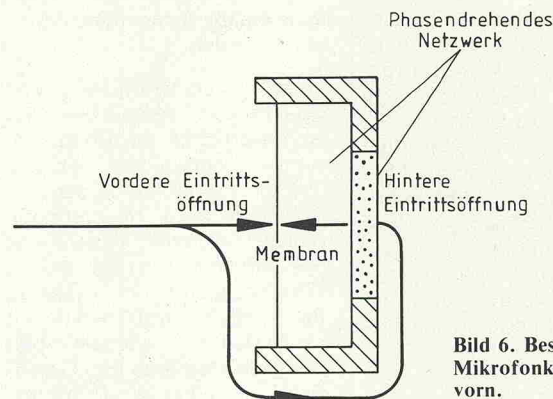


Bild 6. Beschallung einer Mikrofonkapsel von vorn.

gende Anforderungen erfüllt werden müssen:

- Maximale Seitenunterdrückung bei gewünschter Weitwinkelsempfindlichkeit vor dem Mikrofon
- Maximale Unterdrückung von Nachhall, Störquellen, Rückkopplungen und Hintergrundgeräusch.

Die Hyperkardioiden weist die größte Unterdrückung von Raumreflexionen auf und besitzt damit die stärkste Richtwirkung.

Verwenden Sie bidirektionale Mikrofone (Achtercharakteristik), wenn folgende Anforderungen erfüllt werden müssen:

- Richtungsempfindlichkeit vor und hinter dem Mikrofon bei starker Seitenunterdrückung (z.B. für Gegenüber-Interviews)

○ Maximale Unterdrückung ungewollter Regionen z.B. in einem Orchester

○ Blumlein-Stereoaufnahmen.

Verwenden Sie ein Peilmikrofon (Rohr/Richtmikrofon),

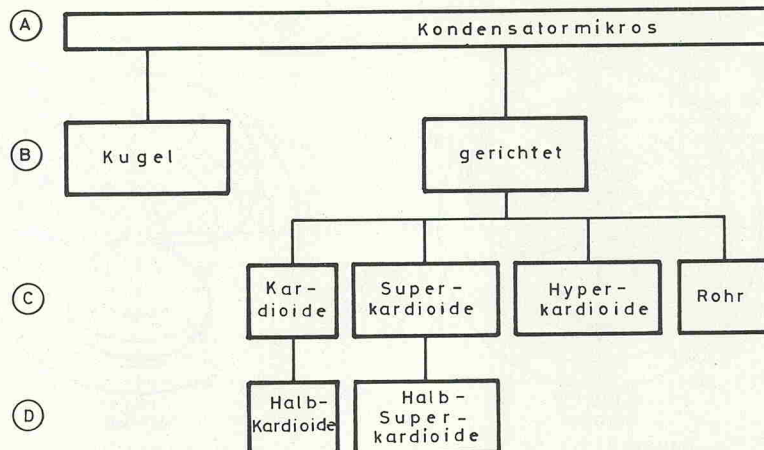
wenn folgende Anforderungen erfüllt werden müssen:

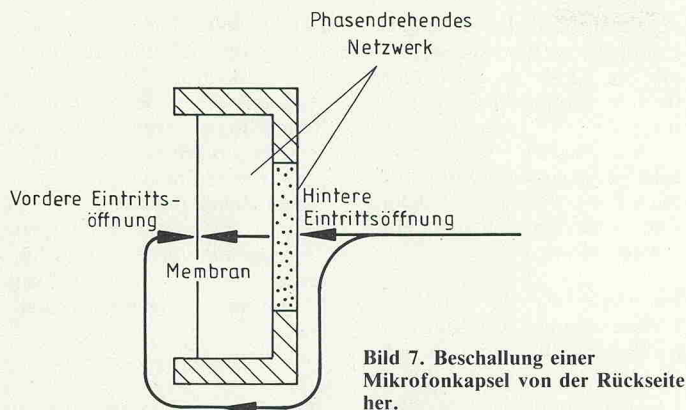
- Isolierte Erfassung entfernter Quellen
- Film- und TV-Aufnahmen sowie Überwachungsaufgaben aus großer Entfernung
- Extreme Unterdrückung von Hintergrundgeräusch und Nachhall.

Beachten Sie, daß Kondensatormikrofone und solche mit bewegter Spule mit jeder Art von Richtdiagramm erhältlich sind (mit Ausnahme der Gradientencharakteristik bei bewegter Spule). Bändchenmikrofone besitzen stets entweder Gradienten- oder Hyperkardioidcharakteristik.

Bild 5 klassifiziert die Mikrofone hinsichtlich Wandlertyp und Polardiagramm.

Mit Hilfe von Bohrungen, Gängen und Dämpfungsmaterialien, die hinter der Mikrofonmembran angeordnet werden, lassen sich Mikrofone mit un-





terschiedlicher Richtungsempfindlichkeit herstellen.

Eine Mikrofonkapsel mit Kugelcharakteristik (egal, ob Kondensatormikrofon oder eines mit bewegter Spule) empfängt Schall nur mit der Membranvorderseite und ist daher auf den Schalldruck am Meßort empfindlich. Schall aus allen Raumrichtungen wird gleichempfindlich registriert. Bei hohen Frequenzen werden auch Druckmikrofone richtungsempfindlich, weil der Mikrofonkörper selbst beginnt, das Schallfeld zu stören.

Im Gegensatz dazu kann die Schallwelle in richtungsempfindlichen Mikrofonkapseln (Kondensator oder bewegte Spule) die Vorder- und Rückseite der Membran erreichen. Die Membran wird durch den Differenzschalldruck zwischen Vorder- und Rückseite bewegt. In der rückwärtigen Eintrittsöffnung befindet sich ein akustisches, phasendrehendes Netzwerk (ein RC- oder RLC-Tiefpaßfilter). Das Filter erzeugt unterhalb der Eckfrequenz eine konstante Laufzeit-

verzögerung. Diese Verzögerung macht das Mikrofon folgendermaßen richtungsempfindlich: Die auf die Membranvorderseite einfallende Schallwelle erreicht verzögert auch die hintere Eintrittsöffnung. Die akustische Laufzeit und das hintere phasenbeeinflussende Netzwerk erzeugen bis zum Eintreffen des Schalls auf der hinteren Membran eine Phasenverschiebung. Die Membran wird also direktem Schall von vorn und dazu phasenverschobenem Schall von hinten ausgesetzt (Bild 6). Nur die durch Phasenverschiebung entstandene Differenz der momentanen Schalldrücke vor beiden Seiten der Membran wirkt auf sie.

Schall, der von hinten auf das Mikrofon trifft, erreicht die Membran über zwei Wege:

- 1) Um die Mikrofonkapsel herum zur vorderen Eintrittsöffnung und
- 2) durch die hintere Öffnung mit ihrem phasenverschiebenden Netzwerk.

Das Signal erfährt einerseits aufgrund der Wellenausbrei-

tung entlang der Kapsel eine externe Verzögerung und andererseits im phasenverschiebenden Netzwerk eine interne (Bild 7).

In einem Mikrofon mit Kardioidcharakteristik wird die interne Laufzeit an die externe angeglichen, so daß Schallwellen Vorder- und Rückseite der Membran gleichzeitig erreichen. Da sie entgegengesetzte Polarität besitzen, löschen sie sich nahezu aus, so daß kein oder nur ein kleines elektrisches Ausgangssignal entsteht. Daher unterdrückt ein Kardioidmikrofon Schallwellen, die von hinten auf das Mikrofon treffen.

Das phasenverschiebende Netzwerk arbeitet nur bis zu mittelhohen Frequenzen. Oberhalb dieser Grenze schirmt der Mikrofonkörper hochfrequente Schallanteile von der Membranrückseite ab.

Durch Veränderung des Verhältnisses von äußerer und innerer Verzögerung können andere Richtdiagramme realisiert werden. Die Beeinflussung der Laufzeiten erfolgt durch geeignete Wahl der Abstände zwischen den Eintrittsöffnungen und akustischen Abgleich.

Jedes Richtdiagramm hat einen bestimmten Schalleinfallswinkel, bei dem die beiden Laufzeiten übereinstimmen und vollständige Auslöschung auftritt. Ein bidirektionaler Wandler löscht Schallsignalanteile am besten seitlich unter 90° und 270° zur Hauptempfindlichkeitsachse aus. Bei Hyperkardioiden beträgt dieser Winkel 110°. Das Polardiagramm

eines Mikrofons ergibt sich nach (5) zu:

$$r = A + B \cos \Phi$$

dabei ist

$$r = \text{Ausgangsamplitude bei Winkel } \Phi, \quad r = 1 \text{ bei } 0^\circ$$

$$A/B = \text{Verhältnis von interner zu externer Verzögerung, wobei } A + B = 1 \text{ ist}$$

$$\Phi = \text{Schalleinfallswinkel, wobei } 0^\circ \text{ genau auf Achse gemessen ist}$$

Die verschiedenen Polardiagramme können nach (6) folgendermaßen mathematisch beschrieben werden:

- Kugelcharakteristik : 1
- Kardioid : $0,5 + 0,5 \cos \Phi$
- Superkardioid : $0,366 + 0,634 \cos \Phi$
- Hyperkardioid : $0,25 + 0,75 \cos \Phi$
- Gradientencharakteristik : $\cos \Phi$

Für Gradientenmikrofone ist $A=0$, weil kein internes phasenverschiebendes Netzwerk vorhanden ist. Für Mikrofone mit Kugelcharakteristik ist $B=0$, da die Membranrückseite dem Schall nicht ausgesetzt wird. Für kardioidische Mikrofone ist der Quotient $A/B=1$.

Mikrofone mit Kugelcharakteristik eignen sich aufgrund einiger wesentlicher Vorteile zunächst für eine Vielzahl verschiedener Aufgaben. Aufgrund ihres einfacheren Aufbaus (keine hin-

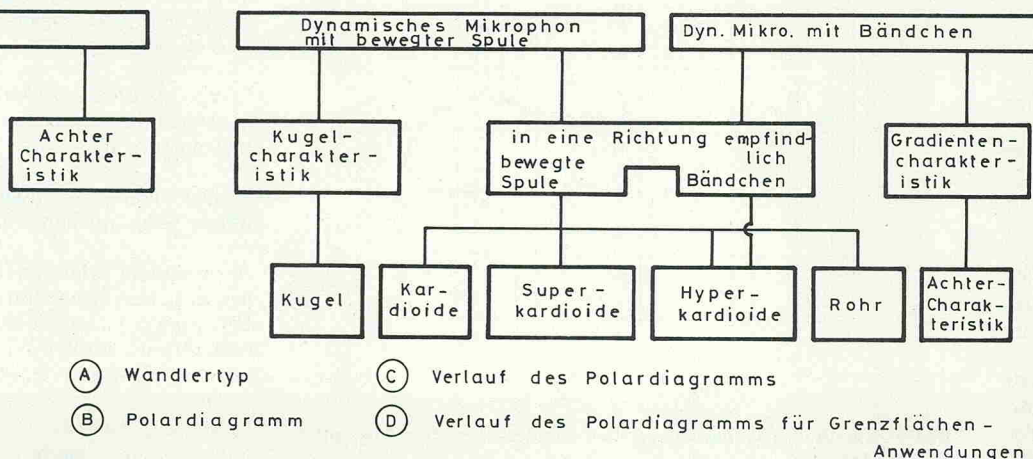


Bild 5. Stammbaum unserer Mikrofontypen. (Quelle: 'Introduction to Professional Recording Techniques').

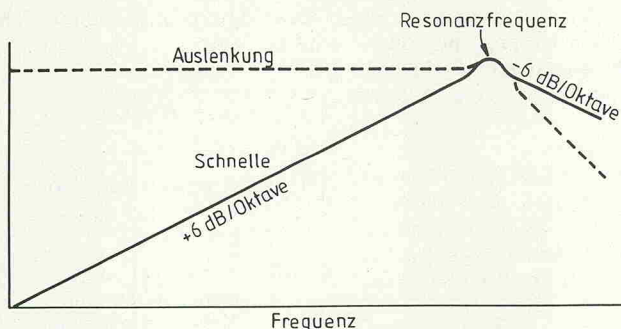


Bild 8. Schnelle und Auslenkung der Membran über der Frequenz bei einem Kondensator-Mikrofon.

tere Schall-Eintrittsöffnung und kein phasenverschiebendes Netzwerk), ist das Mikrofon mit Kugelcharakteristik im allgemeinen preisgünstiger als ein vergleichbares mit Richtungsempfindlichkeit. Außerdem ist es robuster und besitzt einen geraden Frequenzgang. Es ist ca. 15...20 dB unempfindlicher gegen Vibrationen und Stöße als ein richtungsempfindliches Mikrofon. Das hat folgenden Grund:

Die Membran (plus eingeschlossenem Luftvolumen) eines dynamischen Mikrofons mit Kugelcharakteristik besitzt eine Resonanzfrequenz zwischen ca. 500 Hz und 1000 Hz und wird stark bedämpft. Im Gegensatz dazu tritt beim richtungsempfindlichen Mikrofon eine weniger stark gedämpfte Membraneigenfrequenz bei ca. 150 Hz auf. Daher können tiefere Frequenzen Erschütterungen und Stöße die Membran stärker anregen (7).

Das Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik besitzt gegenüber dem richtungsempfindlichen Kondensatormikrofon ein zu tiefen Frequenzen erweitertes Übertragungsverhalten. Die Erklärung dafür ist:

Die Membranbewegung eines Kondensatormikrofons mit Kugelcharakteristik beliebiger Größe wird unterhalb der Resonanzfrequenz (typisch sind das ca. 8 kHz — 10 kHz) durch die Steifigkeit des schwingungsfähigen Systems bestimmt. Die Membranschnelle nimmt unterhalb der Resonanzfrequenz (Bild 8) mit 6 dB/Oktave zu — das heißt, die Empfindlichkeit steigt. Da sich der Membranweg aus dem Integral der Schnelle ergibt, ist die Mem-

branauslenkung unterhalb der Resonanz frequenzunabhängig konstant. Die Ausgangsspannung des Kondensatormikrofons ist der Membranauslenkung proportional und daher ebenfalls frequenzunabhängig (8).

Das Kugelmikrofon fristet — eigentlich völlig unberechtigt — ein Schatten-dasein in der Musiker-Szene.

Mit anderen Worten heißt das: Kondensatormikrofone besitzen unterhalb ihrer Resonanzfrequenz einen bis zu tiefen Frequenzen reichenden flachen Frequenzgang (es sei denn, tiefe Frequenzkomponenten werden absichtlich vermindert). Diese Eigenschaft ist unabhängig von der Mikrofongröße. Im Gegensatz zu Lautsprechern, deren untere Eckfrequenz mit sinkendem Membrandurchmesser ansteigt, können

druckempfindliche Kondensatormikrofone in Miniaturtechnik bis herab zu 20 Hz einen flachen Frequenzgang aufweisen.

Bild 9 zeigt den Amplitudenfrequenzgang eines druckempfindlichen Miniatur-Kondensatormikrofons.

Im Gegensatz dazu fällt der Frequenzgang richtungsempfindlicher Mikrofone zu tiefen Frequenzen deutlich ab; das gilt insbesondere dann, wenn sich die Schallquelle in größerem Abstand zum Mikrofon befindet, weil dann kein Nahbeschallungseffekt zur Baßanhebung auftreten kann. Die abnehmende Empfindlichkeit zu tiefen Frequenzen hängt damit zusammen, daß die Membran lediglich durch die Druckdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite bewegt wird. Da bei tiefen Frequenzen relativ zur Wellenlänge nur sehr kleine Umwege und damit auch kleine Phasenverschiebungen zwischen vorderem und hinterem Schalldruck auftreten, wird deren Differenz sowie die Membranbewegung und das Ausgangssignal gering.

Das Mikrofon mit Kugelcharakteristik weist außerdem auch geringere Klangverfärbungen bei seitlichem Schalleinfall auf. Die Klangverfärbung bei seitlichem Schalleinfall eines druckempfindlichen Mikrofons besteht lediglich in einer Bandbegrenzung zu hohen Frequenzen. Mit steigender Membranfläche sinkt die obere

Eckfrequenz. Die Klangverfärbung eines richtungsempfindlichen Mikrofons besteht einerseits aus einer Begrenzung zu hohen Frequenzen und andererseits aus Maximal- und Minimalwerten im Frequenzgang. Sie entstehen durch konstruktive und destruktive Interferenz der über die vorderen und hinteren Schallöffnungen zur Membran gelangenden Schallwellen.

Membranen mit großem Durchmesser (mehr als 1 cm) besitzen gegenüber solchen mit kleineren Durchmessern in speziellen Anwendungen Vorteile und umgekehrt.

Wählen Sie einen großen Membrandurchmesser, wenn folgende Anforderungen erfüllt werden sollen:

- richtungsempfindliche Mikrofone mit großer Empfindlichkeit bei tiefen Frequenzen (im allgemeinen)

- geringere Empfindlichkeit auf Wind und Pop

- hohe Empfindlichkeit innerhalb des Übertragungsbereiches

- geringes Eigenrauschen

- großes Signal-Rausch-Verhältnis.

Die letzten drei Eigenschaften hängen miteinander zusammen: Je größer die Membran, desto größer ist auch das Ausgangssignal der Kapsel gegenüber dem Rauschen der Mikrofonelektronik.

Wählen Sie ein Mikrofon mit kleinem Membrandurchmesser (Miniaturmikrofon), wenn folgende Anforderungen erfüllt werden müssen:

- ein unauffälliges Mikrofon (Ansteckmikro, Lavalier- oder Instrumentenmikrofon)

- gleichmäßige Erfassung bewegter Schallquellen

- minimale Klangverfärbung bei seitlichem Schalleinfall (zur Erfassung von Schallquellen innerhalb eines großen Winkelbereiches, z.B. großer Ensembles)

- Erweiterung des Übertragungsbereiches zu hohen Fre-

electro-acoustic

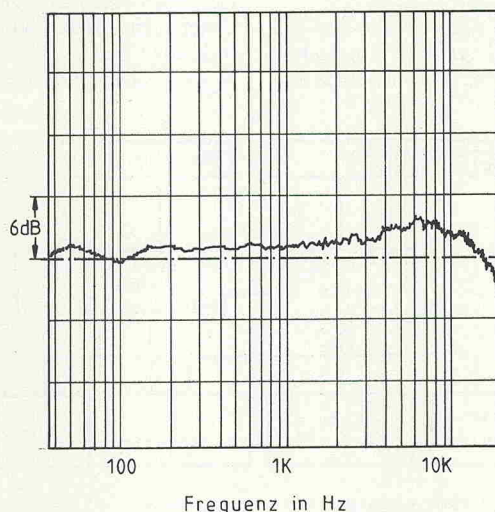


Bild 9. Amplituden-Frequenzgang eines Kondensator-Mikrofons mit kleiner Membran.

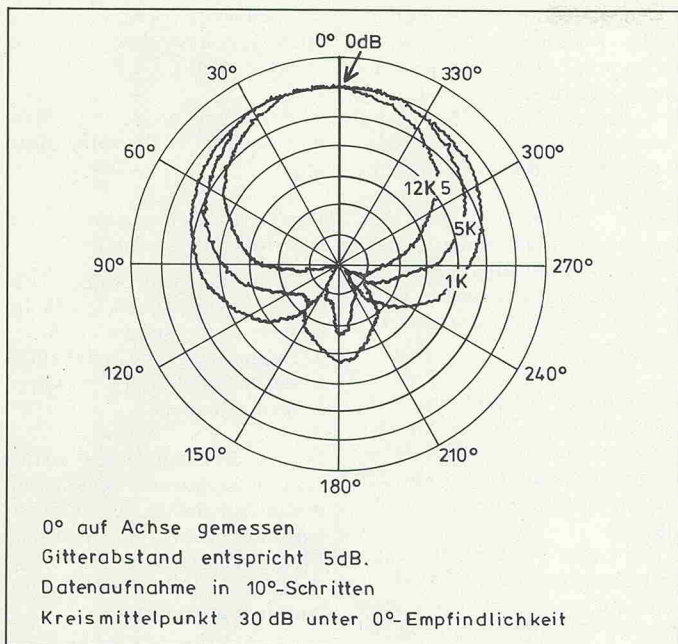


Bild 10. Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms bei einem Nierenmikrofon mit 30 mm Membran \varnothing .

quenzen hin bei Grenzflächenmikros

○ gleichmäßiges Polardiagramm bei Grenzflächenmikros.

Kleine Mikrofone mit Kugelcharakteristik weisen bei seitlichem Schalleinfall eine geringere Klangverfä-

bung auf (weniger starke Begrenzung zu hohen Frequenzen), als entsprechende Kapseln größerer Bauart. Der Grund dafür:

Schallwellen, die senkrecht auf die Membran treffen, werden daran reflektiert und führen zu einem erhöhten Standdruck. Bei seitlichem, d.h. streifendem Schalleinfall tritt dieser Effekt nicht auf (9). Das äußert sich

praktisch in einer etwas tieferfrequent einsetzenden Bandbegrenzung für seitlichen Schalleinfall.

Kleine Kapseln verfärben den Sound bei seitlichem Schalleinfall weniger als große.

Die stärkste Schalldruckerhöhung tritt auf, wenn Membrandurchmesser und akustische Wellenlänge übereinstimmen. Daher erhöht sich vor kleinen Membranen der Schalldruck nennenswert erst oberhalb des Hörfrequenzbereiches, während bei großen Membranen

Klang bei seitlichem Schall weniger. Hier eine Erklärung dafür:

Das Polardiagramm einer großen Kapsel wird bei tiefen und mittleren Frequenzen durch das phasendrehende Netzwerk und bei hohen Frequenzen durch Reflexionen und Beugung erzeugt. Dagegen ist das Richtdiagramm einer kleinen Kapsel bis zu hohen Frequenzen ausschließlich auf Phasendrehungen zurückzuführen.

Es ist schwierig, das durch Phasendrehung verursachte Polardiagramm dem durch Beugung und Reflexion erzeugten anzupassen. Die Folge ist, daß die Polardiagramme großer Mikrofonkapseln frequenzunabhängig sind. Bei kleinen Kapseln ist die Phasendrehung im

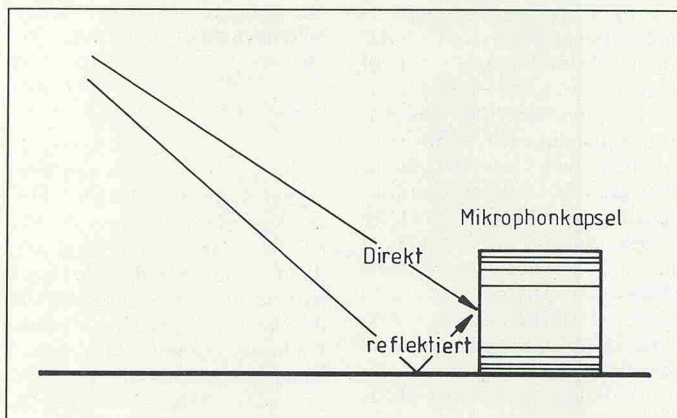


Bild 12. Grenzflächenmikrofon.

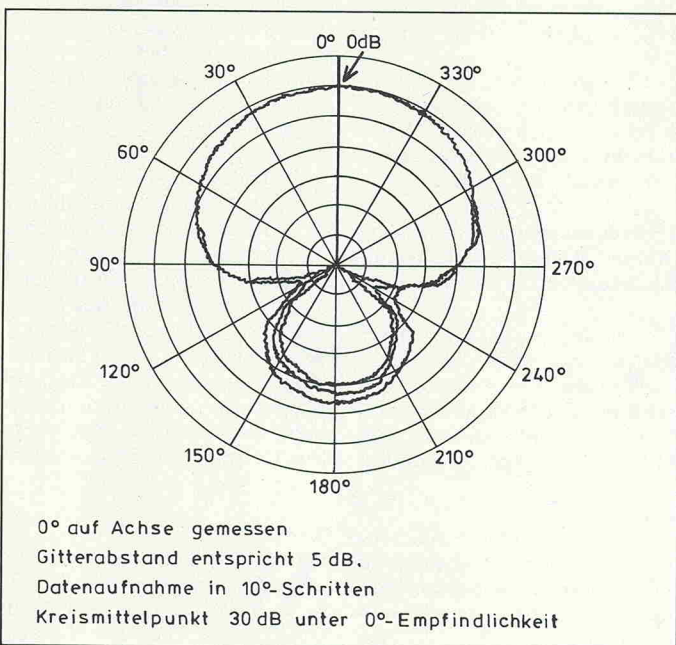


Bild 11. Frequenzabhängigkeit des Polardiagramms bei einem Nierenmikro mit Miniaturkapsel.

electro-acoustic

zwischen 11 kHz und 18 kHz mit diesem Effekt zu rechnen ist. Bei solchen Kapseln sind dann die Unterschiede in den Frequenzgängen für frontalen und seitlichen Schalleinfall deutlich ausgeprägt. Läuft eine Schallwelle von der Seite über die Membranfläche hinweg, dann ist der Phasenunterschied zwischen gegenüberliegenden Randpunkten der Membran bei kleinen Kapseln geringer als bei großen. Daher ist auch die durch Relativbewegungen in der Membran auftretende Abschwächung hoher Frequenzen bei kleinem Mikrofonkapseln weniger deutlich. Kurz gesagt, weisen kleine Mikrofonkapseln eine weniger stark ausgeprägte Bandbegrenzung zu hohen Frequenzen auf als große.

Auch richtungsempfindliche kleine Kapseln verfärben den

nahezu gesamten Hörfrequenzbereich bestimmend, so daß auch deren Polardiagramme nahezu frequenzunabhängig sind. Daraus folgt für kleinere Mikrofonkapseln unmittelbar eine geringere Klangverfärbung bei seitlichem Schalleinfall.

Bild 10 zeigt die Polardiagramme eines Kardioidmikrofons mit 3 cm Membrandurchmesser für verschiedene Frequenzen. In Bild 11 ist entsprechendes für ein Miniaturmikrofon mit Hyperkardioidcharakteristik dargestellt. Beachten Sie, daß die Polardiagramme des kleineren Mikrofons nur in geringem Maße von der Frequenz abhängig sind. Das gilt ganz besonders bei Schalleinfall aus dem vorderen Halbraum.

Kleinere Mikrofonkapseln weisen im Gegensatz zu großen auch bei hohen Frequenzen einen noch flachen Frequenz-

gang auf, wenn sie bei Montage auf schallreflektierenden Oberflächen als Grenzflächenmikrofone eingesetzt werden. Die Erklärung dafür ist:

Grenzflächenmikrofone werden häufig so installiert, daß ihre Längsachse parallel zur Grenzfläche verläuft. Das Membranzentrum befindet sich dann in geringem Abstand über der Grenzfläche. Daher treffen Schallwellen, die an der Grenzfläche reflektiert werden, etwas später als der direkte Schall im Membranzentrum ein (Bild 12).

Bei der Überlagerung der direkt und verzögert in diesem Punkt ankommenden Schallwellen treten im hochfrequenten Bereich auslöschende Interferenzen auf. Je kleiner hier die Membran ist, desto kürzer ist auch die Verzögerungszeit, so daß die erste Auslöschungsfrequenz höher liegt. Beträgt der Membrandurchmesser 1 cm oder weniger, dann liegt die erste Frequenz oberhalb des Audiofrequenzbereiches. So ist es möglich, auch Grenzflächenmikrofone mit flachem Amplitudengang bei hohen Frequenzen zu realisieren (10). Wenn sonst alles gleich bleibt, weisen kleine Mikrofonkapseln, die parallel zur Grenzfläche installiert werden, einen geringeren Abfall des Amplitudenganges zu hohen Frequenzen auf als große Kapseln.

Wird die Kapsel so angeordnet, daß Membran und Grenzfläche sich direkt gegenüber liegen, dann bildet sich dazwischen ein akustisch wirksames Volumen. Es wirkt wie ein RLC-Netzwerk (Tiefpaß), das bei hohen Frequenzen zu einer zusätzlichen Absenkung des Frequenzganges führen kann. Bei kleinen Mikrofonkapseln ist dieses akustische Volumen klein, so daß die Empfindlichkeitsabnahme bei hohen Frequenzen innerhalb des Audiobandes minimal ist.

In Grenzflächen eingesetzte Miniaturkapseln zeigen bei hohen Frequenzen stabilere Polardiagramme als große Mikrofone. Interferenzen zwischen direktem und an Begrenzungsflächen reflektiertem Schall treten bei großen Kapseln bereits im Hörfrequenzbereich auf und beeinflussen deren Richtcharakteristik (11).

Richtungsempfindliche Miniaturmikrofone zeigen in der Regel eine deutliche Begrenzung ihres Übertragungsbereiches zu tiefen Frequenzen. Grund dafür ist die zur Aufrechterhaltung ausreichend großer Empfindlichkeit recht geringe Membranbedämpfung (12). Dieser Nachteil kann jedoch durch elektrische Baßanhebung in der Mikrofonelektronik und den Nachbesprechungseffekt ausgeglichen werden. Bei geringem Abstand zwischen Instrument und Mikrofon wird dann auch tieffrequenter Schall gut wiedergegeben.

Mit sinkender Membranfläche sinkt auch die Mikrofonempfindlichkeit. Daher weisen Miniaturkapseln zumeist ein schlechteres Signal-Rauschverhältnis auf als größere Kapseln. Der dem Rauschen äquivalente Schalldruckpegel beträgt bei kleinen Mikrofonen 28...33 dBA und bei großen typisch 14...18 dBA.

Praktisch bereitet das geringere Signal-Rauschverhältnis kleiner Kapseln aber kaum Probleme, weil sie in der Regel sehr dicht an der Schallquelle installiert und daher höheren Schalldrücken ausgesetzt werden. Dadurch nimmt das Signal-Rauschverhältnis wieder zu. Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung des Ausgangssignals besteht darin, die Kapsel in unmittelbarer Nähe einer reflektierenden Oberfläche zu installieren. Die kohärente Addition des direkten und reflektierten Schalls vergrößert das Ausgangssignal um 6 dB. Mit anderen Worten gilt, daß durch Grenzflächen-Montage das Signal-Rauschverhältnis um 6 dB erhöht werden kann.

Detaillierte Ausführungen über die Vor- und Nachteile von Miniaturmikrofonen einschließlich bewertender Meßergebnisse finden sich in (13). Andere empfehlenswerte Literaturstellen sind (14), (15) und (16).

Ein Freifeldmikrofon ist für den Einsatz im ungestörten, d.h. nicht durch schallreflektierende Flächen beeinflussten Freifeld gedacht. Das Grenzflächenmikrofon ist dagegen speziell für den Betrieb unmittelbar vor reflektierenden

Flächen (Boden, Wände, Tisch, Pianodeckel, Reflektor) konzipiert. Letzteres wird entweder mit direkt der Wand gegenüberliegender Membran oder mit senkrecht zur Wandfläche angeordneter Membranfläche installiert. Die Membran nimmt direkten und reflektierten Schall im gesamten interessierenden Frequenzbereich nahezu gleichphasig auf, verursacht daher keine störende Interferenzen.

In Studios wird das Grenzflächenmikrofon häufig an der Unterseite des Pianodeckels befestigt oder zur Erfassung der Raumakustik an der Wand installiert. Es kann auch vor schallharten Flächen zwischen Instrumenten und an Reflektoren eingesetzt werden, um eine gewisse Richtungsempfindlichkeit zu erzeugen.

Grenzflächenmikrofone mit Kugelcharakteristik werden gern für Rednerpulte, in der Nachrichtenübermittlung und bei Theateraufnahmen am Bühnenboden eingesetzt. Freifeldmikrofone sollten fernab von reflektierenden Flächen verwendet werden. Da in unmittelbarer Nähe von Schallquellen die direkten Schallanteile dominieren, sind Freifeldmikrofone auch für solche Positionen gut geeignet. In der Nähe schallreflektierender Flächen sollten nur Grenzflächenmikrofone verwendet werden. Ein Grenzflächenmikrofon weist folgende Vorteile auf:

- Empfindlichkeit und Signal-Rauschverhältnis erhöhen sich aufgrund gleichphasiger Addition direkten und reflektierten Schalldrucks um 6 dB

- Frequenzgangbeeinflussung (Kammfilter) aufgrund Wandflächenreflektion tritt nicht auf

- durch Einsatz weiterer Grenzflächen kann das Signal-Rauschverhältnis weiter erhöht (6 dB pro Fläche) und die Empfindlichkeit auf Nachhall (um 3 dB pro Fläche) vermindert werden

- Klangverfärbung durch seitlichen Schalleinfall ist minimal (wichtig für Weitwinkelaufnahmen und zur Erfassung bewegter Quellen)

- minimale Klangverfärbung des Nachhalls

- exzellente 'Reichweite' — auch für leise und entfernte Schallquellen

- das Mikrofon ist unauffällig und vermindert die 'Mikrofonangst'.

Das Grenzflächenmikrofon besitzt folgende Nachteile:

- Das Mikrofon muß relativ weit entfernt von der Quelle installiert werden und kann daher auch unerwünschte Schallanteile wie Nachhall und Rückkopplungen erfassen

- zur befriedigenden Erfassung tieffrequenter Schallanteile und für ausreichende Richtempfindlichkeit bei niedrigen Frequenzen müssen die reflektierenden Flächen häufig unhandlich groß werden.

Eine detaillierte Erläuterung der Vor- und Nachteile von Grenzflächenmikrofonen findet sich in (17).

Bei der Auswahl von Mikrofonen spielt insbesondere für das Heimstudio auch der Preis eine wichtige Rolle.

Mikrofone können aus folgenden Gründen viel kosten:

- Genauere Qualitätskontrolle führt zu erhöhter Ausschußrate. Vorteilhaft daran ist, daß der Anwender bei Einsatz mehrerer Mikrofone von übereinstimmenden akustischen Eigenschaften ausgehen kann. Das umfaßt die Empfindlichkeit, den Frequenzgang und das Polardiagramm

- Qualitätsverbessernde Extras, wie brummvermindernde Wicklungen, stoßisolierter Kapseleinbau, einstellbares Richtdiagramm, einstellbarer Frequenzgang, Ein/Aus-Schalter austauschbare Komponenten, Vielfachumwegkonstruktion, Magneten hoher Feldstärke, robuste Konstruktion, aufwendige akustische Netzwerke zur Glättung des Frequenzganges.

Wir haben gesehen, daß kein Mikrofon für alle Aufgaben gleich gut geeignet ist. Die Mikrofonwahl hängt davon ab, welche Kompromisse man zu machen bereit ist. In Kenntnis der er-

läuterten Entwicklungs-Kompromisse fällt die Entscheidung sicher sachgerechter aus. Manchmal kann — bedingt durch eine neue Erfindung — der eine oder andere Kompromiß umgangen werden. Das ist dann der Fall, wenn der eine Vorteile ohne die damit verknüpften Nachteile zum Tragen kommt. In diesem Fall wird dann von einem technischen Durchbruch geredet. Das galt beispielsweise für Kondensatormikrofone, die (aufgrund ihrer mechanischen Empfindlichkeit gegen äußere Einflüsse) lange Zeit nur für den Studioeinsatz geeignet waren. Heute stehen — dank der Erfindung des Elektrets — jedoch Kondensatormikrofone mit Studioqualität zur Verfügung, die Stößen und Schlägen ohne weiteres widerstehen.

Ein weiteres Beispiel: Früher lag die Empfindlichkeit von dynamischen Mikrofonen typisch einige dB unter der von Kondensatorkapseln. Durch Einsatz neuer, verbesserter Magnete und Magnetstrukturen konnte dieser Nachteil ausgeglichen werden. Wir können feststellen, daß die Hersteller bei allen noch einzugehenden Entwurfskompromissen ständig verbesserte Mikrofone anbieten und so die sachgerechte, d.h. problemorientierte Auswahl erleichtern.

Wir danken B. Bartlett für die freundliche Genehmigung zum Übersetzen dieses Artikels, der unter dem Titel 'Choosing the Right Microphone by Understanding Design Tradeoffs' in der JAES, Vol. 35, im November 87 erschienen ist.

Literatur

[1] G. Bor, Microphones for Professional and Semi-Professional Applications, Gotham Audio Corp., New York, Bild 34

[2] J. Eargle, The Microphone Handbook, Elar Publishing, Plainview, New York, Seite 7

[3] ebenda Seite 4

[4] ebenda Seite 39

[5] ebenda Seite 13

[6] ebenda Seite 30 (Die Polar-Gleichung für die Super-Kardioide ist hier falsch abgedruckt)

[7] G. Plice, Microphone Accessory Shock Mount for Stand or Boom Use, JAES, Vol 19, S. 133-137 (Feb. 1971) und

Microphone Anthology, AES 1979, Vol 1-27, Seite 27

[8] J. Eargle, wie oben, Seite 20

[9] G. Muller, R. Black und T. Davies, The Diffraction Produced by Cylindrical and Cubical Obstacles and by Circular and Square Plates, JASA, Vol 10, Juli 1938, Seite 10

[10] J. Bullock and A. Woodard, Performance Characteristics of Unidirectional Transducers near Reflective Surfaces, Vortrag auf der 76. Convention der AES, Preprint 2122, Seite 3

[11] ebenda Seite 2

[12] M. Hibbing, Design of a Low-Noise Studio Condensor Microphon, Vortrag auf der 77. Convention der AES, Preprint 2215, Seite 5

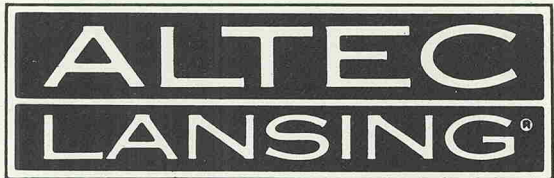
[13] B. Bartlett, Microphones: Small is beautiful, JAES Vol 33, Mai 85, Seite 2393

[14] F. Fraim and P. Murphy, Miniature Electret Microphones, JAES Vol 18, Seite 512

[15] Hibbing, wie oben, Seite 5

[16] F. Fraim and P. Murphy, wie oben, Seite 14

[17] B. Bartlett, Crown Microphone Theory and Applications Guide, Crown Microphone Catalog, Crown International, Elkhart IN 46517



the sound of experience

© 1988 Altec Lansing Corp.

Professionelle

Audio-Systeme

- Mikrofone
- Mischpulte
- Automatische Mikrofon Mixer
- Rückkopplungsabschwächer
- Equalizer
- Endverstärker
- Lautsprecher
- Hörner
- Ela-Computer-Planung
- Audio-Seminare
- Einzelkomponente
- Ela-Gesamtkonzepte

Ein Unterschied,
den man hören kann . . .



Altec Lansing
Komplettlösungen.
Alles aus einer Hand.
Rufen Sie uns an.
Wir nennen Ihnen den
Fachhandelspartner
ganz in Ihrer Nähe.

Altec Lansing Corporation · A Mark IV Company
Lärchenstraße 99 · 6230 Frankfurt/Main 80
Fax (0 69) 3 80 10 40
Telefon (0 69) 3 80 10-36

WIEMANN ELEKTROAKUSTIK

HERSTELLUNG VON:

- HI-FI-LAUTSPRECHERBOXEN 4900 HERFORD
- LEERGEHÄUSEN FÜR DIE EIMTERSTR. 115
- LAUTSPRECHERPRODUKTION ☎ 0 52 21/6 11 55

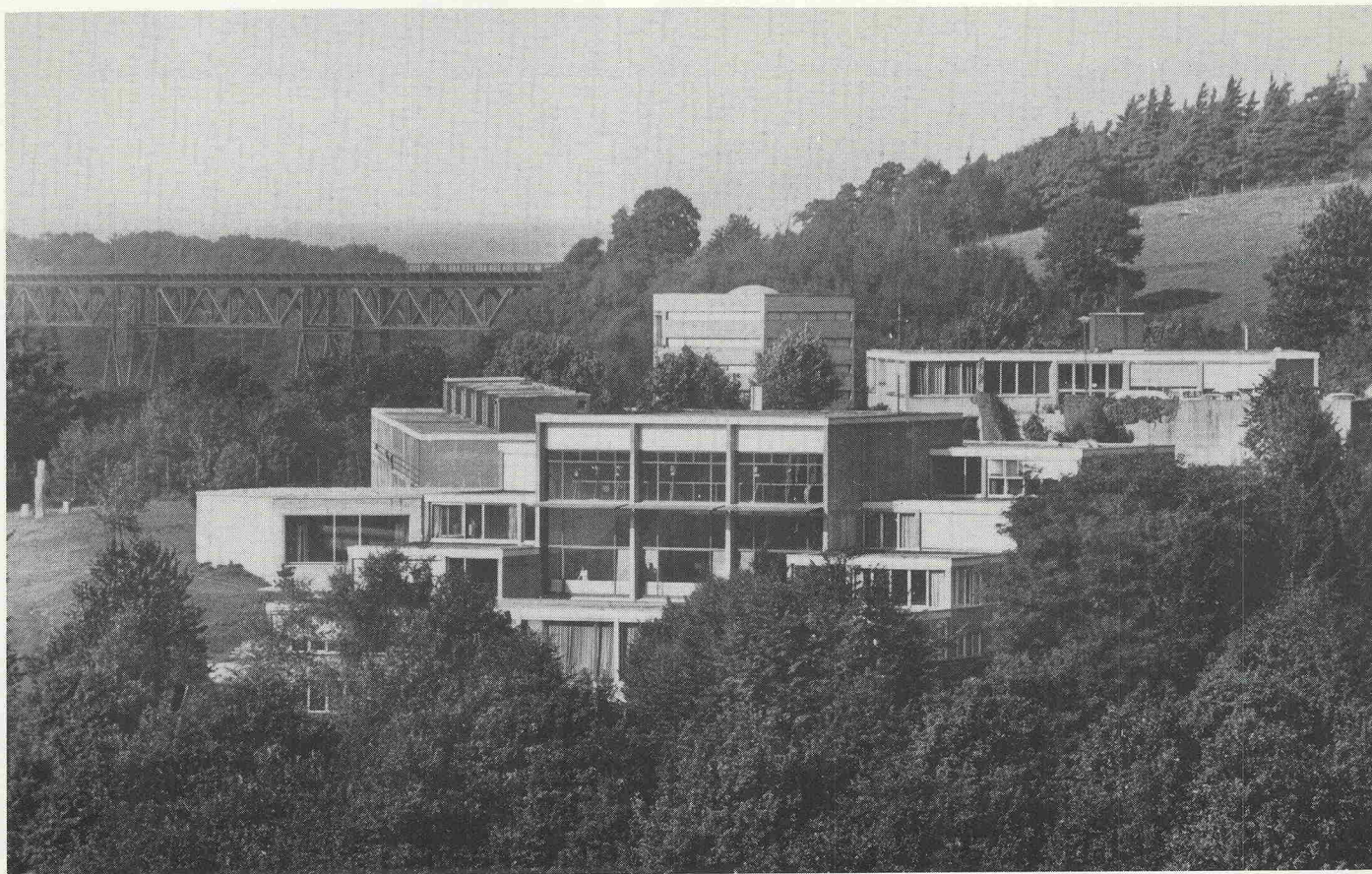


Foto: Akademie Remscheid

Die ungewöhnliche Problemlösung

Die neue Beschallungsanlage der Akademie Remscheid

Karl-Heinz Kuntze

Im Frühjahr 1986 kam die Leitung der Akademie Remscheid mit der Bitte zu mir, ich solle die vorhandene Lautsprecheranlage ansehen und -hören, die Räumlichkeiten in Augenschein nehmen, um daraufhin eventuell neue Vorschläge und ein neues Konzept zu unterbreiten.

In der Hauptsache ging es um eine neue Beschallungsanlage im großen Saal der Akademie (Saal A, siehe Bild 1). Hier finden fast alle nur denkbaren Veranstaltungen und Seminare der Akademie Remscheid statt, von Proben des deutschen Jugendmusikorchesters über Rockkonzerte, Diskothekenveranstaltungen, Versammlungen, bis hin zu Tanz-, Bewegungs- und Meditationsseminaren. Es handelt sich also um vom Charakter her sehr unterschiedliche Veranstaltungen, die entsprechend auch ihre eigenen Anforderungen an die Beschallungsanlage stellen, welche natürlich möglichst allen gerecht werden sollte.

Dies erforderte natürlich eine extreme Flexibilität der Beschallungsanlage, die zum einen in der Lage sein mußte, sowohl mit niedrigen als auch mit sehr hohen Schalldruckpegeln bei möglichst gleichbleibender Klangqualität gefahren zu werden. Zum anderen sollte sie gleichzeitig bezüglich der Schallverteilung variabel genug sein, abhängig von der jeweiligen Situation einmal nur den mittleren Saalbereich (siehe Aufsicht in Bild 2) zu beschallen oder bei anderer Gelegenheit den gesamten Saal möglichst optimal zu versorgen. Zu dem zu beschallenden Bereich sollte auch die geräumige Trep-

penzone sowie die Galerie gehören, die sich innerhalb des Saales befinden.

Nach dieser Bestandsaufnahme und Erörterung der Umstände mit Herrn Prof. Tetzner, dem seinerzeitigen Leiter der Akademie, und dem Architekten, Herrn Esch, wurde bald klar, daß es nicht ausreichen würde, die vorhandene Beschallungsanlage zu erweitern oder diese durch Austausch der Lautsprecher sowie der Elektronik auf einen neueren Stand zu bringen. Ebenso konnte eine konventionelle

electro-acoustic

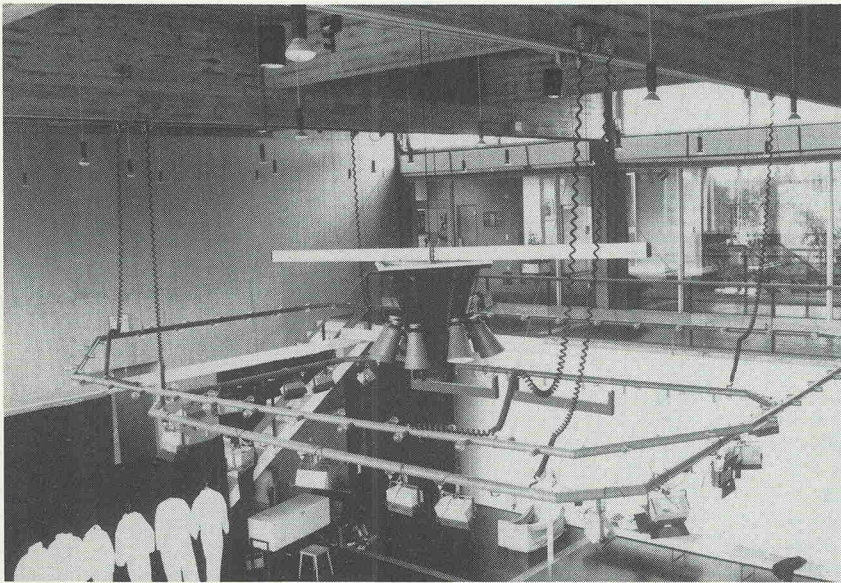


Bild 1: Großer Saal der Akademie Remscheid

sichert, er werde eine so gute Innenarchitektur gestalten, daß sich anschließend niemand mehr für den Ton interessiere.

Stereo- oder Quadroanordnung der Beschallungsanlage die Anforderungen nicht erfüllen. Es mußte also ein völlig neues Beschallungskonzept erarbeitet werden, das zumindest dem folgenden Anforderungskatalog genügen mußte:

1. hohe Belastbarkeit.
2. hoher Wirkungsgrad.
3. definiertes Abstrahlverhalten, um die raumakustischen Verhältnisse berücksichtigen zu können.
4. Variabilität, um entweder nur die Saalmitte oder aber den ganzen Saal beschallen zu können.
5. Eignung für die Beschallung von Veranstaltungen verschiedenster Art.
6. Die Beschallungsanlage soll nicht als Fremdkörper in Erscheinung treten (Kartoffelkisten), sondern sich harmonisch in die Gesamtarchitektur des Raumes einfügen.
7. Die unangenehmen Einflüsse durch Interferenzeffekte sollten beseitigt werden, obwohl für eine gewisse Lebendigkeit des Klangbildes Lautstärkeunterschiede an verschiedenen Orten nicht unbedingt vermieden werden mußten.
8. Nicht zuletzt mußte der finanzielle Aufwand wegen des

endlichen Etats der Akademie (Wende- Etat) in tragbaren Grenzen bleiben.

Rock, Mozart, Ravel und Meditation sind akustisch nur schwer unter einen Hut zu bekommen

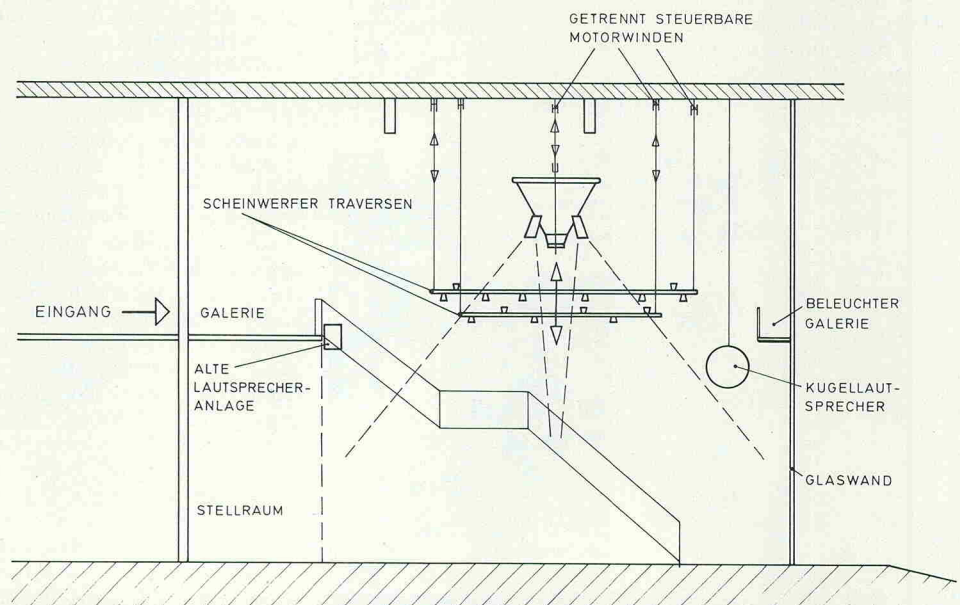
Punkt fünf des Anforderungskataloges spiegelt übrigens eines der Hauptprobleme bei festinstallierten Beschallungsanlagen in Mehrzwecksälen wider. Die Beschallungsanlage in Mehrzweckhallen muß meist sowohl für die Beschallung bei Rockkonzerten als auch von

Eishockeyspielen geeignet sein; dies stellt Forderungen an die Beschallungsanlage, die sich zum Teil widersprechen.

Punkt sechs ist insofern für eine ganze Reihe von Festinstallationen bezeichnend, als daß in der Regel die Beschallungsanlage beim Auftraggeber selten einen so hohen Stellenwert hat, daß beispielsweise innenarchitektonische Forderungen zurückgestellt würden. Im Fall der Akademie Remscheid kann allerdings von einer guten Zusammenarbeit zwischen Architekt und Beschallungsfirma gesprochen werden, es handelte sich nicht um den gefürchteten Fall, in dem der Architekt ver-

Die Inspektion der vorhandenen Anlage ergab folgende Situation: Am Kopfende der Galerie war eine horizontale (!) 'Schallzeile' angebracht. In dieser Schallzeile waren 15 Breitbandlautsprecher in einem solchen Winkel zueinander eingebaut, daß jeder von ihnen einen separaten Bereich der Hallenfläche beschallen sollte; eine 'Anordnung, die man, zumindest wenn sie korrekt und mit den geeigneten Lautsprechern ausgeführt wird, mit 'Splaying' bezeichnet. Die mittleren Lautsprecher waren allerdings nicht gegeneinander verwinkelt eingebaut worden und strahlten zudem auf eine gegenüberliegende Glaswand. Dies führte konsequenterweise zu Interferenzeffekten zwischen den von den Lautsprechern abgestrahlten Schallanteilen untereinander sowie mit den von der Glaswand reflektierten und somit zu entsprechend unerfreulichen Auswirkungen (Kammfiltereffekte, siehe Artikel Raumakustik) auf das zu erwartende Klangbild.

Die vorhandene Anordnung hatte also im Prinzip einige Vorteile, in der praktischen Ausführung aber auch gravierende Nachteile:



GROSSER SAAL AKADEMIE REMSCHEID

Bild 2: Großer Saal, Querschnitt

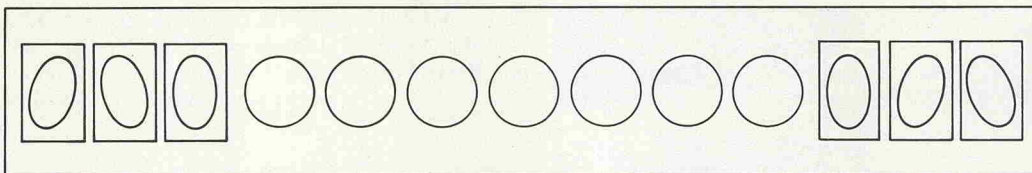


Bild 3: Lautsprecher-Anordnung auf der alten, waagrecht angeordneten Schallzeile.

○ Es war vom an sich richtigen Gedanken ausgegangen worden, getrennte Zonen im Saal durch jeweils eigene Lautsprecher zu versorgen. Damit wäre zudem die Möglichkeit gegeben, den beschallten Bereich des Saales durch Zu- und Wegschalten von Lautsprechern zu vergrößern oder zu verkleinern.

○ Dieses Konzept war nicht mit den geeigneten Lautsprechern und auch nicht konsequent genug realisiert worden.

Folge:

○ Auf und unter der Galerie entstanden unbeschallte Zonen, die nur mit reflektiertem Schall versorgt wurden.

○ Dadurch, daß die mittleren Lautsprecher nicht korrekt eingebaut waren und zudem die Beschaffenheit des Raumes, speziell die Glaswand, nicht genügend berücksichtigt wurde, entstand ein durch Interferenzeffekte geprägtes Klangbild.

Das Ergebnis war eindeutig hörbar: Ging man während des Betriebs, z.B. unter Musikbeschallung, durch den Saal, waren bei jedem Schritt deutliche Schwankungen in der Lautstärke und in der Klangfarbe des Signals hörbar.

Dazu kam, daß aufgrund der Abmessungen des Saales Laufzeitunterschiede zwischen den von den Lautsprechern direkt und den über Reflexionen den Hörer indirekt erreichenden Schallanteilen entstanden, die von der alten Konzeption der Beschallungsanlage nicht berücksichtigt worden waren. Dies ergab zusätzlich ein recht undeutliches, verschwommenes Klangbild und eine schlechte Sprachverständlichkeit. Um diesen Effekt etwas abzumildern, brachte man nachträglich vor der Glaswand (!) zwei Kugellautsprecher an, die aber erwartungsgemäß das Ergebnis nur verschlimmerten.

Ein Cluster kommt der idealen Punktschallquelle am nächsten.

Bei der Suche nach einem Beschallungskonzept, das möglichst alle genannten Forderungen erfüllen sollte, kam mir bald der Gedanke, die gesamte Halle von einem Punkt aus zu beschallen, diesen Punkt jedoch mobil zu machen. Dies würde bei korrekter Ausführung zum einen fast alle Interferenzprobleme beseitigen, die

dann entstehen, wenn mehrere Lautsprecher von verschiedenen Punkten aus den Raum beschallen. Zum anderen würde auf einfache Weise die vierte Forderung nach größtmöglicher Variabilität der Beschallungsanlage erfüllt werden. Um die dritte Forderung nach definiertem Abstrahlverhalten zu erfüllen, war allerdings von vornherein die Konzeption einer Mehrweganlage erforder-

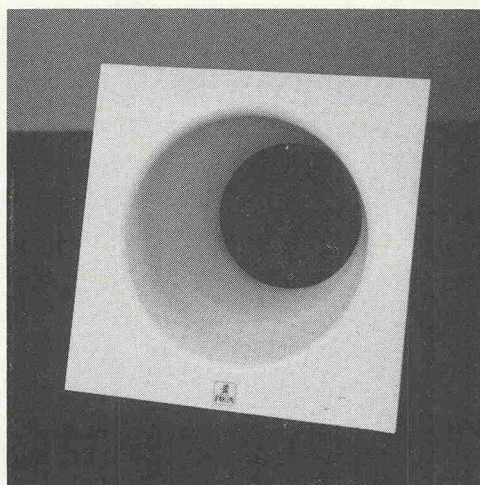


Bild 5: Die Mittelhochtonhörner RAS 810

lich, da zumindest für den Baßkanal eine andere als kugelförmige Abstrahlung nur mit allergrößtem technischen Aufwand realisierbar gewesen wäre. Im Baßbereich wurde also eine ungerichtete Abstrahlung und gleichmäßige Verteilung der Schallenergie bis etwa 200 Hz in Kauf genommen. Das Konzept sah also etwa folgendermaßen aus: Eine ungerichtet arbeitende Schallquelle (mono) für den Baßbereich bis ca. 200 Hz; mehrere, gerichtet arbeitende Schallquellen und Tonkanäle für den Mittelhochtonbereich. Um das gesamte Saalvolumen (3500m^3) aus einer Quelle ausreichend mit Schallenergie im Baßbereich versorgen zu können, kam wegen des hohen Wirkungsgrades nur ein Baßhorn in Frage. Für diesen Zweck wählte ich das Föön MCH2, ein Baßhorn mittlerer Größe (120 x 120 x 150 cm, LxBxH, siehe Bild 4),

das mit einem 15'-Baßlautsprecher bestückt wurde und meiner Erfahrung nach ausreichen würde, den gesamten Saal zu versorgen. Bei der Auswahl der Mittelhochtonsysteme kam mir zugute, daß ich wenige Monate zuvor die RAS Hornserie entwickelt hatte. Es handelt sich dabei um runde, aber asymmetrische Hörner (Bild 5), die einen sehr engen Abstrahlwinkel haben und somit für die vorliegende Aufgabe prädestiniert zu sein schienen. Ich entschied mich bei diesem Projekt konkret für die kleinste Variante, das RAS 810, das mit einem 16 cm-Membranlautsprecher bestückt wird. Bei diesem Lautsprecher handelt es sich um eine Spezialanfertigung, die in der Lage ist, mit Ausnahme des

Baßbereiches den gesamten Frequenzbereich von den Tiefmitten bis zu den Höhen in ausgesprochen guter Qualität zu übertragen. Somit konnte ich mich bei der Beschallungsanlage für die Akademie Remscheid auf ein Zweiwegssystem beschränken, was sich nicht zuletzt auch günstig auf die Gesamtkosten auswirkte. Somit war festgelegt, welche Komponenten für die Beschallungsanlage zum Einsatz kommen würden.

Die grundlegende Idee für die Anbringung dieser Komponenten war, das Föön MCH2 Baßhorn in der Mitte des Saales aufzuhängen und sechs bis acht RAS 810 möglichst nahe und kreisförmig um das Horn herum anzubringen, also einen sogenannten Central-Cluster zu bilden.

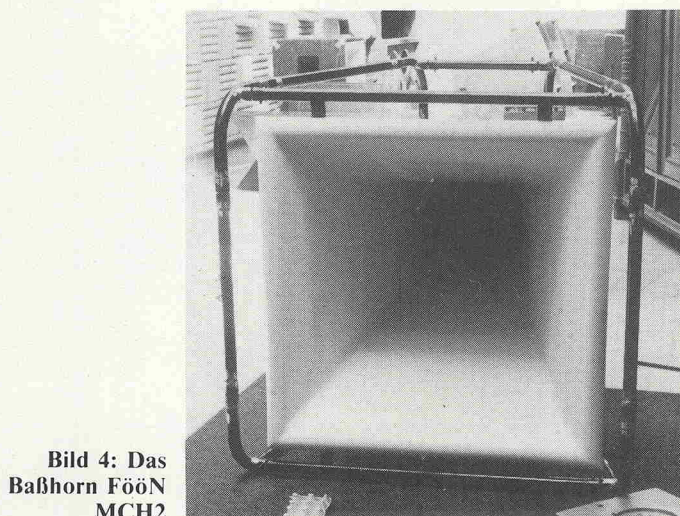


Bild 4: Das Baßhorn Föön MCH2

Das war zwar ein architektonisch etwas ungewöhnliches, nichtsdestotrotz aber aus den Anforderungen gewachsenes Konzept, dessen Realisierung nach Vorführung der in Frage kommenden Komponenten und Erläuterung der zugrundeliegenden Ideen für das Projekt bei einer Besprechung mit Prof. Tetzner und Herrn Esch beschlossen wurde.

Nach einer Überprüfung des Abstrahlverhaltens der RAS 810 vor Ort entschlossen wir uns für den Einsatz von acht Mittelhochtonhörnern um das Baßhorn herum, und zwar so, daß alle acht Hörner in einem definierten Winkel fast senkrecht nach unten strahlten.

Zur Realisierung des Projektes wurde nach kleineren Änderungen am Design der RAS 810 vom Schlosser der Akademie eine Metallkonstruktion fertiggestellt, die als Träger für die Mittelhochtonhörner dient und, durch Gewindestangen mit dem Baßhorn verbunden, die gesamte Lautsprecheranlage zu einer Einheit zusammenfügt.

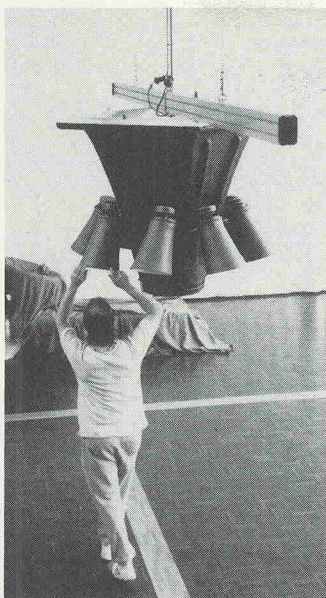


Bild 6: Ansicht des fertiggestellten Clusters

Um die RAS 810 möglichst nahe zusammenbringen zu können, wurde das Baßhorn mit der Hornöffnung nach oben

angeordnet und der 15°-Lautsprecher so eingebaut, daß er mit der Membranvorderseite nach unten und mit der Membranrückseite in das Horn strahlt. Die RAS 810 wurden mit verstellbaren Winkeln um das Baßhorn herum angeordnet.

Motorwinde, ähnlich wie eine Lichttraverse, in jeder — jeweils der zu beschallenden Veranstaltung angemessenen — Höhe positioniert werden. So kann über die Höheneinstellung auch die Größe des zu beschallenden Hallenbereiches gewählt werden.

So entstand ein auf engstem Raum angeordnetes Bündel oder Cluster von Lautsprechern, das den Eindruck vermittelte, der Schall werde aus nur einer Schallquelle abgestrahlt. Gleichzeitig wurden durch diese Konstruktion alle Probleme vermieden, die sich aus einer verteilten Lautsprecherordnung ergeben hätten. Um zusätzlich die geforderte Lebendigkeit des Klangbildes zu verstärken, wurden die acht Mittelhochtonhörner mit einem Stereosignal angesteuert, und zwar in der Weise, daß jeweils vier Hörner jeweils abwechselnd einem Stereokanal zugeordnet wurden. Die gesamte Konstruktion (Bild 6) hängt in der Mitte des Raumes an einem Stahlseil und kann über eine

Zudem bildet das scheinwerferähnlich modifizierte Design der Mittelhochtonhörner zusammen mit der Konstruktion des Clusters eine Anspielung auf ähnliche Konstruktionen in der Lichttechnik und trägt so die gewünschte (ästhetisch-)künstlerische Komponente bei.

Mit der Beschallungsanlage der Akademie Remscheid entstand — in guter, kooperativer Zusammenarbeit — eine äußerst kompakte Beschallungsanlage, die nicht nur alle technischen Vorgaben erfüllt. Sie bildet auch zusammen mit der bereits vorhandenen Lichtenanlage eine harmonische Einheit und fügt sich auf diese Weise hervorragend architektonisch in die Raumgestaltung ein. □

VON IHR KRIEGEN SIE WAS ZU HÖREN!

Die Zeitschrift „Elektor HiFi-Boxen 8/88“ testete die „Voyager“. Ein „ausgewogenes und harmonisches Klangbild“ brachte ihr das hervorragende Gesamturteil ein:

PREIS-KLANGVERHÄLTNIS SEHR GUT!

Räumlichkeit und eine klare, exakte Impuls wiedergabe, sowie eine erfreulich volumige Basswiedergabe sind neben dem niedrigen Preis die größten Vorteile dieses Lautsprechers. Am besten selbst anhören und sich von Klang und Leistung überzeugen.

BLUE BOX



Bausatz:
DM 298,-
Fertiggehäuse
ab DM 150,-

Langemarkstrasse 232 · Telefon: 50 64 95 · 2800 Bremen

magazin für elektronik
elrad

Jeden Monat aktuell in Sachen Elektronik.
An Ihrem Kiosk. Oder direkt ab Verlag.
Für 6,80 DM.

Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG
Helstorfer Straße 7
3000 Hannover 61

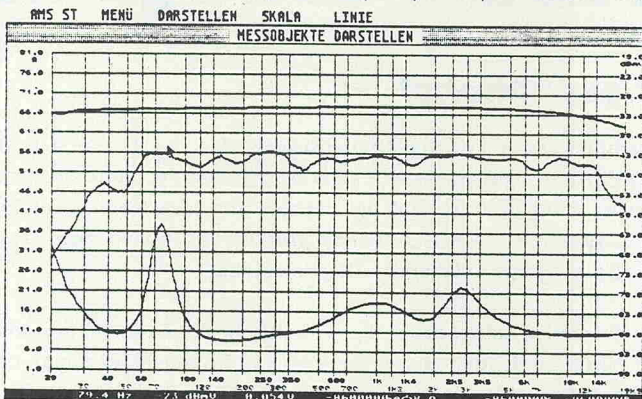


MESSEN!

Frequenzgänge von Pegel, Impedanz, Schalldruck; Hallzeiten, Thiele-Small-Parameter... an allen Geräten der HiFi- und Tonstudiotechnik Lautsprecher, Mikrofone, Bandmaschinen... Meßkurven speichern, umrechnen, drucken... Die zeitgemäße Alternative zu mechanischen Linienschreibern:

AMS PC/ST Das professionelle Meßsystem für Audio und Akustik

für ATARI ST ab März '89, für IBM (kompatible) PC ab Juli '89



elektronik innovativ **KEMTEC**

KLAUS BAUMOTTE · AVENWEDDER STR. 490
4830 GÜTERSLOH 11 · TELEFON: 052 09/5429



Werkfoto: Neve England

Grundlagen digitaler Mischpulte

Dieter Michel

Nachdem der Trend zur Digitalisierung des Tonstudios sich mit der Einführung digitaler Effektgeräte schon seit geraumer Zeit stabilisiert hat, wird nun auch das zentrale Nervensystem des Studios, das Mischpult, Gegenstand einer grundlegenden Neuorientierung in Richtung auf vollständige Digitalisierung.

Im folgenden sollen daher die Grundlagen der Konstruktion digitaler Mischpulte und mithin die Vor- und Nachteile solcher Geräte vorgestellt werden, wobei auch vollständig neue Ansätze, wie sie durch die grundlegend neue Struktur möglich oder zumindest denkbar werden, Erwähnung finden.

Die stufenweise Digitalisierung wichtiger Funktionen und Geräte in einem Tonstudio hat bisher vor einer Reihe von Jahren parallel im Bereich der Studiotechnik und der Musikelektronik begonnen. Die spektakulärsten Entwicklungen stellen in dieser Beziehung die computergesteuerten Musikinstrumente (Computer Musical Instrument, CMI) dar, obwohl sie genaugenommen nicht digital arbeitende Versionen entsprechender analoger Instrumente darstellen. Auf dem Studiiosektor begann der Digitali-

sierungsprozeß mit der Einführung digitaler Delays, wohl deshalb, weil gerade in diesem Bereich analoge Lösungen auf der Basis von Tonbandschleifen und Eimerketten speichern für Studiozwecke am unbefriedigendsten waren.

In beiden Fällen sind ähnliche Gründe für diese Entwicklung zu finden. Es sind dies im wesentlichen die Verringerung des konstruktiven Aufwands bei Geräten mit komplexeren Funktionen sowie die verbesserte Klangqualität. Im Verlauf der weiteren Entwicklung kommt die Möglichkeit hinzu, auf einfache Weise eine automatische Steuerung der Funktionen sowie auch völlig neue Funktionen zu realisieren. Die beschriebene Entwicklung ist bei einem Teil der Studio-Peripherie und vor allen Dingen bei Synthesizern, also mehr auf dem Keyboardsektor, schon weit fortgeschritten. Hier besteht bereits heute die Möglichkeit, ohne weiteres ein Netz von klangerzeugenden und -verarbeitenden Geräten zu erstellen, die über digitale Schnittstellen, meist MIDI, gekoppelt und gesteuert werden können. Dabei verfügt nicht mehr jedes einzelne Gerät über einen vollständigen Satz von Bedienelementen, vielmehr

electro-acoustic

wird bei der Handhabung dieses Netzes der Anzahl der zur Bedienung verfügbaren Hände und Augen Rechnung getragen. Die Anzahl der Manuale beschränkt sich in der Regel auf eines oder zwei, während meist ein zentraler Rechner für die restliche Steuerung sowie Speicherung von Ereignissen zuständig ist. Dieses Konzept der Reduktion der vorhandenen Bedienelemente auf das Überblick- und Handhabbare findet sich auch bei der Konzeption digitaler Mischpulte und ist wichtig genug, in einem separaten Kapitel behandelt zu werden.

Bei der Beschreibung von digital arbeitenden Mischpulten muß sorgfältig zwischen vollen digitalen Pulten, die mit der herkömmlichen Art der Signalverarbeitung nur mehr wenig gemein haben, und digital gesteuerten Analogpulten unterschieden werden. Bei letzteren ist der eigentliche Signalweg nach wie vor in der bekannten Analogtechnik ausgeführt, es werden im wesentlichen Bedien- und Anzeigefunktionen sowie bei größeren Pulten das Routing von einer Digitalelektronik übernommen, die insbesondere die Speicherung mehrerer Mischereinstellungen ermöglicht. Die Folge ist, daß ein solches Pult übersichtlicher und vor allen Dingen schneller bedienbar ist und somit eine effektivere Arbeit ermöglicht.

Zusätzlich wird bei einem rein digitalen Mischpult der gesamte Signalweg digital ausgeführt, daher finden sich herkömmliche Bauelemente wie Verstärker, Potentiometer und Fader nicht mehr im Signalweg. Dies hat zunächst den Vorteil, daß deren schlechte Eigenschaften, wie z.B. Kratzen und Rauschen, die die Qualität und nicht zuletzt den Preis analoger Mischer wesentlich bestimmen, keinen Einfluß mehr haben. Die Qualität eines Digitalmischers muß also an anderen Kriterien bemessen werden, die sich aus ihrer veränderten Arbeitsweise ergeben.

Bild 1b. Prinzipschaltbild eines Digitalmischers

electro-acoustic

Bereits in der Eingangsstruktur unterscheiden sich analoge und digitale Mischerkonzepte (Bild 1a+b). Gleich bleibt, zumindest bei den derzeit verfügbaren Geräten, die erste Stufe der Signalverarbeitung, in der das Eingangssignal auf einen zur weiteren Verarbeitung geeigneten Pegel (LINE) gebracht wird. Dies hat bis heute mit Hilfe hochwertiger Vorverstärker zu geschehen, die im Grunde für beide Mischformen gleich aufgebaut sein können. Die Gain-Einstellung erfolgt auch heutzutage in der Regel noch von Hand.

Während sich bei Analogmischern normalerweise die Kanalklangstellerstufe anschließt, folgt bei Digitalmischern die Schnittstelle zwischen der analogen und digitalen Signalverarbeitung in Form eines Analog/Digital-Wandlers (A/D-Wandler), der evtl. zusätzlich über eine vorgeschaltete Sample & Hold-Stufe verfügt, um das Eingangssignal während der Abtastung konstant zu halten.

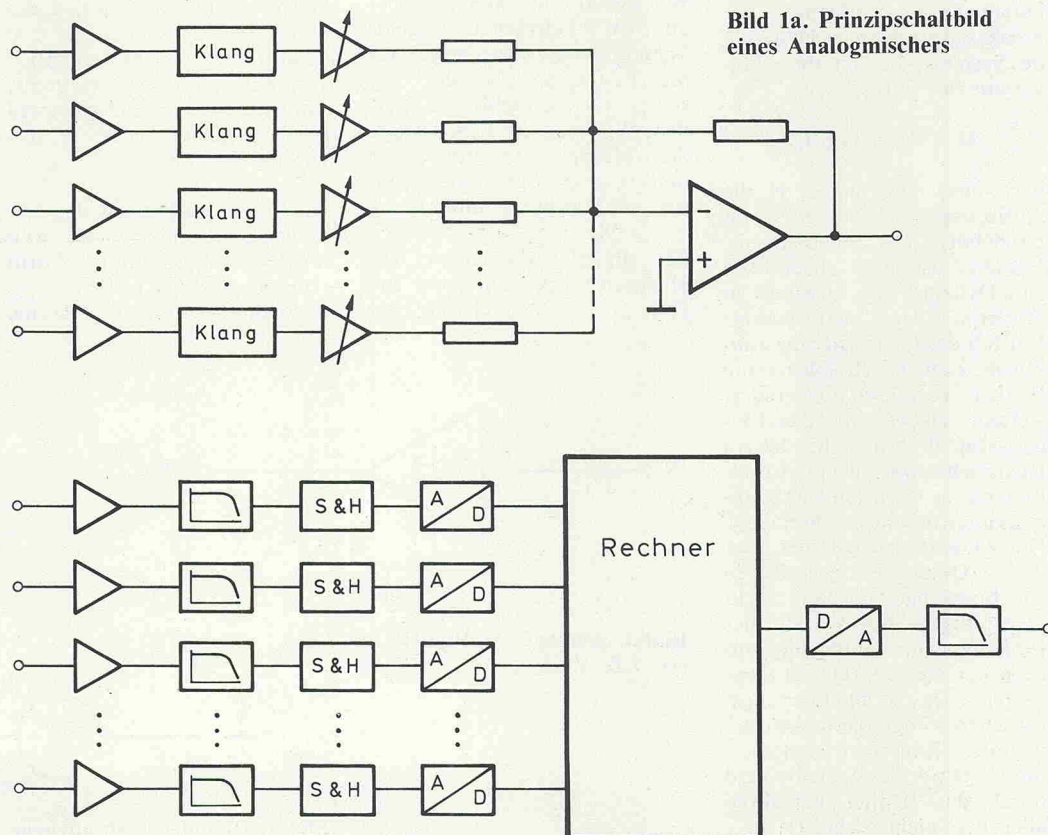
Der A/D-Wandler hat die Aufgabe, das am Ausgang des Eingangsverstärkers zur Verfügung stehende, kontinuierliche Signal periodisch abzutasten

und in eine Folge von Zahlenwerten umzuwandeln, die jeweils der Amplitude des Eingangssignals zum Zeitpunkt der Abtastung entsprechen. Da diese Abtastung des kontinuierlichen Eingangssignals nicht beliebig oft erfolgen kann, ist es erforderlich, durch ein Tiefpaßfilter, das dem A/D-Wandler vorgeschaltet ist, die höchste Signalfrequenz zu begrenzen, meist auf einen Wert um 20 kHz. Dieses Tiefpaßfilter, das als Anti-Aliasing-Filter bezeichnet wird, ist für die korrekte Funktion notwendig und muß zwingend vorhanden sein. In diesem Fall ist das Eingangssignal durch die Folge von Abtastwerten exakt beschrieben, insbesondere kann der Verlauf des Signals zwischen zwei Abtastwerten genau rekonstruiert werden, so daß durch die Analog/Digital-Wandlung kein Informationsverlust eintritt. Andererseits ist aber häufig das verwendete Tiefpaßfilter recht steilflankig, was sich unangenehmerweise auch in einer erheblichen Phasenverschiebung in der Nähe der Eckfrequenz des Filters äußert, die im Eingangssignal nicht enthalten ist. Die Tatsache stellt allerdings einen der wesentlichen Kritikpunkte an digitalen Studioeinrichtungen dar.

Der Analog/Digital-Wandler ist aber nicht nur hinsichtlich seiner Abtastfrequenz Beschränkungen unterworfen, er kann auch die Amplitude der Eingangsspannung nicht beliebig genau messen. Gewöhnlich stellen A/D-Wandler die gemessene Spannung als ganze Zahl dar, wobei die Anzahl der darstellbaren Zahlen meist eine Zweierpotenz ist und die kleinste Zahl der niedrigsten meßbaren Spannung (z.B. -5 V) und die größte Zahl der höchsten Spannung (z.B. +5 V) zugeordnet wird. Wandler für den Audiobereich arbeiten in der Regel mit einer Auflösung von $N=16$ bit, wobei dann $2^N = 65536$ verschiedene Zahlen bzw. 32768 verschiedene Zahlen plus Vorzeichen dargestellt werden können.

Das bedeutet, daß die eigentliche, kontinuierliche Amplitude des Eingangssignals einem von 2^{16} Spannungswerten zugeordnet (quantisiert) werden muß (Bild 2). Dabei kann maximal eine Abweichung von einer halben Intervallbreite auftreten. Diese Abweichungen vom 'wahren' Spannungswert äußern sich später als Rauschen und werden aufgrund ihres Ursprungs als Quantisierungs-

Bild 1a. Prinzipschaltbild eines Analogmischers



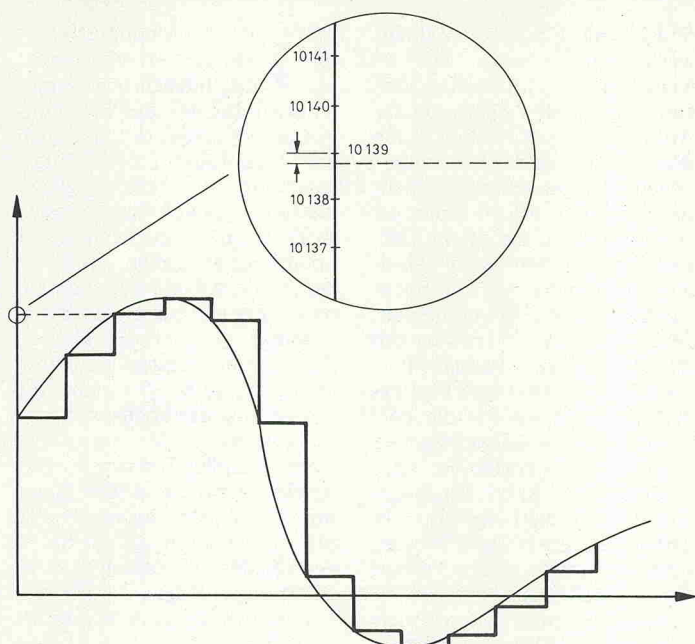


Bild 2. Quantisierung des Eingangssignals bei der Analog/Digital-Wandlung

rauschen bezeichnet. Dieses hat eine von gewöhnlichem Rauschen verschiedene Klangqualität, da es stark mit dem Eingangssignal korreliert ist. Das Quantisierungsrauschen begrenzt die erreichbare Dynamik des Systems, die sich überschlägig aus der Formel

$$D = 6 (N-1) \text{ [dB]}$$

berechnen läßt, wobei N die Auflösung des Wandlers in bit bezeichnet. Für einen 16-bit-Wandler ist also theoretisch eine Dynamik von ca. 90 dB zu erwarten. Der gehörmäßige Einfluß des Quantisierungsrauschens kann durch sogenannte 'Dither'-Verfahren abgemildert werden. Dabei wird das Eingangssignal mit sehr leisem Rauschen etwa mit der Amplitude des zu erwartenden Quantisierungsrauschens überlagert. Der Quantisierungsfehler, der das Quantisierungsrauschen zur Folge hat, ist dann nicht mehr direkt vom Verlauf des Eingangssignals abhängig, sondern hat mehr zufälligen Charakter. Das Quantisierungsrauschen klingt dann dem gewohnten Rauschen ähnlicher, die Dynamik des Systems wird durch das 'Dither'-Verfahren allerdings nicht verbessert.

An dieser Stelle ist es angebracht, genauer auf die Architektur eines digitalen Mischpultes einzugehen. Der konventionelle Analogmischer besteht im wesentlichen aus einer Ansammlung von Potentiometern, Operationsverstärkern und passiven Bauelementen, die in geeigneter Weise miteinander verschaltet werden (Bild 1a). Aus der Struktur dieser Verschaltung, die beispielsweise aus dem Blockschaltbild oder genauer aus dem Schaltplan hervorgeht, kann in der Regel recht gut auf die Funktionsweise des Mixers zurückgeschlossen werden. Will man die Arbeitsweise des Mixers verändern, so muß man die Schaltungsstruktur, die Hardware, ändern.

Bei digital arbeitenden Mixern ist dies nicht mehr der Fall. Die meisten Geräte, mit

denen digitale Signalverarbeitung betrieben wird, also auch digitale Mischpulte, haben untereinander im Prinzip einen sehr ähnlichen Aufbau (Bild 1b). Nach der schon beschriebenen Analog/Digital-Wandlung werden das bzw. die Digitalsignale einem geeigneten Rechner oder Signalprozessor zugeführt. Hier finden alle weiteren Signalver- bzw. -bearbeitungsvorgänge, wie z.B. Mischen, Verstärken oder Filtern statt. Die bearbeiteten Signale, die immer noch als eine Folge von Zahlen vorliegen, werden an den Ausgängen des Mixers mit Hilfe eines Digital/Analog-Wandlers in analoge Signale zurückgewandelt, die mit der herkömmlichen analogen Tonstudiotechnik weiterverarbeitet und/oder gespeichert werden können. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Ausgangssignale in digitalisierter Form weiterzuverarbeiten, also beispielsweise den Mix direkt auf eine Digitalbandmaschine zu fahren.

Die eigentliche Signalverarbeitung findet bei einem digitalen Mischpult in einem Rechner statt. Betrachtet man aber beispielsweise das Blockschaltbild eines solchen Rechners, so kann man nicht auf einfache Weise auf die Struktur, also beispielsweise das Routing des Mixers rückschließen. Die Struktur wird nicht wesentlich von der Hardware bestimmt, sondern von den Programmen die der Rechner abarbeitet, also von der Software.

Die Grundfunktionen des Mixers sowie seine Struktur sind im Rechnerprogramm in Form von Rechenvorschriften bzw. Algorithmen definiert. Für eine

Änderung der Struktur ist es demnach erforderlich, das Programm des Rechners zu ändern; die Hardware kann, zumindest in bestimmten Grenzen, unverändert bleiben. Das in Form einer Folge von Abtastwerten vorliegende Eingangssignal wird in einem Digitalmischer von Signalverarbeitungsstufen weiterverarbeitet, für die sich entsprechende Gegenstücke in analogen Mixern finden lassen. Es handelt sich dabei im wesentlichen um:

1. Multiplikatoren
2. Addierer
3. Filter

Das analoge Gegenstück zu einem digitalen Multiplizierer ist ein, meist in Operationsverstärkertechnik realisierter Verstärker mit veränderbarem Verstärkungsfaktor (Bild 3). Die wichtigste Funktion, die ein Multiplizierer in einem Digitalmischer übernimmt, ist die des Faders, der auch in einigen Analogmischern bereits durch einen spannungsgesteuerten Verstärker ersetzt wird und somit dem digitalen Gegenstück ähnlicher wird. In diesem speziellen Fall wird der Verstärkungsfaktor zwischen 0 und 1 variiert. Dies entspricht im Digitalmischer einer Rechenoperation, bei der jeder Wert der Eingangszahlenfolge mit einem Wert zwischen 0 und 1 multipliziert wird (Bild 4).

Die Operation, die einem Mixer seinen Namen gibt, nämlich die Mischung bzw. Summierung von Signalen aus verschiedenen Quellen, wird in einem Digitalmischer von einem Addierer durchgeführt. Da ein digitaler Addierer nur jeweils zwei Zahlenwerte addieren kann, müssen bei einer größeren Anzahl von zu mischenden Kanälen Zwischenergebnisse gespeichert werden.

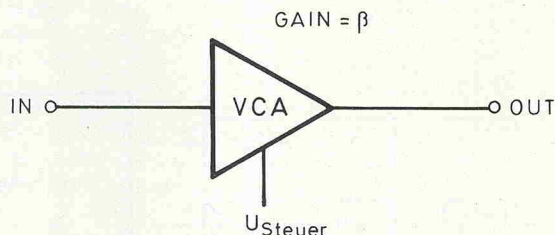


Bild 3. Analoger Multiplizierer, z.B. VCA

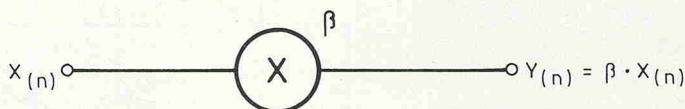


Bild 4. Digitaler Multiplizierer

An dieser Stelle wird ein wichtiger Unterschied zwischen der digitalen und der analogen Realisierung eines Mischers deutlich. Werden beim analogen Mischer die Kanäle parallel verarbeitet, indem die Kanalausgänge auf den Summationspunkt des Summierverstärkers (Bild 5) geführt werden, werden beim Digitalmischer die Kanäle nacheinander (sequentiell) addiert (Bild 6). Der Digitalmischer bearbeitet die Aufgabe des Mischens mehrerer Kanäle, indem er sie auf eine grundlegende Operation, nämlich das Addieren zweier Kanäle zurückführt und diese so oft ausführt, bis alle Kanäle bearbeitet (summiert) sind.

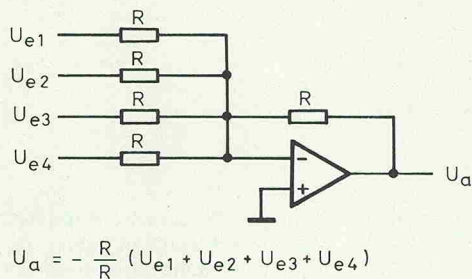


Bild 5. Summierv Verstärker

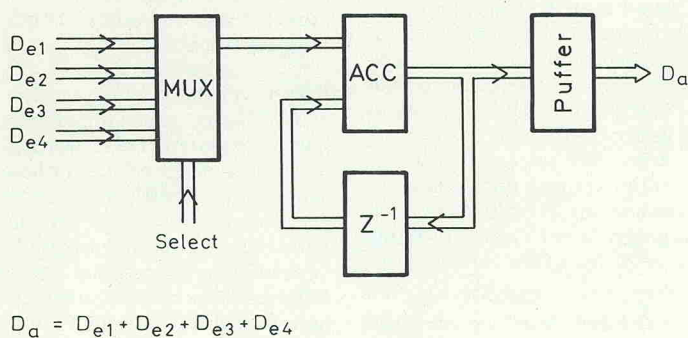


Bild 6. Digitaler Addierer. Die Eingangssignale werden nacheinander im Akkumulator (ACC) auf den Wert im Puffer addiert. z^{-1} bezeichnet eine Verzögerung um eine Abtastperiode.

Da für jede dieser grundlegenden Operationen eine bestimmte Zeit benötigt wird, richtet sich die Zeit, die für eine komplette Mischoperation benötigt wird danach, wie viele Kanäle gemischt werden sollen. Eine Obergrenze für die maximal zur Verfügung stehende Zeit

für Rechenoperationen ist jedoch die Abtastperiode des A/D-Wandlers, also die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Abtastwerten.

Dieses Zeitraster stellt ein erhebliches Problem dar, auf das später ausführlicher eingegangen werden soll.

Die nächst wichtige Grundfunktion eines Mischpultes besteht in der klanglichen Beeinflussung des Signals. Zu diesem Zweck sind in analogen Mischpulten verstellbare Filter vorhanden,

die im einfachen Fall einen bestimmten Frequenzbereich anheben oder abschwächen und bei aufwendigeren, parametrischen Filtern eine Einstellung der Einsatzfrequenz und Bandbreite zulassen.

Gewöhnlich werden solche Filter mit Hilfe frequenzabhängiger rückgekoppelter Operationsverstärker aufgebaut, wobei die genaue Schaltung von Mischer zu Mischer unterschiedlich ist.

In einem digitalen Mischpult müssen diese Filter in digitaler Form realisiert werden, die durch geeignete Rechenopera-

tionen aus der Folge von Abtastwerten des Eingangssignals eine Folge von Abtastwerten des Ausgangssignals berechnen. Die Rechenvorschrift, die digitalen Filtern zugrundeliegt, besteht darin, den neuen Ausgangswert des Filters durch eine gewichtete Summe von vergangenen Eingangs- und/oder Ausgangswerten des Filters zu berechnen, wobei die Gewichtung der vergangenen Abtastwerte vor der Addition durch Multiplikation mit den Filterkoeffizienten durchgeführt wird.

Diese Operation benutzt die bereits besprochenen Grundfunktionen der Multiplikation und Addition; zusätzlich müssen die vergangenen Abtastwerte zwischengespeichert werden. Die Arbeitsweise eines Digitalfilters ist in Bild 7 dargestellt.

Verschiedene Digitalfilter unterscheiden sich nun durch die Anzahl der bei der Summation benutzten, vergangenen Abtastwerte und dadurch, ob vergangene Ausgangswerte bei der Berechnung berücksichtigt werden oder nicht.

Benutzt man lediglich vergangene Eingangsabtastwerte des Filters, so spricht man von einem nichtrekursiven oder auch FIR (finite impulse response) Filter, also Filter mit endlicher Impulsantwort, da bei einer impulsartigen Anregung des Filters sein Ausgang nach einer endlichen Zeit zur Ruhe kommt.

Werden auch vergangene Ausgangsabtastwerte zur Berechnung herangezogen, so werden auch Rückkopplungen des Ausgangs auf den Eingang zugelassen, man spricht dann von einem rekursiven oder auch IIR- (infinite impulse response) Digitalfilter. Die Impulsantwort eines solchen Filters kann wegen der Rückkopplungen im Prinzip beliebig lang sein, bei ungünstiger Wahl der Filterkoeffizienten kann das Filter sogar schwingen.

Rekursive Digitalfilter werden trotz dieses Nachteils in der digitalen Signalverarbeitung bevorzugt, da sie, insbesondere bei steilen Filtern und relativ zur Abtastfrequenz niedrigen Frequenzen mit einem erheblich geringeren Rechenaufwand

realisierbar sind als nichtrekursive Filter.

Spätestens beim Entwurf digitaler Filter wird man feststellen, daß die vom A/D-Wandler zunächst vorgegebene Darstellung des Eingangssignals als ganze Zahl nicht mehr ausreicht, speziell dann, wenn mit rekursiven Filterstrukturen gearbeitet werden soll.

Rekursive Filter sind zwar einfach zu realisieren, verlangen aber eine hohe Rechengenauigkeit

Die Filterkoeffizienten eines rekursiven Digitalfilters können nämlich auch unbeabsichtigt ungünstig gewählt werden, und zwar dann, wenn die Rechengenauigkeit nicht hinreichend hoch ist und durch Rechen- bzw. Rundungsfehler der wirkliche Wert der Filterkoeffizienten vom erforderlichen abweicht.

Speziell steilflankige, rekursive Filter, die relativ zur Abtastfrequenz arbeiten sollen, reagieren sehr empfindlich auf Rechenfehler. Zudem treten im Verlauf der Berechnung sehr verschiedene große Zahlen auf, die nicht mehr durch den vom Wandler vorgegebenen Bereich von 2^N ganzen Zahlen erfasst werden können.

Daher geht man gewöhnlich von der Ganzzahldarstellung auf eine Gleitkomma-Darstellung über, läßt also auch gebrochene Zahlen bei der Rechnung zu. Nach wie vor ist die Dynamik des Systems, hier also des Digitalfilters, von der Rechengenauigkeit bestimmt, sie kann allerdings bei der Gleitkomma-Darstellung nicht mehr mit Hilfe der oben vorgestellten Formel berechnet werden. Da digitale Filter im Vergleich zu den Grundoperatoren, wie z.B. dem Multiplikator, relativ komplex sind und überdies bestimmte Bedingungen für den stabilen Betrieb erfüllt werden müssen, gibt es eine Reihe von Methoden, Filter zu entwerfen, die für den Einsatz im digitalen Mischpult geeignet sind. Eine

besondere Klasse von rekursiven Digitalfiltern stellen die sogenannten Wellendigitalfilter dar. Dieser Typ von Digitalfiltern ist besonders in Hinblick auf die Ähnlichkeit mit analogen Filtern entwickelt worden.

Der Ansatz beim Entwurf von Wellendigitalfiltern besteht nämlich darin, analoge Filter zu simulieren, und zwar in der Weise, daß für jedes analoge Bauelement ein digitales Gegenstück existiert und somit ein bereits vorhandener Entwurf für ein analoges Filter übernommen werden kann. Ein weiterer Vorteil besteht in der Unempfindlichkeit dieses Filtertyps gegenüber Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Filterkoeffizienten. Dies kann man anschaulich damit begründen, daß das analoge Gegenstück ebenfalls mit Bauteilen arbeitet, die durchaus Toleranzen von einigen Prozent aufweisen können. Der Zeitaufwand für die laufende Überwachung des Filters auf eventuell auftretende Instabilitäten wird daher stark reduziert.

Darüber hinaus ist es bei Wellendigitalfiltern wegen ihrer Ähnlichkeit mit analogen Filtern besonders einfach, Parameter, sprich Bauteilewerte zu verändern, um beispielsweise eine einstellbare Klangregelstufe zu realisieren, ohne daß sofort Instabilitäten zu befürchten sind.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, ein digitales Mischpult auf jedem beliebigen Rechner, der über Wandler und ausreichend Speicherplatz verfügt, zu realisieren. Dabei müßte man allerdings in Kauf nehmen, daß an einem kompletten Mix mehrere Wochen gerechnet wird und der Toningenieur sämtliche Einstellungen im voraus festlegen muß. Es entstehen also Probleme dadurch, daß gefordert wird, daß alle Operationen in Echtzeit durchgeführt werden. Es sind also keine Verzögerungen durch die erforderlichen Rechenschritte erlaubt, das digitale Mischpult soll sich wie sein analoges Gegenstück verhalten. Diese Forderung zwingt dem Mischpultrechner unerbittlich den durch den Abtastvorgang im A/D-Wandler vorgegebenen Takt auf. Bei ei-

nem Betrieb in Echtzeit muß in der Zeit, die zwischen dem Eintreffen von zwei aufeinanderfolgenden Eingangsabtastwerten vergeht, ein neuer Ausgangswert berechnet werden, und das für jeden Ausgang, über den das Pult verfügt.

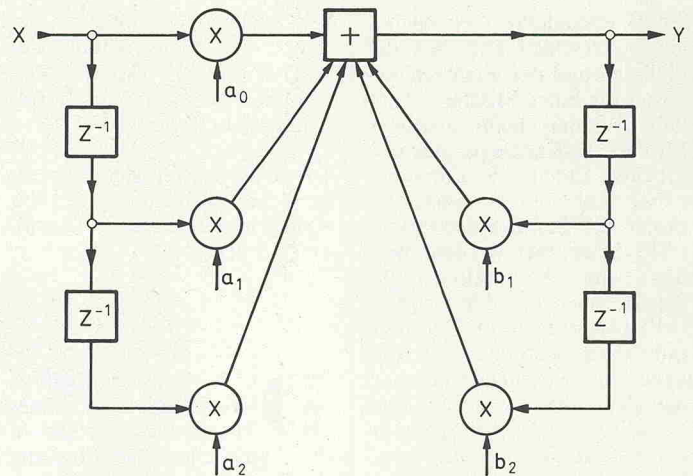
Das bedeutet, für alle erforderlichen Rechenoperationen steht die Dauer einer Abtastperiode zur Verfügung, das entspricht bei einer Abtastfrequenz von beispielsweise 40 kHz einer Zeit von 25 Mikrosekunden.

Nimmt man für eine übersichtliche Berechnung an, daß beispielsweise für die digitale Filterung in einer Klangstellerstufe 10 Multiplikationen erforderlich sind, so darf der Zeitaufwand für eine Multiplikation 2,5 Mikrosekunden nicht übersteigen, den Zeitaufwand für Additionen, Steuerung und Überwachung noch nicht eingerechnet.

Insgesamt kommt man bei diesem Beispiel auf einen Rechenaufwand von ca. 1 Million Fließkomma (!)-Operationen pro Sekunde (1 MFLOP) und das für jeden Kanal des Mischers.

Der Vergleich mit der Rechenleistung normaler Personal Computer und Kleinrechner (< 0,1 MFLOPs) zeigt, daß bei digitalen Mischpulten erhebliche Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Rechnerstruktur gestellt werden.

Aus diesem Dilemma gibt es grundsätzlich verschiedene Auswege. Eine Möglichkeit zur Beschleunigung besteht immer darin, die Rechenoperationen möglichst hardwaregestützt auszuführen. Das bedeutet beispielsweise, daß eine Multiplikation nicht mehr von einem Prozessor mit einem passenden Programm in mehreren Schritten ausgeführt wird, sondern daß die zu multiplizierenden Fließkommazahlen einem speziellen Bauelement zugeführt werden, das durch seine Schaltungsstruktur zu nichts anderem verwendet werden kann, als zur Multiplikation zweier Werte, diese dann aber in einem Schritt durchführt. Die Multiplikation ist in einem sol-



Rekursiv $\hat{=}$ IIR

$$Y = a_0 \cdot X + a_1 \cdot X \cdot Z^{-1} + a_2 \cdot X \cdot Z^{-2} + b_1 \cdot Y \cdot Z^{-1} + b_2 \cdot Y \cdot Z^{-2}$$

Nichtrekursiv $\hat{=}$ FIR

$$Y = a_0 \cdot X + a_1 \cdot X \cdot Z^{-1} + a_2 \cdot X \cdot Z^{-2}$$

Bild 7. Signalflußplan eines Digitalfilters

chen Baustein 'festverdrahtet', es handelt sich um einen Hardware-Multiplikator. In ähnlicher Weise können andere Bauelemente zur Addition zweier Fließkommazahlen benutzt werden. Mit solchen Hardwaremultiplikatoren und -addierern können im Prinzip Rechenleistungen in der Größenordnung von 20 MFLOPs erreicht werden.

Grundsätzlich ist es natürlich ebenfalls möglich, zur Erhöhung der Rechenleistung die Befehlsausführungszeit des benutzten Prozessors zu erhöhen, z.B. indem die Taktfrequenz erhöht wird. Diese 'brute-force'-Verfahren führt jedoch nicht zum gewünschten Erfolg, da von ihm eine Beschleunigung um sehr viel mehr als den Faktor 2 nicht zu erwarten ist. Ein neuer Ansatz geht etwas über die reine Taktfrequenzerhöhung hinaus und stellt bis zu einem gewissen Grad eine Kombination mit dem 'Rechnen in Hardware' dar.

Für die in einem digitalen Mischpult anfallenden Rechenaufgaben ist es nämlich gar nicht erforderlich, einen voll-

ständigen Prozessor mit universellen Befehlssatz zu haben. Es genügt vielmehr ein Prozessor, der lediglich die Befehle kennt, die auch benutzt werden und speziell diejenigen sehr schnell ausführt, die besonders oft benötigt werden.

Dieser Gedankengang führt zum Einsatz sogenannter Signalprozessoren. Diese werden meist mit einer relativ hohen Taktfrequenz betrieben, verfügen über einen speziell auf die Aufgaben der digitalen Signalverarbeitung zugeschnittenen Befehlssatz und meist über einen Speicher, auf den sehr schnell zugegriffen werden kann.

Für die Programmierung eines digitalen Filters bedeutet dies beispielsweise, daß ein spezieller Befehl existiert, mit dem zwei Werte multipliziert werden und das Produkt zu einem dritten addiert wird. Die erforderlichen Speicher bzw. Register für die Zwischenergebnisse liegen entweder direkt auf dem Chip oder sind in spezieller Schaltungstechnik ausgeführt, so daß sie sehr schnell angesprochen werden können. Alle bisher genannten Ansätze sind jedoch für sich nicht ausreichend, um den Erfordernissen eines Digitalmischers gerecht zu werden.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt des Problems ist nämlich die Tatsache, daß die anstehenden Rechenoperationen nicht notwendigerweise nacheinander, also sequentiell abgearbeitet werden müssen. Beispielsweise sind die Kanalzüge eines Mischpultes bis zu den Summenschienen voneinander unabhängig. Es spricht also nichts dagegen, die anfallende Rechenarbeit auf mehrere Prozessoren zu verteilen und diese dann parallel arbeiten zu lassen. Betrachten wir beispielsweise ein 24-Kanal-Mischpult, das für die digitale Realisierung einer Gesamtrechenleistung von 50 MFLOPs benötigt. Verteilt man die Rechenleistung auf 10 oder naheliegenderweise auf 24 Prozessoren und einen weiteren für die Summen, so muß jeder einzelne Prozessor nur noch eine Rechenleistung von 2 MFLOPs erbringen.

Es gibt Hersteller von digitalen Mischpulten, wie z.B. ANT, die diesen Ansatz in der Tat verfolgen (siehe Bild). Jeder Eingangs- bzw. Summenkanal verfügt über einen eigenen Kanalprozessor, der zumindest die Rechenleistung erbringt, die für die ka-

nalinternen Rechenoperationen benötigt wird.

Dieses Konzept hat den weiteren Vorteil, daß bei Ausfall eines Prozessors lediglich ein Kanal ausfällt, das Pult also mehr oder weniger eingeschränkt arbeitsfähig bleibt. Es besteht also eine gewisse Hardware-Redundanz.

Ein etwas anderer Ansatz besteht darin, die Rechenleistung zwar auf mehrere Prozessoren aufzuteilen, jedoch keine physikalische Zuordnung eines Prozessors zu einem bestimmten Kanal vorzunehmen, sondern ganz im Gegenteil das eigentliche Mischpult vom Rechner physikalisch fast völlig zu trennen. Ein solches Mischpult der Firma NEVE ist beispielsweise beim WDR in Köln in Betrieb oder auch bei der BBC in einem Übertragungswagen installiert (siehe Bild am Anfang dieses Artikels).

Grundlage eines solchen Pultes ist ein Zentralrechner, der alle anfallenden Rechenoperationen übernimmt, die zur Signalverarbeitung erforderlich sind; dieser Rechner ist außerhalb

des Pultes angeordnet und auf dem Bild nicht zu sehen. In diesem Zentralrechner arbeitet eine bestimmte Zahl von Prozessoren, die sich nach der erforderlichen Gesamtrechenleistung, der Rechenleistung des Einzelprozessors und der gewünschten Hardware-Redundanz richtet. Die Einzelprozessoren arbeiten parallel an Rechenaufgaben, die ihnen von einem Steuerrechner, quasi als Supervisor, zugewiesen werden. Die Aufteilung auf die Einzelrechner richtet sich im wesentlichen nach der Art und Parallelisierbarkeit der Aufgabe sowie nach der Auslastung der anderen Prozessoren.

Man kann also insbesondere nicht mehr davon ausgehen, daß Kanal X immer auf Prozessor B gerechnet wird. Falls Prozessor B stark damit beschäftigt ist, Änderungen und Klangeinstellung in Kanal Y zu berechnen, wird die Berechnung von Kanal X auf Prozessor C umgeleitet.

Durch diese Struktur ist zum einen sichergestellt, daß alle Prozessoren optimal ausgelastet sind und führt zum anderen zu einer erhöhten Fehlersicherheit. Bei Ausfall eines Prozessors können dessen Aufgaben

von den anderen mit übernommen werden, solange die verbleibende Rechenkapazität ausreicht.

Nachdem nun grundsätzlich geklärt ist, wie die Grundoperationen eines Mischpultes in digitaler Form realisiert werden können, ohne die technischen bzw. technologischen Grenzen zu sprengen, darf nicht außer acht gelassen werden, daß auch ein digitales Mischpult bedient und überwacht werden muß.

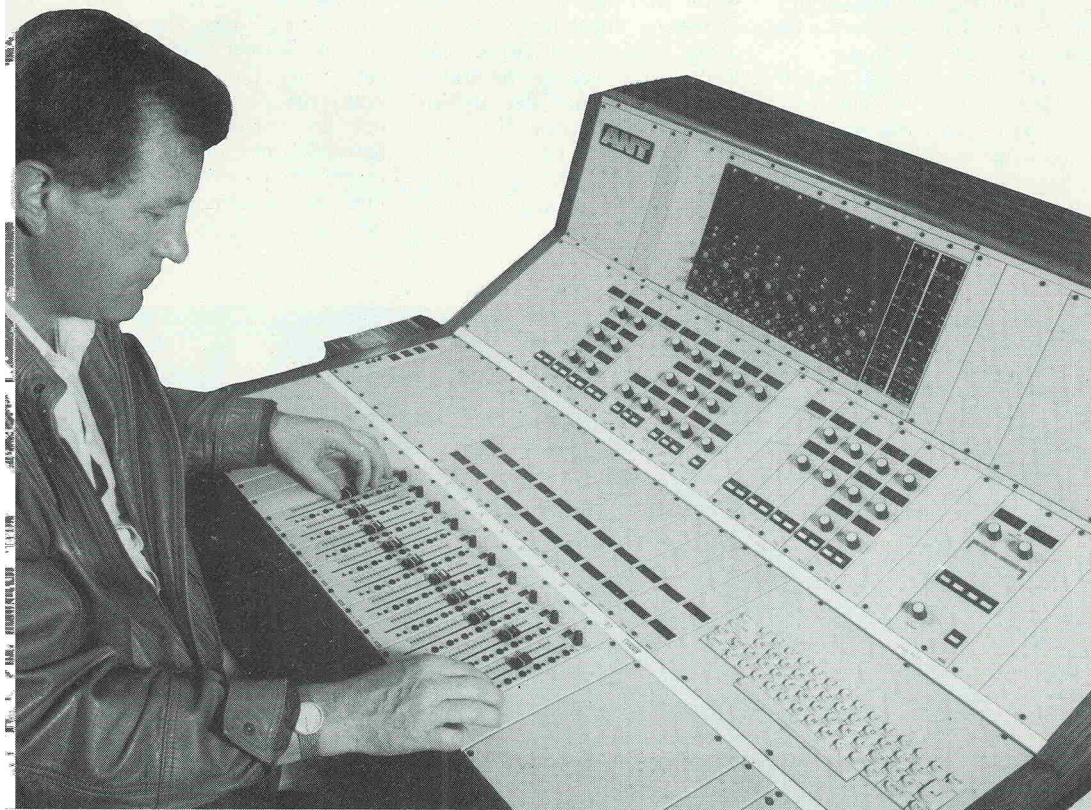
Die Ebene der Überwachung und zum Teil auch der Steuerung des Pultes liegt über der reinen digitalen Signalverarbeitung, jedoch noch unter der sogenannten Benutzeroberfläche.

Bei den bisher behandelten Operationen handelt es sich im wesentlichen um die grundlegenden Operationen der digitalen Signalverarbeitung. Dabei ist zunächst außer acht gelassen worden, daß die Daten zu den jeweiligen Prozessoren transportiert und die Grundoperationen zu sinnvollen Kombinationen zusammengestellt und geeignete Parameter z.B. der Filter eingestellt werden müssen, so daß die gewünschte Bearbeitung des Signals erfolgen kann.

Auf der anderen Seite müssen dem Steuersystem die Wünsche des Toningenieurs bekannt sein, d.h. die wie auch immer gestalteten Bedienelemente müssen abgefragt und in geeigneter Weise in Arbeitsvorschriften für die Signalverarbeitungsebene übersetzt werden.

Diese Aufgaben müssen zwar auch in Echtzeit, also ohne wahrnehmbare Zeitverzögerung erfüllt werden, jedoch ist der Datendurchsatz nicht so hoch wie auf der Ebene der Signalverarbeitung, da z.B. sicher nicht die Stellungen der Bedienelemente aller Kanäle in 20 Mikrosekunden verändert werden.

„Handmuster“ des ANT-Digitalpultes in der Erprobungsphase



Werkfoto ANT Wolfenbüttel

Für die Steuerung des Pultes ist also wegen der Vielfalt der Aufgaben nach wie vor eine leistungsfähige Rechnerstruktur erforderlich; die Anforderungen sind jedoch nicht zu hoch, so daß eine herkömmliche Rechnerstruktur zur Anwendung kommen kann.

Dies ist auch deshalb erfreulich, weil sich die Komplexität der Aufgaben nicht mehr mit einer Handvoll spezieller Befehle für den Prozessor bewältigen läßt, wie dies auf der Signalverarbeitungsebene noch der Fall war. Es ist daher angenehm, wenn das Steuerprogramm für das Mischpult übersichtlicher in einer höheren Programmiersprache geschrieben werden kann, was nicht zuletzt auch Entwicklungskosten spart.

Der Begriff der Benutzeroberfläche ist bereits erwähnt worden. Er bezeichnet das Erscheinungsbild des Pultes von der Seite des Benutzers, also des Toningenieurs. Das Thema Benutzeroberfläche, bzw. allgemeiner 'Mensch-Maschine Interface', ist allerdings, sobald es um voll-digitale oder auch nur digital gesteuerte Mischpulte geht, derartig umfangreich, daß es an dieser Stelle nicht umfassend behandelt werden kann. Im folgenden kann daher nur ein Überblick gegeben werden, der keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Die Benutzeroberfläche bei herkömmlichen, rein analogen Mischpulten ist in der Regel durch die notwendigen Fader, Potentiometer und Schalter vorgegeben. Da es im Verlauf eines Mixdowns erforderlich sein kann, beliebige Bedienelemente zu benutzen, müssen diese alle zugänglich sein. Da die Struktur des Mixers per Verdrahtung fest und die Kopplung von Bedienelement und Signalverarbeitungsbaustein, z.B. Drehknopf - Potentiometerschleifer, meist konstruktiv vorgegeben ist, kommt es fast zwangsläufig zum klassischen Aufbau, bei dem alle Bedien-

elemente des Pultes gleichzeitig zugänglich sind. Da die mechanischen Abmessungen aber trotzdem erträglich bleiben sollen, führt das meist zu einer dichtgedrängten, nur bedingt übersichtlichen Anordnung der Bedienelemente (siehe Bild unten).

Von der eigentlichen Bedienung her ist es gar nicht erforderlich, alle Bedienelemente gleichzeitig zur Verfügung zu haben. Es reicht im Prinzip aus, nur jeweils diejenigen an die Oberfläche zu holen, die wirklich benutzt werden.

Dieser Ansatz kann in dem Augenblick realisiert werden, in dem man eine separate Struktur zur Steuerung des Pultes zur Verfügung hat, also die Zuordnung der Bedienelemente zu den eigentlichen signalbeeinflussenden Bauelementen nicht mehr fest sein muß. Diese Möglichkeit besteht grundsätzlich auch bei digital gesteuerten Analogpulten, erfordert hier aber zusätzlichen Aufwand in Form beispielsweise von VCAs und VCFs, während beim rein digitalen Pult die nötigen Voraussetzungen von vornherein durch die Art der Signalverarbeitung gegeben wird.

Grundsätzlich ist man also bei der Gestaltung der Benutzeroberfläche zunächst völlig frei. In der Praxis muß man selbstverständlich die Bedürfnisse des Benutzers berücksichtigen. Dies geht bei verschiedenen Pultherstellern verschieden weit, wobei fast das ganze Spektrum von der getreuen Nachbildung eines ana-

logen Pultes bis zur kompletten Steuerung des Pultes über Bildschirm und Maus durchgespielt wird und die verschiedenen Vorstellungen, die man sich von Ergonomie zu eigen machen kann, widerspiegelt.

Die am ehesten von größeren Personengruppen akzeptierbare Lösung scheint nicht in einer völlig abstrakten Realisierung zu liegen, sondern besteht meist darin, die konventionelle Art der Bedienung im wesentlichen beizubehalten und nur die Anzahl der physikalisch vorhandenen Bedienelemente zu verringern, wobei nur die Fader als sehr häufig bediente Elemente eine Sonderstellung einnehmen. Eine typische Realisierung besteht also beispielsweise aus einem fast konventionell erscheinenden Pult, das lediglich durch eine sehr wenig dichte Bestückung mit Knöpfen auffällt. Es ist pro Kanal nach wie vor ein Fader vorhanden, die übrigen Bedienelemente sind jedoch auf eine Handvoll Bedienfelder reduziert.

In jedem solchen Bedienfeld finden sich eine Reihe von Drehknöpfen und Schaltern, sowie einige Anzeigefelder.

Um nun eine Einstellung eines Kanals zu verändern, wird dieser in geeigneter Weise ausgewählt und auf einem der Bedienfelder abgebildet. Das bedeutet, daß beispielsweise eine Reihe von vorher neutralen Drehknöpfen mit der Bedeutung 'parametrischer EQ' belegt werden und bei Bedienung entsprechende Klangveränderungen im Signal zur Folge haben. Durch geeignete Anzei-

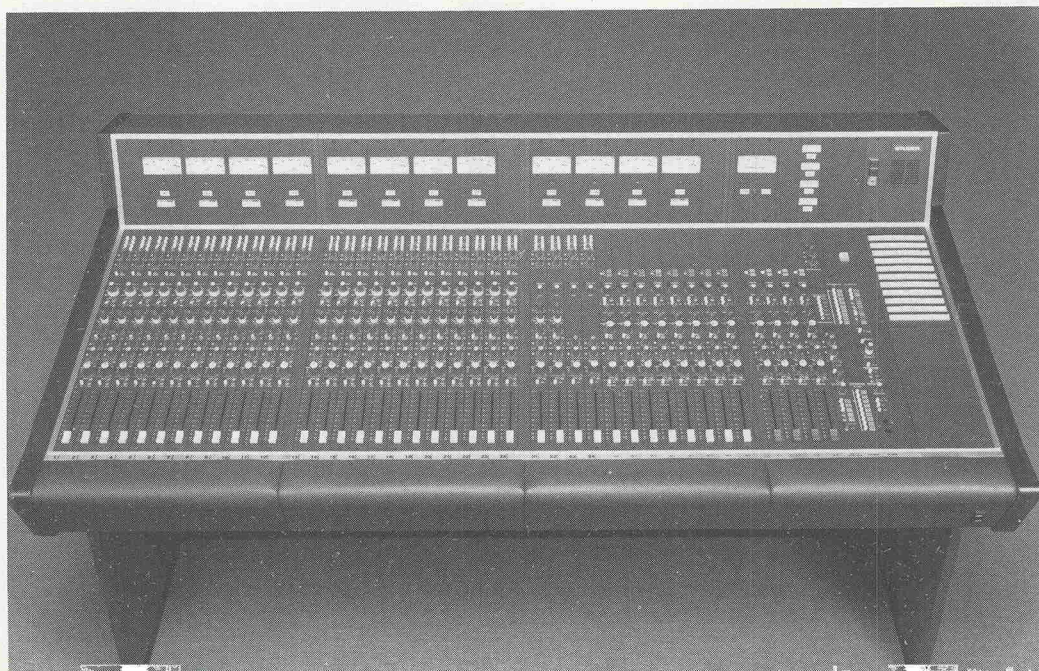
geelemente kann die momentane Bedeutung eines Bedienelementes sowie evtl. seine augenblickliche Stellung angezeigt werden. Wenn die Einstellungen in diesem Kanal nicht mehr verändert werden sollen, wird das Bedienfeld wieder freigegeben.

Eine solche Bedienstruktur ersetzt also die parallele Verfügbarkeit aller Bedienelemente durch einen wahlfreien Zugriff auf die jeweils benötigten. Daraus resultiert ein aufgeräumtes, übersichtliches Bedienfeld, aber auch der Zwang, bei jeder gewünschten Veränderung den jeweiligen Kanal vorher anzuwählen zu müssen.

Eine solche Benutzeroberfläche ist heutzutage übrigens weniger von digitalen Mischpulten, sondern vielmehr von digitalen Effektgeräten und Synthesizern bekannt.

Ein Kompromiß zwischen dem Quasi-Analog-Pult und dem eben beschriebenen besteht darin, die Anzahl gleichzeitig anwählbarer Kanäle zu erhöhen, so daß sich der Toningenieur einen gewünschten Arbeitsbereich, also möglicherweise 3-4 Kanäle, auswählen kann, der an der Benutzeroberfläche liegt und parallel manipuliert werden kann. Gleichzeitig dazu kann beispielsweise über Videomonitore eine Darstellung der Einstellung größerer Mischerbereiche oder des gesamten Mixers geliefert werden, damit der Toningenieur jederzeit Überblick über den Zustand des Pultes behält.

Ein Analogpult von Studer:
24 Kanäle mit 4 Subsummen.
Sehr deutlich wird hier der
gedrängte Aufbau der
Bedienelemente.



Die voll-digitale Ausführung eines Tomischpultes legt gleichzeitig eine weitere Anwendungsmöglichkeit nahe. Da der Zustand des Pultes im Prinzip durch einen Satz von Zahlen, z.B. Filterkoeffizienten, beschrieben wird, kann er auf einfache, ebenfalls digitale Weise problemlos abgespeichert und wieder reproduziert werden.

Diese Möglichkeit eröffnet speziell bei sehr großen Pulten neue Perspektiven. Selbst wenn nur ein Ist-Zustand quasi als Schnappschuß abgespeichert und wiederhergestellt werden kann, kann sich dadurch die Bedienung des Pultes ganz erheblich vereinfachen, da sich der Toningenieur nur noch mit den Abweichungen vom gespeicherten Setup und nicht um die komplette Neueinstellung kümmern muß. Dies gilt umso mehr, wenn der Zustand des Pultes dynamisch speicherbar ist, d.h. ein komplettes Zeitintervall mit allen darin stattfindenden Änderungen abgespeichert und reproduziert und womöglich auf einer nicht benutz-

ten Spur der Bandmaschine zusammen mit der Aufnahme archiviert werden kann. Bei einem anstehenden Remix muß nicht der gesamte zeitraubende Mischvorgang wiederholt werden, man kann sich auf kleine Änderungen beschränken.

Ein Pult-Setup in 10 Sekunden ist nur digital möglich

In diesem Fall entsteht allerdings das Problem, wie bei Abfahren eines gespeicherten Mischvorgangs die variable Stellung der Bedienelemente angezeigt werden kann, so daß jederzeit der Überblick über den Zustand des Pultes erhalten bleibt. Für diese Probleme gibt es im wesentlichen zwei Lösungen. Die eine besteht darin, sich völlig von der herkömmlichen Bedienoberfläche zu lösen und alle Bedienelemente zum Beispiel auf einen Bildschirm darzustellen. Dann muß aber die Bedienung des Pultes auf ungewohnte Weise

z.B. durch eine Rechnertastatur, eine Maus oder ähnliches erfolgen, was erhebliche Umgewöhnung erfordert. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit, zumindest scheinbar auf die gewohnten Bedienelemente nicht zu verzichten, wenn diese auch, wie oben erläutert, möglicherweise etwas verändert angeordnet sind. Es sind dann nach wie vor Drehknöpfe und Fader vorhanden, die aber nicht mehr notwendigerweise das Signal direkt beeinflussen, sondern lediglich digitale Zahlencodes liefern, die zur Steuerung des Pultes dienen.

Die Information des Bedieners über die Stellung des Einstellknopfes oder Faders muß dann allerdings über eine geeignete Form von Display oder wie gewohnt über dessen mechanische Stellung geliefert werden.

Bei dieser Auslegung der Bedienelemente hat es sich scheinbar durchgesetzt, Drehknöpfe, z.B. für den Kanal-EQ, mit einer LED-Skala bzw. einem Display zu versehen, während

Fader meist motorgesteuert an die gespeicherte Position gefahren werden. Auf dieser Grundlage sind beispielsweise von Penny & Giles Motorfader entwickelt worden, die innerhalb der Dauer eines Frames, also in 40 msec., motorisch über den vollen Stellweg bewegt werden können. Darüber hinaus verfügen diese Fader über Berührungssensoren, die der Pultelektronik mitteilen, wann der Bediener den Fader berührt und in die gespeicherte Sequenz eingreift.

Literatur

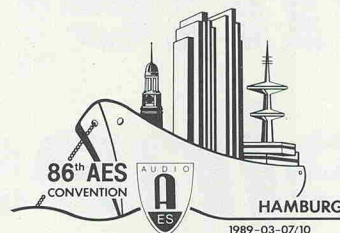
(1) Drillkens, Richard. Das digitale Tonmischpult — digitale Echtzeit-Verarbeitung im Hörkustudio — Probleme und Lösungsmöglichkeiten. In: Bericht der Tonmeister-tagung '86.

(2) Rodde, W. Entwicklung eines digitalen Mischpults in PCM-Technik. In: 'Fortschritte der Akustik — DAGA 86'

electro acoustic

Wir sind dabei:
Auf der Tagung der
Audio Engineering Society.
Vom 7.-10.3.'89. Congress Centrum.
Foyer Halle 1, 4. Stock, Stand D 1-94.

Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG · Postfach 610407 · 3000 Hannover 61



* Disco · Sounds *

Auszug aus unserem Lieferprogramm
„Alles für den Flightcase- und Boxenbau“

z.B. Kugelecken
Schwere Ausführung, Stahl, verzinkt 2,50 DM
Mittl. Ausführung aus 1,2 mm Stahl 1,70 DM
Leichte Ausführung aus 0,8 mm Stahl 1,10 DM
sowie weitere 9 Ausführungen (Katalog S. 69f)

z.B. Aluminium-Profil
zum Schutz von Gehäusekanten (2-m-Stücke)
Leichte Ausführung 20 x 20 x 1,2 mm, Preis pro m: 3,30 DM
Mittl. Ausführung 30 x 30 x 1,5 mm, Preis pro m: 4,50 DM
sowie Schließprofile, Rackschienen (Katalog Seite 68)

z.B. Lautsprecher-Schutzgitter
für professionelle Anwendungen, aus gestanztem Stahlblech, schwarze Einbrennlackierung, gummielast. 6 Größen:
5" — 10,80 DM 12" — 16,70 DM
8" — 12,90 DM 15" — 18,50 DM
10" — 13,50 DM 18" — 26,80 DM
Lautsprecher-Klammer aus Kunststoff, glasfaserverstärkt, Stück 1,20 DM

z.B. Lautsprecher-Chassis
von FANE, EV, Thorolf etc.
FANE Studio 5M 97,— DM
FANE Studio 8M 128,— DM
FANE Studio 10M 215,— DM
FANE Studio 12B 248,— DM
FANE Studio 15B 339,— DM
FANE Colossus 24 BASS 845,— DM
(Alle technischen Daten im Katalog ab Seite 59 gelistet!)

* Disco · Lights *

Stabiler Scheinwerfer für Disco und Bühne, mit Splitterschutzgitter und Farbfilterrahmen, Gewicht: ca. 1,3 kg, Gehäuse schwarz, Stück 55,— DM
Passende Lampe: PAR 56, 220V-300W, Spot, Stück 48,— DM
Bei Kartonabnahme (= 6 Stück) nur 44,— DM

*** 4-Kanal-Steuergerät MULTIPHASE 412 ***

Professionelles Lichtsteuergerät mit Lauflicht- (9 Programme) und frequenzselektiver Lichtorgelfunktion. Jeder Kanal kann einzeln auf „Dauerlicht“ geschaltet werden. Sowohl für ohmsche als auch induktive Lasten (z.B. Punktstrahler) geeignet. Max. Anschlußwert pro Kanal: 1000 Watt bzw. 750 Watt (induktiv). Ausgang über 8-pol. Bulgin-Buchse. Genaue Beschreibung in unserem Katalog auf Seite 51!

588,— DM

Zubehör:
19" Einbaurahmen mit Griffen, Bef.-Material 65,— DM
Multicore-Anschlußkabel, 10 m, Bulgin-Stecker auf 4-fach-Schukoverteilerleiste 105,— DM
dito, jedoch 15-m-Kabel 120,— DM
Bulgin-Verteiler (2 Bulgin-Buchsen) 70,— DM

* Disco · Effects *

Nebelmaschinen

Gamma Fog MK III
Kompakte, aber äußerst leistungsfähige Nebelmaschine mit ca. 300 cbm Nebelausstoß pro Minute bei niedrigem Verbrauch (ca. 80 ml pro Minute bei Verwendung von Nebelfluid B3). Für Dauerbetrieb ausgelegt. Fernbedienung im Lieferumfang enthalten! Näheres zu dieser Maschine finden Sie in unserem Katalog 88/89 auf Seite 40!

988,— DM

Gamma Master Fog
Nebelmaschine für den Großeinsatz! Nebelausstoß: ca. 1000 cbm pro Minute, große Nebelausstoßweite, Anschluß an 220 V, genaueste Temperaturregelung, elektronischer und mechanischer Schutz gegen Übertemperatur und Überlast, Nebelfluid wird per Schlauch direkt aus dem Cubitainer angesaugt. Fernbedienung mit regelbarer Nebelleistung im Lieferumfang enthalten!

1699,— DM

Nebelfluid B2 (normal auflösend) im 5-l-Cubitainer 68,— DM
Nebelfluid B3 (Longlife, beste Qualität) im 5-l-Cubitainer 95,— DM
Weitere Spezialeffekte in unserem Katalog 88/89 auf den Seiten 39 bis 43, z.B.:
Seifenblasenmaschine SP1 197,— DM
Konfetti-Maschine 429,— DM

Falls Sie ihn noch nicht besitzen, sollten Sie ihn umgehend gegen Einsendung von 5,— DM Schutzgebühr (Briefmarken, Scheck, Schein)* anfordern: den **LLV-Katalog 88/89** mit 112 Seiten Umfang, herstellerunabhängig zusammengestellt, Preise eingedruckt.
Mindestauftragswert: Inland 40,— / Ausland 100,— DM.

* Interessenten aus dem Ausland legen der Kataloganforderung bitte Coupons des Weltpostvereins bei!

LLV

Lautsprecher & Lichtanlagen — Versandhandel
Grimm-Boss GbR
Eifelstr. 6 · 5216 Niederkassel 5
Telefon 02 28/45 40 58

Digitale Tonmischpulte sind längst über das Prototypenstadium hinaus und werden nicht mehr nur in der einschlägigen Fachpresse theoretisch abgehandelt, sondern gehören in Kombination mit digitalen Bandmaschinen und anderen digitalen Signalverarbeitungs- und Speichermöglichkeiten für viele Studios bereits zum Alltag.

Nichtdestotrotz gehört die rein digitale Erstellung einer Produktion immer noch insofern zu den Ausnahmen, als daß der Aufbau eines digitalen Tonstudios nach wie vor mit einem erheblichen finanziellen Aufwand verbunden ist, will man möglichst vollständigen Zugriff auf die bekannten Arbeitstechniken beibehalten, insbesondere was Schnitttechniken angeht.



Integration eines digitalen Mischpults

in den Studiobetrieb am Beispiel des Yamaha DMP-7

In eingeschränktem Maß steht die Möglichkeit der Produktion digitaler Tonträger auch den kleineren und somit weniger finanzkräftigen Studios offen, zumindest was die digitale Aufzeichnung des Materials mit Hilfe von PCM-Kodierern und Videorekordern angeht.

Ungefähr seit der Tonmeister-tagung 1986 in München zeichnet sich jedoch auch die Möglichkeit ab, den restlichen Signalverarbeitungsweg bei Bedarf auf rein digitaler Ebene zu realisieren. Gemeint ist damit

die Vorstellung des 8-Kanal-Digitalmischers DPM-7 des Herstellers Yamaha, der sicherlich nur die Spitze des Eisbergs der zu erwartenden Entwicklung darstellt.

Neben dem erzielten Überraschungseffekt, den die Markteinführung dieses Gerätes vor allen Dingen für die Anbieter auf VCA-Basis arbeitender Faderautomatisierungssysteme mit sich gebracht hat, muß allerdings die Frage gestellt werden, für welche Zielgruppe dieser Mischer konzipiert worden ist.

Zur Beantwortung dieser Frage bietet sich zunächst eine genauere Betrachtung des Gerätes an.

Von der Grobstruktur her handelt es sich zunächst einmal um einen '8 auf 2'-Mischer in voll-digitaler(!) Ausführung, also nicht um einen digital, z.B. per VCAs und VCFs gesteuerten Analogmischer. Eine Beschreibung des prinzipiellen Aufbaus solcher Mischer findet sich in einem anderen Artikel, daher soll an dieser Stelle nur vermerkt werden, daß bei der Konstruktion des Gerätes trotz

seines überraschend niedrigen Preises offensichtlich keine Abstriche gemacht wurden, was seine Audio-Eigenschaften angeht. Die A/D- bzw. D/A-Wandler arbeiten mit einer Auflösung von 16 bit; eine meßtechnische Überprüfung zeigt keine Auffälligkeiten, was das Rauschverhalten oder die Übertragungseigenschaften angeht. Lediglich der Phasengang läßt erkennen, daß es sich offensichtlich um ein digital arbeitendes Gerät handelt, da hier die vom Anti-Aliasing-Filter erzeugte Phasenverschiebung am oberen Ende des Übertragungsbereiches zu erkennen ist. Die dadurch erzeugten Gruppenlaufzeiten liegen jedoch in einem — speziell für den Frequenzbereich, in dem sie auftreten — ohne weiteres tolerierbaren Bereich.

Klugerweise wurde darüber hinaus auf den Einbau von Mi-

electro-acoustic

krofonvorstufen in das Mischergehäuse verzichtet; das Pult arbeitet also auf Line-Level. Dies ist insofern ein kluger Schachzug, als Digitalschaltungen auf relativ haarsträubende Weise auf die Qualität der Spannungsversorgung einwirken und zudem, dank der hohen internen Taktfrequenzen, auch bis in den Radiofrequenzbereich mit Vorsicht zu genießen sind. Daher wird bei Hybrid-, also kombinierten Analog- und Digitalschaltungen, selbst auf Line-Level gewöhnlich zumindest mit getrennten Stromversorgungen für den digitalen und analogen Schaltungsteil (siehe CD-Player!!) gearbeitet. Intelligenter ist es jedoch, die stömpfindliche Analogelektronik nach Möglichkeit ganz auszulassen.

● Ist die Mischerstruktur und das Routing für den gewünschten Einsatz geeignet?

● Sind die Klangbeeinflussungsmöglichkeiten ausreichend?

● Ist die Bedienung übersichtlich und nicht verwirrend?

Bild 1 zeigt das Blockschaltbild des DMP-7. Vom Routing her ist das Pult zunächst ein normaler '8 auf 2'-Mischer; die Möglichkeit, die Eingangskanäle in Subgruppen zusammenzufassen, besteht nicht. Heruntergemischt wird auf zwei Stereosummenkanäle, darüber hinaus gibt es drei Effekt-Sends, von denen nur einer analog aus dem Pult herausgeführt ist. Für die

sen externen Effektweg gibt es entsprechend einen analogen Stereo-Return.

Zusätzlich zu dem externen Effektweg gibt es drei interne Effektwege auf der digitalen Ebene (!); das DMP-7 ist also kein reines Mischpult, sondern kann zum Teil die Funktionen der Effektgeräte mit übernehmen.

Bild 2 zeigt das Blockschaltbild eines Eingangskanals. Der Eingang ist, wie schon angemerkt, hochpegelig, eine Mikrofonvorstufe muß aus Gründen der Unterdrückung von Nebengeräuschen durch die Stromversorgung des digitalen Teils extern vorgeschaltet werden. Dem Gain-Steller ist direkt der A/D-Wandler mit Anti-Aliasing-Tiefpaß nachgeschaltet, die weitere Signalverarbeitung findet auf der digitalen Ebene

statt. Neben dieser Tatsache zeigt zumindest das Blockschaltbild nichts Ungewohntes. Nach dem Wandler folgt ein abschaltbarer Klangsteller in Form einer voll parametrischen Dreiband-Equalisation, die recht komplexe Klangbeeinflussungen ermöglicht und auch einem größeren Pult als dem DMP-7 angemessen wäre.

Auf den EQ folgt ein Stumm-Schalter (Channel Mute) sowie ein Polaritätsinverter (Phase reverse), der sich bei Aufnahmen mit mehreren Mikrofonen als nützlich erweisen kann. Für jeden Eingangskanal existieren darüber hinaus die notwendigen Channel-Pans und -Fader, dazu die Möglichkeit, die Effektwege zwischen pre-fade und post-fade umzuschalten.

Auf der Stereosumme liegt neben den acht Eingangskanälen ein mit 'Digital Cascade In' bezeichneter digitaler Eingang, mit dem es möglich ist, mehrere Pulte auf der digitalen Ebene zu kaskadieren. An diesem Digitaleingang liegt das digitale Stereosummensignal eines weiteren DMP-7 an und wird ohne weitere Signalverarbeitung der

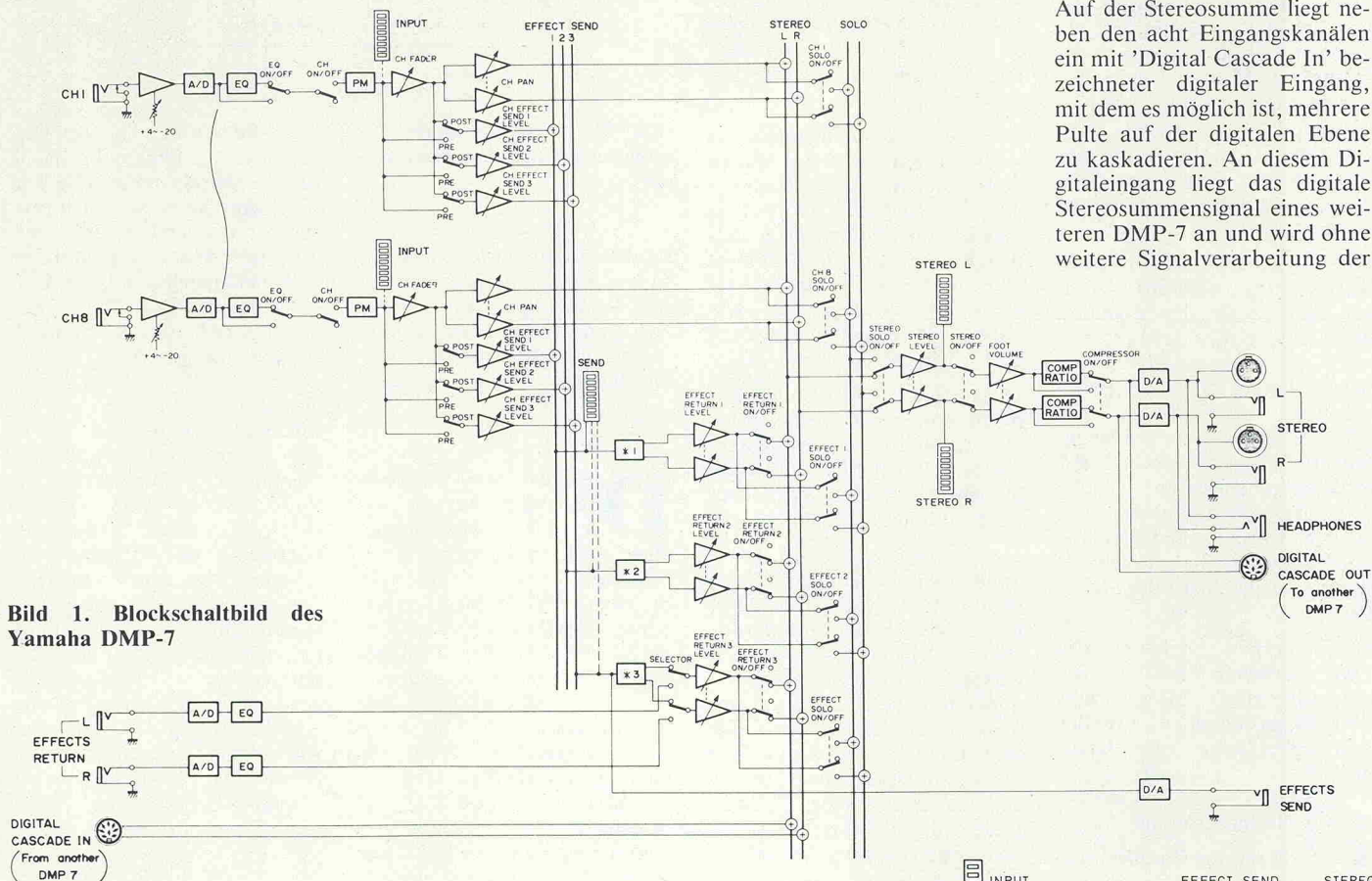


Bild 1. Blockschaltbild des Yamaha DMP-7

Da also von seiten der Audioeigenschaften keine Bedenken gegen den Einsatz des Pultes bestehen, entscheidet sich seine Verwendbarkeit an ähnlichen Kriterien wie bei herkömmlichen Analogpulten:

● Entspricht die Anzahl der Ein- und Ausgangskanäle den Anforderungen?

electro-acoustic

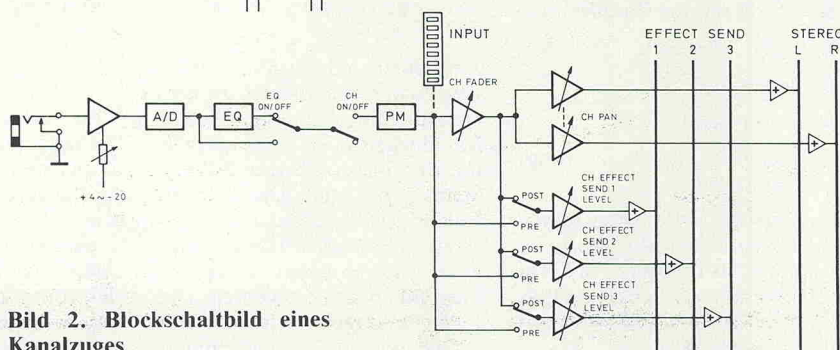


Bild 2. Blockschaltbild eines Kanalzuges

Stereosumme hinzugefügt. Entsprechend findet sich kurz vor den D/A-Wandlern der Stereosumme ein digitaler Ausgang ('Digital Cascade Out'), der auf die Stereosumme des nächsten DMP-7 gelegt wird. Auf diese Weise können, wie in Bild 3 gezeigt, bis zu 4 DMP-7 kaskadiert und so die Anzahl der Eingangskanäle auf insgesamt 24 erhöht werden. Da aber auch bei mehreren Pulten immer auf eine Master-Stereosumme heruntergemischt wird, ist auch bei mehreren Pulten auf rein digitaler Ebene keine Subgruppenbildung möglich.

Im Stereosummenzug befinden sich neben den Summenfadern vor dem Digitalausgang und den A/D-Wandlern abschaltbare digitale Kompressoren, die es erlauben, den Dynamikbereich des Programmaterials vor der Aufzeichnung zu begrenzen, falls dies z.B. durch die Natur des Mediums erforderlich sein sollte. Man denke hier beispielsweise an Video- oder Filmtone. Die Arbeitsweise des Kompressors kann dem Diagramm in Bild 4 entnommen werden.

Falls das DMP-7 nicht in einer Kaskade liegt, wird das Stereosummensignal digital-analog gewandelt, tiefpaßgefiltert und steht als analoges Signal zur Aufzeichnung oder Weiterverarbeitung zur Verfügung. Seit 1988 ist jedoch auch eine 'abgemagerte' Version des DMP 7 erhältlich, bei der auf jegliche A-D- bzw. D-A-Wandler verzichtet wurde; Signaleingabe und Signalausgabe erfolgen also ausschließlich auf der digitalen Ebene.

Die internen Effekte des DMP-7 arbeiten ähnlich wie die des digitalen Effektgerätes SPX-90, es stehen auf zwei der drei Effektwege zur Verfügung:

- vier Hallprogramme
- Gate & reverse Gate Reverb
- Early reflections
- Delay
- Stereo Echo
- Flange, Chorus, Phasing, Tremolo

Beim dritten Effektweg fehlen im wesentlichen die Hallprogramme, dafür findet sich ein voll parametrischer (!) Drei-band-EQ für den externen, analogen Effektweg.

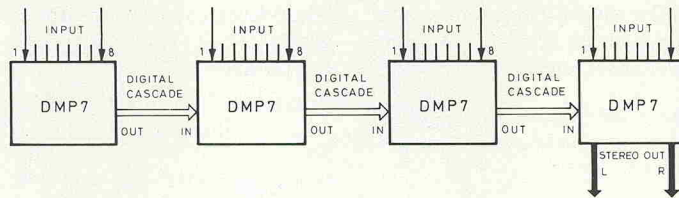


Bild 3. Kaskadierung mehrerer DMP-7 auf der digitalen Ebene

Obwohl die Signalbearbeitungsmöglichkeiten des Pultes extrem vielfältig sind (man denke nur an die integrierten Effekte) macht die Bedienfläche einen ausgesprochen aufgeräumten Eindruck, wie er vielen Digitalmischpulten eigen ist (Bild 5).

Drehknöpfe und Schalter sucht man vergeblich, es gibt lediglich eine Reihe von Tipptasten, wie sie auch von modernen digitalen Effektgeräten bekannt sind, LED- und LCD-Anzeigefelder sowie elf motorgetriebene Fader, deren Position also auch automatisch verändert werden kann (Bild 5a).

An für jeden Eingangskanal vorhandenen Bedienelementen gibt es nur die GAIN-Trimmer auf der Rückseite des Pultes, den Channel Mute-Taster und den Kanalfader. Dazu kommt eine mit 'SELECT' beschriftete Taste, mit der der jeweilige Kanal auf das eigentliche Bedienfeld gelegt werden kann.

Dieses Bedienfeld ist allen Kanälen gemeinsam, hier werden alle Einstellungen des Mischpultes, z.B. der EQs und Effekte sowie anderer Parameter vorgenommen.

Die Vorgehensweise ist dabei ähnlich wie bei einigen Effektgeräten und Synthesizern. Zunächst wird der zu verändernde Parameter mit einer entsprechenden Tastenkombination angewählt und erscheint auf dem beleuchteten Display des Bedienfeldes. Anschließend kann wahlweise mit Hilfe von Tipptasten oder eines (Werte-) Faders der Wert des Parameters in gewünschter Weise verändert werden.

Zusätzlich sind die Kanalfelder jeweils mit vier Ebenen belegt, einmal mit dem eigentlichen Kanalpegelsteller, zusätzlich mit den insgesamt drei Effekt-Sends pro Kanal. Die aktuelle Ebene wird per LEDs angezeigt, eine andere Ebene kann mit Tasten auf dem Hauptbedienfeld angewählt werden. Die Faderstellungen werden entsprechend der angewählten

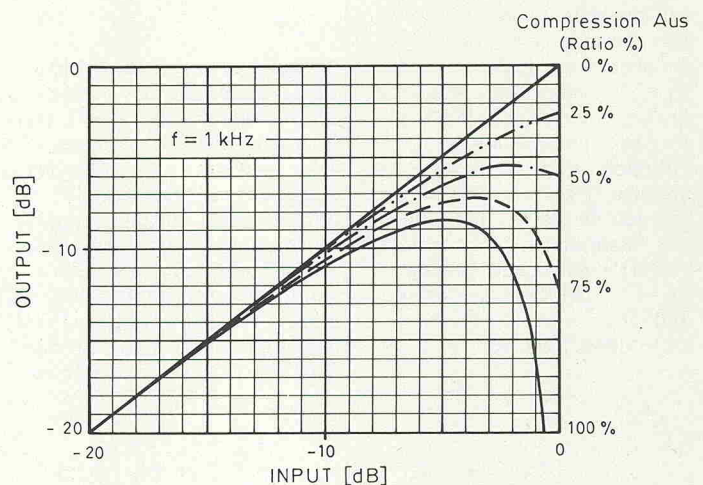


Bild 4. Arbeitskennlinie des integrierten digitalen Kompressors

Funktion automatisch servogesteuert eingestellt. Mit der Taste 'Fader-Flip' kann jeweils zwischen der Funktion 'Kanalfader' und 'Effekt-Send' hin- und hergeschaltet werden.

Zum anderen ist es bei der vorliegenden Bedienoberfläche von vornherein notwendig und bei einem Digitalpult auch problemlos realisierbar, alle Pultparameter digital zu steuern. Es ist daher naheliegend, die Einstellwerte des Pultes nicht nur direkt zu benutzen, sondern auch abzuspeichern.

Das DMP-7 ist insofern ein besonders gutes Beispiel, als es dem Benutzer erlaubt, alle insgesamt 205 Parameter, die die Pulteinstellung (sog. 'scene') mit Ausnahme der Stellung der GAIN-Trimmer vollständig beschreiben, in einem internen Speicher abzulegen. Insgesamt stehen dem Benutzer in dem internen Speicher 30 Plätze für jeweils eine vollständige Pulteinstellung zur Verfügung. Mit einer externen RAM-Cartridge, wie sie von Synthesizern bereits bekannt ist, kann die Anzahl der Speicherplätze auf insgesamt 97 erhöht werden.

Mit Hilfe dieser wiederbeschreibbaren RAM-Cartridge besteht also die Möglichkeit, ein Archiv von Pult- und insbesondere EQ-Einstellungen einzurichten.

Diese Art der Mischpultbedienung hat im wesentlichen zwei Vorteile, aber auch mindestens einen Nachteil: Zum einen entsteht bei einem konventionell aufgebauten Mischpult ein Großteil der Kosten neben der Mechanik durch die immense Anzahl von Tastern, Schaltern, Potis und Fadern. Da die Qualität dieser Bauelemente fast direkt die Qualität des Mischers als Ganzes beeinflusst, muß hier auf höchste Qualität geachtet werden. Demgegenüber fallen die Kosten der aktiven Bauelemente wie Operationsverstärker kaum noch ins Gewicht.

Wird durch die Einführung der Digitaltechnik und der oben beschriebenen Bedienungsweise der größte Teil der mechanisch/elektrischen Bauelemente eingespart, so kann bei gleichem finanziellen Aufwand ein elektronisch sehr viel anspruchsvollerer Mischer hergestellt werden.

Der Nachteil der oben beschriebenen Auslegung der Bedienelemente ist, daß die Bedienung, ähnlich wie bei einigen Effektgeräten, zwar aufgeräumt erscheint, zumindest zu Anfang recht umständlich und

gewöhnungsbedürftig, nicht zuletzt aber in jedem Fall zeitraubend ist. Es wäre deshalb erfreulich, wenn mehr als ein Bedienfeld für alle Kanäle vorhanden wäre und die Bedienelemente nicht fast ausschließlich auf Tipptasten reduziert würden. Mehr Komfort in dieser Hinsicht würde sich jedoch aus den bereits erwähnten Gründen zwangsläufig in einem merklich erhöhten Preis äußern. Dann wäre allerdings einer der wichtigsten Pluspunkte des Pultes hinfällig: der überraschend günstige Preis. Die etwas spartanisch anmutende Bedienbarkeit des Pultes ist daher verzeihlich, zumal dieser Nachteil in Verbindung mit einem Rechner weniger ins Gewicht fällt.

Zusätzlich zur internen Speicherbank für die Mischpultparameter verfügt das DMP-7 über eine MIDI-Schnittstelle, über die sämtliche Pulteinstellungen auch an andere Geräte, insbesondere Computer übermittelt werden können. Umgekehrt kann jeder Parameter nicht nur über das interne Bedienfeld, sondern auch über eine geeignete Befehlskombination über die MIDI-Schnittstelle verändert werden.

Wird das Mischpult beispielsweise in einem Studio eingesetzt, das ohnehin bereits mit computergesteuerten MIDI-Geräten arbeitet, so ist es naheliegend, die Archivierung der Setups extern im Steuerrechner vorzunehmen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, das DMP-7 mit einem normalen MIDI-Sequencer zu betreiben; da solche Programme allerdings mehr auf Synthesizer zugeschnitten sind, kann man die Möglichkeiten des Pultes nur mit spezieller Software vollständig nutzen.

Für welche Anwendungen muß ein solch spezielles Programm oder Gerät zugeschnitten sein? Dies führt auf die Frage zurück, wer ein solches Digitalpult überhaupt einsetzen wird. Als Livemischer ist das DMP-7 sicherlich nur bedingt geeignet, obwohl bei Kaskadierung von vier Pulten insgesamt 24 Kanäle zur Verfügung stehen würden. Dagegen sprechen die etwas gewöhnungsbedürftige Bedienung und die mechanische Ausführung des Pultes. Im Livebetrieb muß nicht nur schnell in die Soundgestaltung eingegriffen werden können, das Pult muß auch auf einer längeren Tour die häufigen und mitunter unsanften Transporte ohne Schaden überstehen. Das DMP-7 scheint von seiner Konstruktion her eher für den Studiobetrieb geeignet zu sein. Um ein herkömmliches Analogpult beispielsweise in einem 16-Spur-Studio zu ersetzen, fehlt dem DMP-7 allerdings die Möglichkeit, mit Subgruppen arbeiten zu können, während es für ein 8-Spur-Studio bzw. Multitracking-Anwendungen den finanziellen Rahmen zu sprengen beginnt. Es liegt daher nahe zu vermuten, daß

dieses Pult nicht als vollständiger Ersatz für ein konventionelles Pult eingesetzt werden wird. Es wird vielmehr dort zum Einsatz kommen, wo seine besonderen Fähigkeiten zum Tragen kommen können. Es sind dies zum einen die voll digitale Arbeitsweise; es besteht also die Möglichkeit, bis zum digitalen Master zu relativ günstigen Konditionen eine komplett digitale Signalverarbeitung und -speicherung zu realisieren.

Für diese Anwendung gibt es (wie schon erwähnt) eine rein digitale Version, das DMP-7d. In diesem Pult befinden sich keine A/D- bzw. D/A-Wandler mehr, man kann mit Hilfe eines Formatkonverters digitale Audio-Daten direkt von einer digitalen Mehrspurmaschine, so man hat, auf einen digitalen Stereo-Master, beispielsweise im CD-Format, heruntermischen.

Auf der anderen Seite wird sicher die Möglichkeit der vollen Fernsteuerbarkeit des Mixers ohne preisbedingte klangliche Abstriche im Vordergrund stehen, z.B. beim Einsatz als Submischer in Studios, die auf der Basis einer zentralen MIDI-Steuerung von Synthesizern

und anderem Studioequipment arbeiten und auch den Mischer in dieses Konzept einbinden wollen.

Eine Anwendung, für den das DMP-7 geradezu geschaffen zu sein scheint, ist der Einsatz im professionellen Videostudio. Im weiteren Text soll auf diese spezielle Anwendung sowie die Hard- und Software die dabei zum Einsatz kommt, ausführlicher eingegangen werden.

Aufgrund seiner vollständig digitalen Kontrollierbarkeit scheint das DMP-7 von Yamaha besonders auf den Einsatz in Studios zugeschnitten zu sein, die ohnehin mit Automatisierungstechniken arbeiten. Dazu zählen zum einen eine ganze Reihe von Studios, die sich auf MIDI-Basis vor allen Dingen mit Synthesizern und anderen elektronischen Musikinstrumenten beschäftigen, zum anderen aber die Vielzahl von Studios, die Video- und Filmtönen produzieren. Hier ist es in der Regel erforderlich, den Filmtönen — wenn nicht gerade framegenau — so doch wenigstens lippen synchron zu produzieren; für die Filmmusik gilt hier ähnliches.

Speziell Videostudios arbeiten aus schnittechnischen Gründen in der Regel mit einer SMPTE-Timecode-Synchronisation aller Geräte, der Einsatz eines vollautomatisierten und synchronisierbaren Mischpultes für die Tonproduktion drängt sich daher geradezu auf.

Das DMP-7 allein ist ohne zusätzliche Hilfsmittel allerdings nicht in der Lage, alle Anforderungen, speziell was die Synchronisierbarkeit angeht, zu erfüllen. Von Steinberg ist ein Softwarepaket für den Atari ST entwickelt worden, das mit Hilfe eines zusätzlichen SMPTE-Timecode-Synchronizers eine volle SMPTE-Synchronisierbarkeit ermöglicht. Diese Software kommt im Studio Eichhorn in Bochum zusammen mit dem DMP-7 bei der Produktion von Videofilmen zum Einsatz (übrigens als einem der ersten Studios in der Bundesrepublik!). Wie das DMP-7 in die bestehende Studioelektronik und -software integriert wurde, soll im folgenden zusammen mit dem Aufbau des Videostudios ausführlicher beschrieben werden.

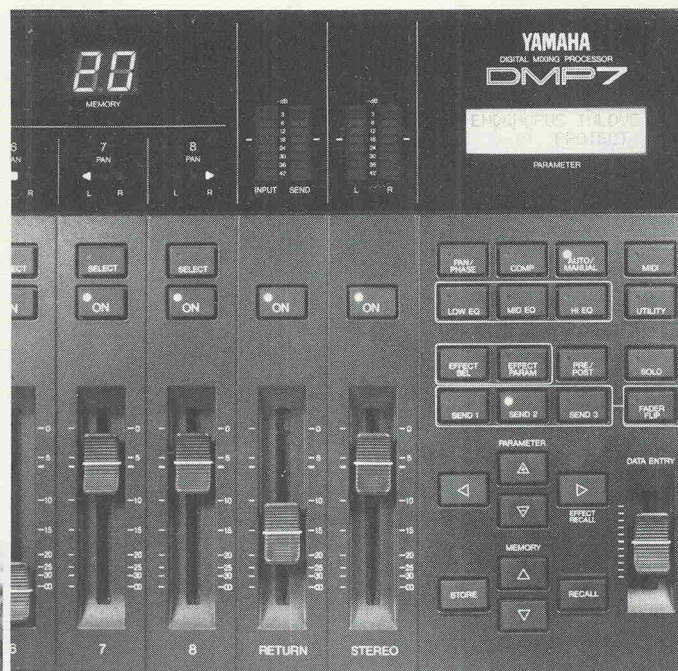


Bild 5. Bedienpanel des DMP-7

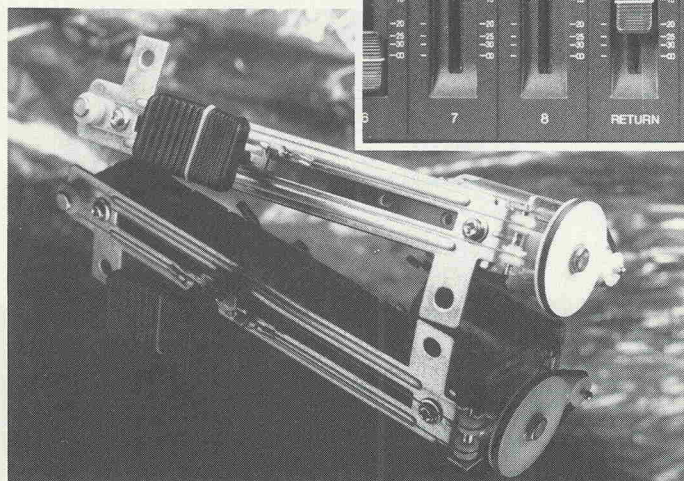


Bild 5a. Die Auto-Fader im DMP-7 werden über Rollen, Seil, Keilriemen und Motor angetrieben

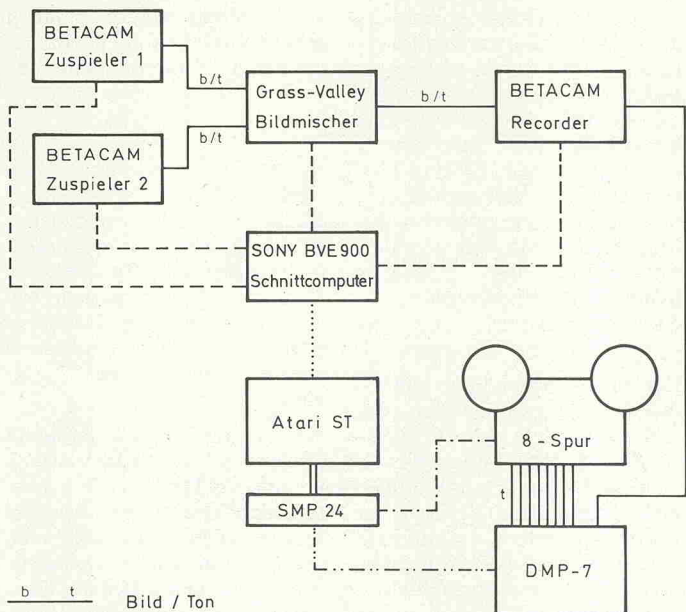


Bild 6. Aufbau der Bild- und Tonbearbeitung im Studio Eichhorn

Da der wesentliche Arbeitsgang in einem Videostudio zunächst das elektronische Zusammenschneiden des Bildmaterials ist, müssen in praktisch allen Videostudios die hierfür notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden; sie sind daher in ihrer Grundstruktur ähnlich und unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die verwendeten Geräte, die Videonorm und andere Details. Im Studio Eichhorn wird mit dem Betacam System von Sony gearbeitet. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung des U-Matic-Systems auf der Basis eines 1/2"-Videobandes, das aber eine dem 1"-Format vergleichbare Bildqualität liefert.

Neben dem Videosignal können auf dem Band zwei Tonspuren gespeichert werden, wobei ein Dolby C für die Erhöhung der Qualität der Aufzeichnung zur Verfügung steht.

Beim Aufzeichnen werden die einzelnen Takes gewöhnlich hintereinander — nicht notwendigerweise in der richtigen Reihenfolge —

zusammen mit dem zweikanaligen O-Ton aufgezeichnet und auf einem elektronischen Schnittplatz weiterverarbeitet. Falls sich Takes, zwischen denen später überblendet werden soll, gemeinsam auf einem Band befinden, muß zuvor eine Kopie gezogen werden, da jeweils zwischen den beiden Zuspielmaschinen überblendet wird.

Im Studio Eichhorn wird für die Nachbearbeitung von Bild und Ton der in Bild 6 dargestellte Aufbau verwendet. Die beiden Bänder mit dem gedrehten Rohmaterial befinden sich beim Schneiden in den beiden Zuspielern (Bild 7), Betacam-Playern, die das Band nur abspielen, aber kein Videosignal aufzeichnen können.

Zentrale der eigentlichen Schneideeinrichtung ist ein Grass-Valley-Komponenten-Bildmischer (Bild 8), der die von den Zuspielern gelieferten Videosignale in fast beliebiger Weise mischen oder auf verschiedene Arten, z.B. Hard-

cuts, Wipes etc., überblenden kann. Das Überblenden kann manuell gesteuert oder automatisch vom Bildmischer durchgeführt werden, wobei z.B. die Dauer der Überblendung in Frames, also Einzelbildern vor-gebar ist.

Mit dem Bildmischer ist es zusätzlich möglich, eine Reihe von Effekten zu erzeugen, z.B. einen variabel gestaltbaren Rahmen in dem von einem Zuspieler erzeugten Bild zu erzeugen, in den das Bild vom anderen Zuspieler eingeblendet wird. Nicht zuletzt verfügt der Bildmischer über eine 'Chroma-Key' oder 'blue-box' genannte Einrichtung, die besonders beim Fernsehen häufig Verwendung findet. Mit ihr ist es möglich, eine bestimmte, wählbare Farbe in einem Videobild durch ein Bild aus einer anderen Quelle, z.B. von einem der Zuspieler zu ersetzen. Die blue-box kann z.B. dazu eingesetzt werden, Computergraphiken in einen normalen Videofilm einzublenzen. Dazu wird vom Computer die einzublenzende Graphik vor einem einfarbigen, normalerweise blauen, Hintergrund erzeugt. Der blaue Hintergrund wird anschließend im Mischer durch das Videobild ersetzt, in das die Graphik eingestanzt werden soll. Dieses Verfahren kann natürlich nicht nur bei Computergraphiken eingesetzt werden, funktioniert dort aber besonders gut, da hier die Farben besonders rein und gut definiert sind.

Bild 7. BETACAM-Bandmaschinen; unten: Rekorder, oben: Zuspieler



Bild 8. Bedienfeld des Bildmischplatzes; vorn: SONY BVE 900 Schnittcomputer, hinten: Grass Valley Komponenten Bildmischer



Das vom Bildmischer gelieferte, auf die oben beschriebene Weise bearbeitete Videosignal wird anschließend von einem Betacam-Recorder (Bild 7) aufgezeichnet.

Ein Bildmischer allein reicht für den Aufbau eines Videoschnittplatzes allerdings nicht aus, da man es ja nicht mit statischen Bildern zu tun hat. Bei einem Bildschnitt soll an einer bestimmten Stelle der Sequenz, aus der ausgeblendet werden soll, auf eine wiederum bestimmte Stelle der Sequenz, die vom anderen Zusprieler geliefert wird, übergeblendet werden. Zum Zeitpunkt der Überblendung bzw. des Cuts müssen also beide Zusprieler bild- bzw. framesynchron an die Stelle gefahren werden, an der der Schnitt erfolgen soll, wie dies in Bild 9 dargestellt ist. Da normale Bandzählwerke und auch die Laufwerke selbst sicher nicht in der Lage sind, das Band auf 1/25-Sekunde genau zu positionieren und schon gar nicht zwei völlig unabhängige Laufwerke so präzise zu synchronisieren, daß sie bildgenau zusammenarbeiten, muß die Synchronisation von außen gesteuert werden.

schwankungen des Laufwerks nichts an der Genauigkeit der Zeitinformation. Um nun aber eine framegenau aufeinander angepaßte Wiedergabe von zwei Bandmaschinen zu erreichen, müssen beide Geräte in der Lage sein, Timecode-Informationen von außen zu empfangen und die Bandbewegung so zu regeln, daß der von dem Band gelesene Timecode von von außen vorgegebenen Timecode-Position entspricht. Es ist für die Durchführung einer elektronischen Überblendung aber zusätzlich zu fordern, daß die beiden Zusprielermaschinen, zwischen denen übergeblendet werden soll, zum gleichen Zeitpunkt beginnen, ein neues Bild

korder, der ja ebenfalls framegenau synchronisiert werden muß — speziell für den Fall, daß ein Schnitt nachträglich geändert wird — er ist auch mit dem Bildmischer verbunden, dem er Informationen über die Art des Schnittes bzw. der Überblendung übermitteln kann.

Bei einem Schnitt werden nun beide Zusprieler einige Sekunden vor der eigentlichen Schnittstelle positioniert, um den Laufwerken genügend Zeit zum Hochlaufen und Synchronisieren anhand des vom Schnittcomputer gelieferten Timecodes zu lassen. Beim Erreichen der Timecode-Position,

Rechner abzuspeichern, so daß man beispielsweise bei Verlust des fertig geschnittenen Masters in der Lage ist, den Schnitt genau zu reproduzieren, bzw. auf Wunsch des Kunden nachträglich Änderungen vorzunehmen. Zur Speicherung des Schnittplanes kann ein beliebiger Rechner benutzt werden, der über eine RS-232-Schnittstelle verfügt.

Im Studio Eichhorn wird ein Atari ST Computer eingesetzt, der neben der Speicherung des Bildschnittplanes auch die Steuerung der Tonbearbeitung übernimmt. Die Art der Tonbearbeitung hängt stark von dem zu erstellenden Videofilm ab. Gewöhnlich wird der beim Drehen mit aufgezeichnete O-Ton mit Musik unterlegt und Effekte wie z.B. Hall hinzugefügt. Bei musikalisch/akustisch/klang-orientierten Produktionen wie z.B. dem am 19. April 1988 ausgestrahlten Videomusical 'Krieg der Töne', das von Thomas Eichhorn zusammen mit dem Ex-CAN-Bassisten Holger Czukay produziert

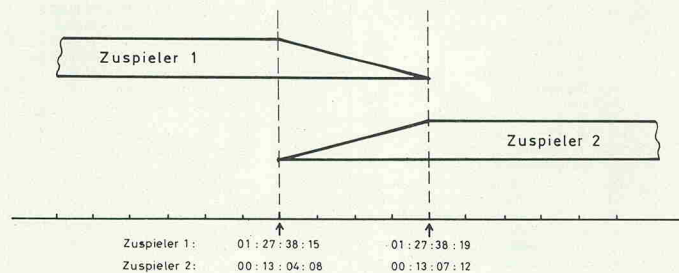


Bild 9. Positionierung der beiden Zusprieler für eine Überblendung

zu schreiben. Erst dann können die beiden Bildsignale problemlos im Bildmischer gemischt werden. Dies ist aber selbst durch eine aufwendige Laufwerksteuerung allein nicht zu realisieren, da die beiden Videobilder auf Mikrosekunden genau synchronisiert werden müssen. Zur Feinsynchronisation werden die beiden Bildsignale einem Timebase-Corrector (TBC) zugeführt, der durch Zwischenspeicherung dafür sorgt, daß beide zu mischenden Bilder gleichzeitig ausgelesen werden können. Da nun natürlich die Sequenzen von den beiden Zusppielern nicht an derselben Stelle ineinander übergeblendet werden sollen, was ja offensichtlich keinen Sinn ergäbe, muß es eine Vorrichtung geben, die den beiden Zusppielern die den gewünschten Schnittpositionen entsprechenden Timecodes liefert.

Für diesen Zweck benutzt man gewöhnlich einen Schnittcomputer, im vorliegenden Fall kommt ein SONY BVE 900 zum Einsatz (Bild 8). Der BVE 900 liefert nicht nur die Timecodepositionen für die beiden Zusprieler und den Re-

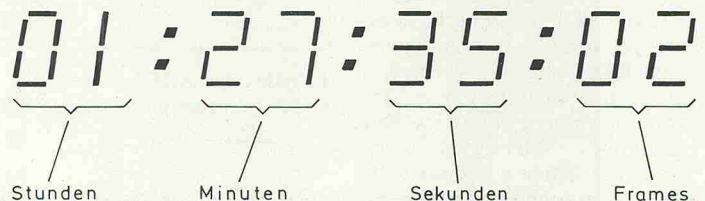


Bild 10. SMPTE — Timecode Display

an der die Überblendung beginnt, gibt der Schnittcomputer ein entsprechendes Signal an den Videomischer, der die programmierte Blende durchführt. Die für die am Schnitt beteiligten Geräte erforderlichen Timecodes und Steuerinformationen werden über RS-422 Schnittstellen übermittelt, die die Geräte — wie in Bild 6 gezeigt — miteinander verbinden.

wurde, ist die Tonbearbeitung sehr viel aufwendiger und wird dann in einem separaten Tonstudio durchgeführt. Die Zentrale der Tonbearbeitung ist im Studio von Thomas Eichhorn das DMP-7, das per MIDI-Schnittstelle mit dem Atari ST verbunden ist. Daneben gibt es noch einen weiteren Mischer, der allerdings nur quasi als Router arbeitet und die verschiedenen Signalquellen dem DMP-7 zur Weiterverarbeitung zuführt.

Die zu mischenden Tonsignale werden zunächst auf einer 8-Spur-Bandmaschine zwischengespeichert, wobei maximal zwei Spuren für den O-Ton vorgesehen sind. Damit der Ton später zumindest lippen-synchron auf dem Master erscheint, muß auch die Bandmaschine per Timecode gesteuert werden. Für die Aufzeichnung des Timecodes wird also eine weitere Spur verwendet, so daß fünf Spuren für weitere Signalquellen frei bleiben; insgesamt

Zu diesem Zweck wird im professionellen Videobereich der SMPTE-Timecode verwendet (SMPTE = Society of Motion Picture and Theatre Engineers). Der SMPTE-Timecode enthält in verschlüsselter Form Informationen über die absolute Zeit beispielsweise vom Bandanfang gerechnet. Diese Zeitinformation wird bis auf ein Einzelbild (Frame) genau angegeben und auf einer zusätzlichen Spur mit auf das Band aufgezeichnet. Wird das Band zu einer beliebigen Stelle gefahren, liefert der aufgezeichnete Timecode eine Information, an welcher Zeitposition in Stunden, Minuten, Sekunden und Frames seit Beginn der Aufzeichnung sich das Band im Augenblick befindet. Ein typisches SMPTE-Timecode-Display ist auf Bild 10 zu sehen und findet sich in ähnlicher Form auf einer Reihe von Studiogeräten, z.B. auf den LED-Anzeigen der Betacam-Maschinen in Bild 7.

Da die Timecode-Information mit auf dem Band aufgezeichnet ist, ändern z.B. Gleichlauf-electro-acoustic

werden also maximal sieben Tonspuren auf die zur Verfügung stehenden zwei Tonspuren des Betacam-Masterbandes heruntergemischt.

Obwohl der Bildschnitt mit Hilfe des Schnittcomputers vollständig automatisiert werden konnte, mußte der Tonmix bisher nach wie vor per Hand vorgenommen werden, was zur Folge hat, daß im Gegensatz zum Bildschnitt die Tonbearbeitung nicht genau reproduzierbar ist. Diese Tatsache hat zum einen zur Folge, daß beim Mischen eine hohe Konzentration erforderlich ist, zum anderen, daß nachträgliche Änderungswünsche des Kunden umständlich zu realisieren sind. Da zum Speichern des Schnittplanes ohnehin ein Computer vorhanden ist, liegt es natürlich nahe, diesen für weitere Aufgaben, z.B. für die Steuerung der Tonbearbeitung einzusetzen, sobald ein geeignetes, rechnergesteuertes Mischpult verfügbar ist.

Das DMP-7 stellt für dieses Problem die ideale Lösung dar, da es über eine ausreichende Anzahl von Eingangskanälen verfügt und alle Pultparameter vom Rechner gesteuert werden können. Zusammen mit der von Steinberg entwickelten 'Desktop Mixing'-Software kann der Tonmix ebenso vollständig automatisch gesteuert und abgespeichert werden wie der Bildschnitt. Die gesamte Bearbeitung ist reproduzierbar, wodurch der Streß beim Schneiden abnimmt und die Konzentration auf den kreativen Teil der Arbeit verwendet werden kann.

Das DMP-7 kann zwar grundsätzlich auch mit einem möglicherweise vorhandenen herkömmlichen MIDI-Sequencer betrieben werden, man stellt dann allerdings nach kurzer Zeit fest, daß die Möglichkeiten des Pultes auf diese Weise nicht voll ausgenutzt werden können, da die bekannten MIDI-Programme einsichtigerweise auf die Zusammenarbeit mit Synthesizern oder Samplern ausgelegt worden sind. Wenn es aber reicht, die Pulteinstellungen abzuspeichern und wieder in das Pult laden zu können, reicht ein MIDI-Multi-track-Programm oder ähnliches sicher aus.

DMP7 PARAMETER CHART

NUMBER	PARAMETER
0-7:	INPUT (SOLO) ON/OFF (CHANNELS 1-8)
8:	PHASE (CHANNELS 1-4)
9:	PHASE (CHANNELS 5-8)
10:	PREPOST FOR EFFECT SEND 1 (CHANNELS 1-4)
11:	PREPOST FOR EFFECT SEND 2 (CHANNELS 5-8)
12:	PREPOST FOR EFFECT SEND 3 (CHANNELS 1-4)
13:	PREPOST FOR EFFECT SEND 4 (CHANNELS 5-8)
14:	PREPOST FOR EFFECT SEND 5 (CHANNELS 1-4)
15:	PREPOST FOR EFFECT SEND 6 (CHANNELS 5-8)
16-23:	PAN (CHANNELS 1-8)
24-31:	FADER (CHANNELS 1-8)
32-39:	EFFECT SEND LEVEL, SEND 1 (CHANNELS 1-8)
40-47:	EFFECT SEND LEVEL, SEND 2 (CHANNELS 1-8)
48-55:	EFFECT SEND LEVEL, SEND 3 (CHANNELS 1-8)
56-63:	EQ, LOW, FREQ (CHANNELS 1-8)
64-71:	EQ, LOW, GAIN (CHANNELS 1-8)
72-79:	EQ, LOW, Q (CHANNELS 1-8)
80:	EQ, LOW, SHLV/PEAK (CHANNELS 1-4)
81:	EQ, LOW, SHLV/PEAK (CHANNELS 5-8)
82-89:	EQ, MID, FREQ (CHANNELS 1-8)
90-97:	EQ, MID, GAIN (CHANNELS 1-8)
98-105:	EQ, MID, Q (CHANNELS 1-8)
106-113:	EQ, HI, FREQ (CHANNELS 1-8)
114-121:	EQ, HI, GAIN (CHANNELS 1-8)
122-129:	EQ, HI, Q (CHANNELS 1-8)
130:	EQ, HI, SHLV/PEAK (CHANNELS 1-4)
131:	EQ, HI, SHLV/PEAK (CHANNELS 5-8)
132:	EFFECT 1 RETURN LEVEL
133:	EFFECT 2 RETURN LEVEL
134:	EFFECT 3 RETURN LEVEL
135:	STEREO OUT LEVEL
136:	COMPRESSOR ON/OFF
137:	COMPRESSOR RATIO
138-145:	EQ ON/OFF (CHANNELS 1-8)
146:	SOLO MODE ON/OFF
147:	STEREO ON/OFF
148:	EFFECT RETURN 1 (SOLO) ON/OFF
149:	EFFECT RETURN 2 (SOLO) ON/OFF
150:	EFFECT RETURN 3 (SOLO) ON/OFF
151:	EFFECT 1 PARAMETER, TYPE
152:	EFFECT 1 PARAMETER 1, PARAMETER RANGE
153:	EFFECT 1 PARAMETER 2, PARAMETER RANGE
154:	EFFECT 1 PARAMETER 3, PARAMETER RANGE
155:	EFFECT 1 PARAMETER 4, PARAMETER RANGE
156:	EFFECT 1 PARAMETER 5, PARAMETER RANGE
157:	EFFECT 1 PARAMETER 6, PARAMETER RANGE
158:	EFFECT 1 PARAMETER 7, PARAMETER RANGE
159:	EFFECT 1 PARAMETER 8, PARAMETER RANGE
160:	EFFECT 1 PARAMETER 9, PARAMETER RANGE

NUMBER	PARAMETER
161:	EFFECT 1 PARAMETER 5, PARAMETER VALUE
162:	EFFECT 1 PARAMETER 6, PARAMETER RANGE
163:	EFFECT 1 PARAMETER 7, PARAMETER RANGE
164:	EFFECT 1 PARAMETER 8, PARAMETER RANGE
165:	EFFECT 1 PARAMETER 9, PARAMETER RANGE
166:	EFFECT 1 PARAMETER 10, PARAMETER RANGE
167:	EFFECT 1 PARAMETER 11, PARAMETER RANGE
168:	EFFECT 1 PARAMETER, TYPE
169:	EFFECT 2 PARAMETER 1, PARAMETER RANGE
170:	EFFECT 2 PARAMETER 2, PARAMETER RANGE
171:	EFFECT 2 PARAMETER 3, PARAMETER RANGE
172:	EFFECT 2 PARAMETER 4, PARAMETER RANGE
173:	EFFECT 2 PARAMETER 5, PARAMETER RANGE
174:	EFFECT 2 PARAMETER 6, PARAMETER RANGE
175:	EFFECT 2 PARAMETER 7, PARAMETER RANGE
176:	EFFECT 2 PARAMETER 8, PARAMETER RANGE
177:	EFFECT 2 PARAMETER 9, PARAMETER RANGE
178:	EFFECT 2 PARAMETER 10, PARAMETER RANGE
179:	EFFECT 2 PARAMETER 11, PARAMETER RANGE
180:	EFFECT 2 PARAMETER, TYPE
181:	EFFECT 3 PARAMETER 1, PARAMETER RANGE
182:	EFFECT 3 PARAMETER 2, PARAMETER RANGE
183:	EFFECT 3 PARAMETER 3, PARAMETER RANGE
184:	EFFECT 3 PARAMETER 4, PARAMETER RANGE
185:	EFFECT 3 PARAMETER 5, PARAMETER RANGE
186:	EFFECT 3 PARAMETER 6, PARAMETER RANGE
187:	EFFECT 3 PARAMETER 7, PARAMETER RANGE
188:	EFFECT 3 PARAMETER 8, PARAMETER RANGE
189:	EFFECT 3 PARAMETER 9, PARAMETER RANGE
190:	EFFECT 3 PARAMETER 10, PARAMETER RANGE
191:	EFFECT 3 PARAMETER 11, PARAMETER RANGE
192:	EFFECT 3 PARAMETER, TYPE
193:	EFFECT 4 PARAMETER 1, PARAMETER RANGE
194:	EFFECT 4 PARAMETER 2, PARAMETER RANGE
195:	EFFECT 4 PARAMETER 3, PARAMETER RANGE
196:	EFFECT 4 PARAMETER 4, PARAMETER RANGE
197:	EFFECT 4 PARAMETER 5, PARAMETER RANGE
198:	EFFECT 4 PARAMETER 6, PARAMETER RANGE
199:	EFFECT 4 PARAMETER 7, PARAMETER RANGE
200:	EFFECT 4 PARAMETER 8, PARAMETER RANGE
201:	EFFECT 4 PARAMETER 9, PARAMETER RANGE
202:	EFFECT 4 PARAMETER 10, PARAMETER RANGE
203:	EFFECT 4 PARAMETER 11, PARAMETER RANGE
204:	EFFECT 4 PARAMETER, TYPE
205:	FADE TIME

Tabelle 1. MIDI-Codes für DMP-7 Einstellparameter

Sollen jedoch alle Möglichkeiten, die das DMP-7 bietet, genutzt werden, stellt man bei der Arbeit schnell fest, daß die herkömmliche MIDI-Software nicht für das Pult gemacht ist. Das liegt vor allen Dingen daran, daß das DMP-7 zwar denselben MIDI-Code benutzt wie z.B. auch Synthesizer, die Zuordnung der MIDI-Parameter zu den Pultfunktionen aber nicht so recht paßt, weil MIDI ursprünglich als Medium für die Kopplung elektronischer Musikinstrumente geschaffen worden ist. Um aus der Not eine Tugend zu machen, haben sich die Yamaha-Ingenieure bemüht, diese Zuordnung, wie in Tabelle 1 gezeigt, einigermaßen plausibel vorzunehmen und zusätzlich die Möglichkeit geschaffen, das Zuordnungsschema bei Bedarf zu verändern. Man wird aber spätestens beim Editieren der aufgenommenen Daten feststellen, daß die Kombination des Pultes mit der vorhandenen Software zumindest professionellen

Ansprüchen nicht genügen kann, so ist es z.B. kaum möglich, vom Sequenzprogramm aus Parameter der Klangstufen gezielt zu verändern.

Diesen Mißstand beseitigt die DMP-7-Software von Steinberg, die zusammen mit Yamaha entwickelt wurde, speziell auf das Gerät zugeschnitten ist und bis zu vier Pulte gleichzeitig steuern kann. Wie es bei einem Programm für den Atari ST nicht anders zu erwarten ist, gibt es auch bei der Steinberg-Software eine graphische Benutzeroberfläche, die für den professionellen Einsatz allerdings etwas zurückhaltender gestaltet hätte werden können.

Nach dem Laden befindet man sich im Hauptmenü, in dem, wie in Bild 11 zu sehen, graphisch das äußere Erscheinungsbild des DMP-7 nachempfunden ist. Der Hauptunterschied besteht darin, daß das gemeinsame Bedienelement für alle Kanäle durch eine graphische Darstellung der Bedienelemente für jeden Kanal ersetzt wurde und somit einem konventionellen Pult wieder ähnlicher sieht. Mit Hilfe der Maus kann man nun ein auf dem

Bildschirm dargestelltes Bedienelement anklicken und den entsprechenden Parameter verändern. Beim Fader geschieht das durch Festhalten der Maustaste und Verschieben des Faders auf dem Bildschirm. Hierbei bewegt sich übrigens gleichzeitig der motorgetriebene Fader des DMP-7 in die entsprechende Position.

Soll beispielsweise die Einstellung eines der Kanal-EQs verändert werden, so wird der entsprechende Einstellknopf auf dem Bildschirm mit der Maus angefahren und der gewählte Parameter durch Bewegen der Maus nach links oder rechts bei gedrückter Maustaste verändert. Speziell bei den EQs besteht zusätzlich die Möglichkeit, den eingestellten Frequenzgang in einem separaten Fenster darzustellen, das durch Anwählen des mit 'EQ' bezeichnete Kästchens auf dem Bildschirm geöffnet wird.

Auf ähnliche Weise können so alle Parameter des Pultes variiert werden (beispielsweise der Fader von Kanal 5, siehe Bild 12) wobei die Einstellung jeweils auch am Pult selbst vorgenommen werden kann und was entsprechende Veränderungen auf dem Computerdisplay zur Folge hat. Zusätzlich besteht mit der Steinberg-Software die Möglichkeit einer Subgruppenbildung, zumindest was die Parametereinstellungen betrifft, da ja das Signalarouting selbst durch die Mischerstruktur festliegt. Da aber alle Parameter über die MIDI-Schnittstelle kontrolliert werden können, ist es für das Mixing-Programm ein leichtes, mehrere Parameter quasi gleichzeitig zu verändern. So ist es zum Beispiel möglich, die Klangeinstellungen von einigen Kanälen zu koppeln oder aber die Faderstellung eines Kanals mit dem Hallanteil in diesem Kanal zu verbinden. So könnte zum Beispiel bei einer Szene, in der jemand eine Höhle betritt, die zum Bild passende akustische Umgebung erzeugt werden.

Beim Zusammenfassen von Einstellparametern zu Parametergruppen können beliebige Kombinationen von Parametern gleich- oder gegensinnig verändert werden, letzteres zum Beispiel um Crossfading-Effekte zu erzielen. Bis zu fünf Parametergruppen können auf diese Art und Weise gebildet werden.

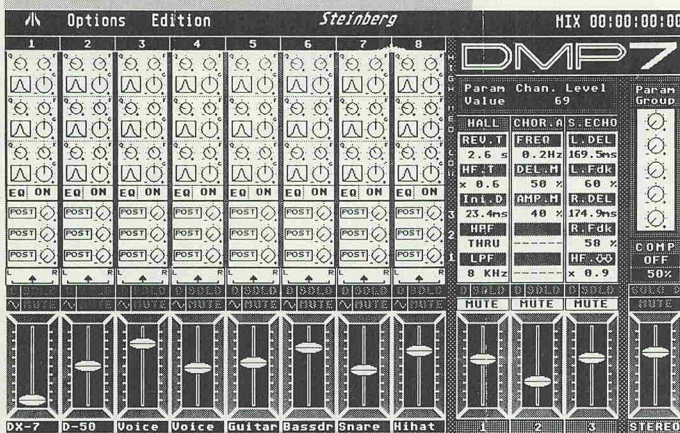


Bild 11. Hauptdisplay des Steinberg Desktop Mixing Programms

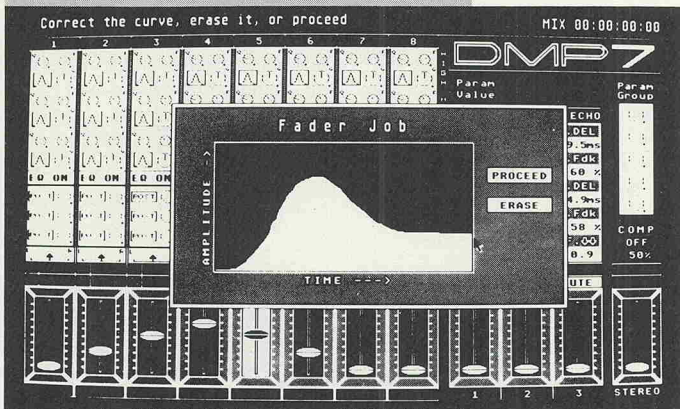


Bild 12. Graphische Darstellung einer Faderbewegung innerhalb eines MIXes

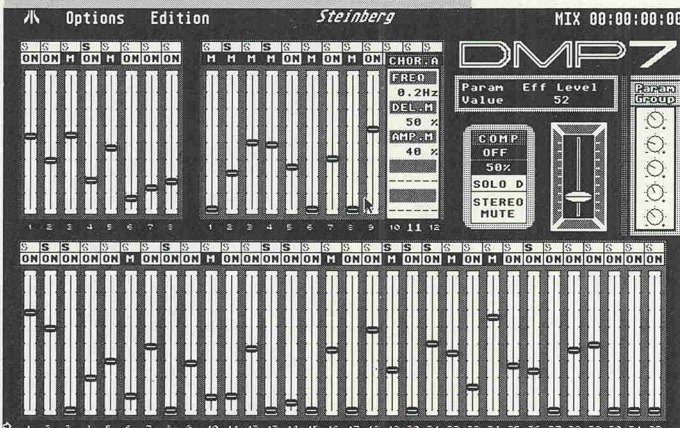


Bild 13. Whole Page Menü (siehe Text)

Da die Steinberg-Software mit bis zu 4 angeschlossenen DMP-7 arbeiten kann, gibt es die Möglichkeit, die Bedienung aller vier Pulte auf dem Computerbildschirm zusammenzufassen.

Diese mit 'Whole-Page' bezeichnete Option erlaubt es, die Parameter aller angeschlossener Pulte zu verändern. Auf dem Bildschirm sind insgesamt 53 Fader dargestellt (Bild 13), und zwar 32 Kanalfader, 12 Effektreturns, 8 Gruppenfader für sog. VCA-Gruppen, die nicht mit den fünf Parametergruppen identisch sind, und schließlich zwei Stereo-Masterfader. Dabei ist darauf zu achten, daß lediglich zwei Stereosummen von der Software kontrolliert werden, die Summenfader der Pulte, die sich nicht am Ende der Kette befinden, aber nach wie vor ihren Einfluß behalten.

Das Einstellen der verschiedenen Pultparameter bzw. Parametergruppen wird von Steinberg mit dem Begriff MIX belegt. Ein solcher MIX, bzw. eine PultEinstellung, kann auf einer Diskette oder, so vorhanden, auf der für professionelles Arbeiten sehr zu empfehlenden Festplatte abgespeichert werden.

Im Unterschied dazu wird unter dem Begriff Remix eine dynamische Speicherung von PultEinstellungen verstanden, der gesamte Bedienungsablauf während einer bestimmten Zeit kann also gespeichert und nachträglich editiert werden. Insbesondere kann man auch verschiedene MIXes in einem Remix einbauen, d.h., daß zu vorgebbaren Zeiten neue PultEinstellungen geladen werden, wie dies beim Filmtoun insbesondere bei Filmschnitten häufig notwendig ist.

Um die Zeitangaben in einem Remix mit beispielsweise den Schnitten in einem Videofilm identifizieren zu können, muß natürlich auch die Software, die das DMP-7 steuert, in geeigneter Weise an die Timecodeinformation, die vom Schnittcomputer geliefert wird, gekoppelt werden.

Da das Programm als solches zunächst nur mit dem neuen MIDI-Timecode arbeitet, da es ja nur über die MIDI-Schnittstelle des Atari ST verfügen kann, muß zur Kopplung an

den SMPTE-Timecode ein externer SMPTE-Synchronizer angeschlossen werden.

Im vorliegenden Fall wurde der ebenfalls von Steinberg entwickelte SMP-24 Synchronizer benutzt, auf den die Software besonders gut abgestimmt ist. Wie aus Bild 6 hervorgeht, ist der SMP-24 mit der 8-Spur-Bandmaschine gekoppelt und wird so mit dem Timecode von der aufgezeichneten Timecodespur versorgt.

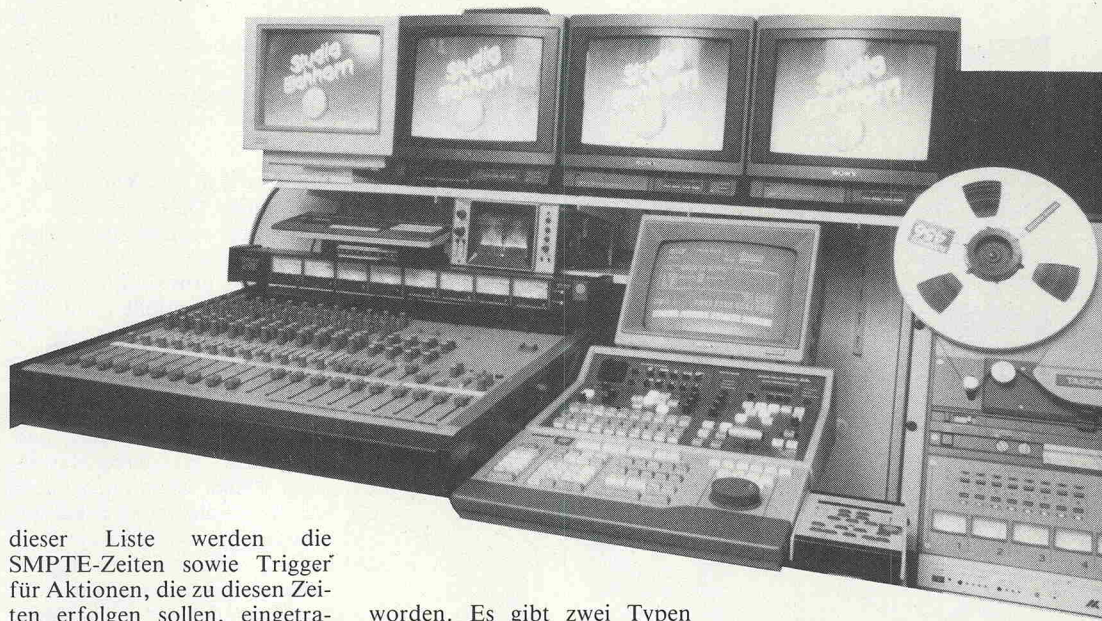
Alle Zeitangaben in dem Desktop Mixing Programm sind Zeitangaben im SMPTE-Timecode, so daß bei einem Remix der Rechner in der Lage ist, den Zustand des Pultes entsprechend den gespeicherten Daten zu verändern, wenn das Band, vom Schnittcomputer gesteuert, an eine andere Stelle gefahren wird und via Timecodespur eine andere Band- bzw. Zeitposition an das SMP-24 meldet. Auf diese Weise ist also eine Synchronisation aller an Bildschnitt und Tonbearbeitung beteiligten Geräte möglich. Da alle Funktionen rechnergesteuert ablaufen, werden nachträglich gewünschte Änderungen im Bild- wie im Tonkanal stark vereinfacht. Zentrale Steuereinheit ist in jedem Fall der SONY-Schnittcomputer, der alle angeschlossenen Geräte direkt oder indirekt über die Timecodespur der 8-Spur-Maschine kontrolliert.

Beim eigentlichen Mixdown werden nun Zuspielder und 8-Spur-Bandmaschine per SMPTE-Timecode abgefahren, so daß der O-Ton auf der Bandmaschine lip-pensynchron zum Bild vorliegt. Zunächst von Hand wird der O-Ton auf die beiden Tonspuren des Video-Masterbandes heruntergemischt, dabei können der Klang verändert, Effekte hinzugefügt und weitere Tonspuren von der 8-Spur-Maschine, z.B. Filmmusik, Geräusche oder Sprecher, zugemischt werden. Dieser Rohmix wird im Remix-Modus des Desktop Mixing Programms abgespeichert und kann nach Belieben reproduziert werden. Falls der Mix gelungen ist, kann der gesamte Bild- und Tonbearbeitungsvorgang rechnergesteuert wiederholt und auf dem Betacam-Recorder aufgezeichnet werden. Bild-

schnitt und Tonmix werden so in einem Arbeitsgang durchgeführt, für den Tonmix wird nicht das bereits fertig geschnittene Bild benutzt. Das hat den Vorteil, daß bis zur Erstellung des Masterbandes eine Kopiergeneration eingespart wird und dadurch die Bildqualität erhalten bleibt.

Ist der erste manuelle Mixdown nicht zufriedenstellend oder äußert der Kunde Änderungswünsche, so muß das Material nachbearbeitet werden. Auf der Bildseite übernimmt dies der Bildmischer, der aber nicht Gegenstand dieses Beitrages sein soll. Der Tonmix kann mit Hilfe der Mixing-Software ebenfalls editiert werden. Dazu wird das Programm in den Remix-Modus versetzt und das 8-Spur-Band abgefahren. Das Programm reproduziert nun die abgespeicherte Mischsequenz synchron zum laufenden Timecode. Greift man nun z.B. in die Faderbewegung ein, so passiert aus Sicherheitsgründen zunächst nichts. Um den Verlauf eines Parameters zu ändern, muß vor dem Remix der betreffende Parameter mit der Maus angewählt werden. Darauf bekommt die ALT-Taste die Funktion eines PUNCH-IN/PUNCH-OUT-Schalters. Will man einen Parameter während des Remix editieren, so muß während der Änderung die ALT-Taste gedrückt bleiben.

Dieses Verfahren hat zunächst den Vorteil, daß sicher keine ungewollten Änderungen am Remix vorgenommen werden, auf die Dauer ist es aber etwas lästig, nach dem Atari-Keyboard zu fingern, das ansonsten kaum zum Einsatz kommt. Da von der Software immer eine Backup-Kopie des gerade editierten Mixdowns auf der Platte gehalten wird, wäre ein automatisches PUNCH-IN bei manuellem Eingreifen für den professionellen Betrieb sinnvoller, da dann beide Hände für das Editieren frei wären. Das nachträgliche Eingreifen in einen gespeicherten Mix bzw. Remix nach Steinberg-Terminologie, ist aber nicht nur manuell möglich. Bestimmte Aktionen bzw. Änderungen von Pultparametern sind auch zu genauer definierten Zeitpunkten möglich. Zu diesem Zweck kann über einen weiteren Menüpunkt eine sogenannte CUE-Liste erstellt werden. In



Das 'alte' Analog-Mischpult mit Bildmischer und Monitoren im Videostudio Eichhorn

dieser Liste werden die SMPTE-Zeiten sowie Trigger für Aktionen, die zu diesen Zeiten erfolgen sollen, eingetragen. Auf diese Weise kann z.B. das Mischersesetup präzise an einem Hardcut umgeschaltet oder bei einer Überblendung der Ton um eine definierte Anzahl Frames vorgezogen werden.

Wird zum Beispiel zu einem definierten Zeitpunkt ein Crossfade über 25 Frames (also eine Sekunde) gewünscht, so wird man zunächst die beiden beteiligten Fader einer Parametergruppe zuordnen und eine gegensinnige Veränderung der Faderposition wählen. Für die so gewählte Parametergruppe definiert man über einen weiteren Menüpunkt einen sogenannten Parameterjob. Das Programm öffnet auf dem Bildschirm ein Fenster, in dem durch geeignete Bewegung der Maus der Verlauf des Parameters über die gewählte Zeit, hier eine Sekunde, graphisch dargestellt wird.

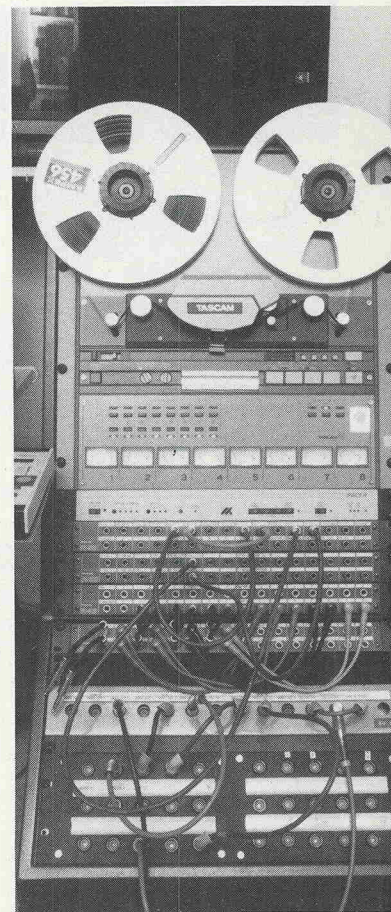
Dieser Parameterjob wird mit seiner Jobnummer zusammen mit der gewünschten Anfangszeit in die CUE-Liste eingetragen und bei Erreichen der vorgewählten Zeit getriggert, also gestartet.

Ist der Mischvorgang zufriedenstellend ausgefallen bzw. entsprechend nachgearbeitet worden, kann der gesamte Remix abgespeichert werden. Zu diesem Zweck ist die Verwaltung des Massenspeichers, also beispielsweise der Festplatte, ähnlich wie die von Magnetbändern organisiert

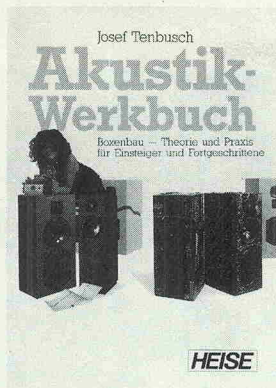
worden. Es gibt zwei Typen von Dateien, Tapes und Mixes, wobei ein Mix naheliegenderweise in einem Mix-File abgespeichert wird. Die von Steinberg-Software erzeugten Dateien können übrigens von anderen Programmen nicht gelesen werden, da jeweils mehrere Mix und Remix-Daten verschlüsselt unter einem Filenamen abgespeichert werden.

Interessanterweise wird ein Mix bzw. Remix erst dann abgespeichert, wenn dies vom Benutzer ausdrücklich befohlen wird. Es kann daher leicht vorkommen, daß ein Mixdown versehentlich gar nicht abgespeichert wird, wodurch dann zwar ein bereits vorhandener auch nicht überschrieben wird, gleichzeitig aber womöglich die Arbeit mehrerer Stunden verloren ist. Hier sollte die Firma Steinberg Abhilfe schaffen. Da es sich bei der Software aber praktisch noch um eine Nullnummer handelt, kann der Punktabzug für dieses Detail nicht allzu hoch ausfallen. In der zusammenfassenden Beurteilung ist das von Steinberg erstellte Programmpaket zusammen mit der Hardware von Yamaha sicherlich eine der interessantesten Entwicklungen auf dem Studiossektor und bringt, speziell in Branchen wie der Videoproduktion, spürbare Arbeitsersparnis und -erleichterung. □

Die analoge 8-Spur-Maschine wird wohl auch in 'digitalisierten' Videostudios weiterhin Stand der Technik sein.



**So geben
Sie den
richtigen
Ton an**



ELEKTRONIK

Broschur, 152 Seiten
DM 29,80
ISBN 3-922705-30-8

Boxen-Selbstbau — ein faszinierendes Hobby. Von einem erfahrenen Fachmann werden hier sowohl theoretische Grundlagen als auch praktische Tips für den Selbstbau von Lautsprecher-Boxen vermittelt. Neben zahlreichen Tabellen enthält das Buch auch ausgereifte Konstruktionsvorschläge für unterschiedliche Boxentypen.

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 30/1.4

HEISE

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

**Die elektro-
technische
Programm-
bibliothek**



**COMPUTER
& ELEKTRONIK**

Broschur, 368 Seiten
DM 49,80
ISBN 3-88229-102-8

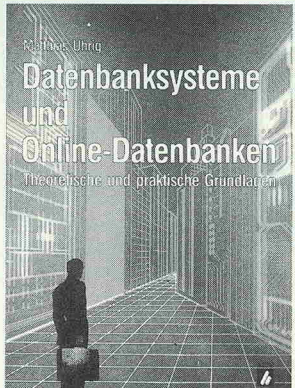
Eine Softwarebibliothek von 112 Turbo-Pascal-Programmen, die auch zum Erlernen der Programmiersprache Pascal dient. Gut ein Drittel der Programme ist für die Lösung mathematischer Probleme geschrieben, und zwei Drittel helfen bei der Berechnung elektrischer und elektronischer Schaltungen. Programme des Buches auch auf 2 Disketten erhältlich.

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 102/1.4

HEISE

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

**Information
schafft
Wissens-
vorsprung.**



**COMPUTER-
BUCH**

Broschur, 173 Seiten
DM 36,80
ISBN 3-88 229-133-8

Datenbanksysteme speichern und verarbeiten Informationen. Das Buch vermittelt Einblick in die Thematik und unterstützt Entscheidungen in allen Wirtschaftsbereichen. Am Beispiel dBASE III, dem Marktführer bei PC-Datenbanksystemen, werden die dargestellten theoretischen Aspekte verdeutlicht. Ein eigener Teil ist dem hochaktuellen Thema „Online-Datenbanken“ gewidmet.

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 133/1.4

HEISE

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61

**Ein
Fakturierungs-
programm
der
absoluten
Spitzenklasse!**



SOFTWARE

Best.-Nr. 51824 DM 148,—
unverbindliche Preisempfehlung

Händleranfragen willkommen.

Das erste Anwenderprogramm der SPEED-Reihe mit folgenden Leistungen:

- Kundenverwaltung,
- Artikelverwaltung,
- Terminverwaltung,
- Angebotsschreibung,
- Rechnungen, Mahnwesen,
- Textverarbeitung,
- Serienbriefe.

SPEED.FAKTURA läuft auf allen IBM-kompatiblen Rechnern mit Betriebssystem MS-DOS 2.11 und höher.

Im Buch-, Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. SF1.4

HEISE

Verlag
Heinz Heise
GmbH & Co KG
Postfach 61 04 07
3000 Hannover 61



Werkfoto Neutrik, Schaan

Neutriks Analyzer

Arnold Klumpp

Seit 1983 wird von der Liechtensteiner Firma Neutrik der Pegelschreiber Audiograph gebaut. Und zwar direkt in Schaan in Liechtenstein. Entgegen der weitverbreiteten Meinung, daß dort überwiegend Briefkastenfirmen angesiedelt seien, werden alle Komponenten des Audiographsystems und auch die weltweit verwendeten XLR-Stecker in dem kleinen Fürstentum zwischen Schweiz und Österreich hergestellt. Der Anwendungsbereich des Audiographen wird durch neue Module ständig erweitert. Im Zuge dieser Erweiterungen wurde vor einiger Zeit das Modul Analyzer 3337 vorgestellt. Obwohl als Verzerrungsmeßplatz konzipiert, bietet der Analyzer 3337 so viele Anwendungsmöglichkeiten, daß er mit dem Mainframe 3302 (Spannungsversorgung und Schreiberteil) als eigenständiger und fast kompletter Meßplatz eingesetzt werden kann.

Aus der Palette der Module sind einige prädestiniert für akustische Messungen. Der Anwendungsbereich des Analyzers 3337 zielt zwar überwiegend auf Messungen an Audio-Geräten, ist aber hervorragend geeignet zu Verzerrungsanalysen und sehr leicht durchzuführenden Impedanzmessungen.

Zunächst sollen die Meßmöglichkeiten des Analyzers aufgezeigt und anschließend an Hand einiger Beispiele demonstriert werden.

Als Kompletgerät besitzt der Analyzer 3337 außer dem Analysatorteil einen eigenen klirrarmen Generator.

Mit diesem können neben Sinus- auch Rechtecksignale ausgegeben werden. Zur Messung von Intermodulationsverzerrungen kann ein zweiter, ebenfalls eingebauter Generator hinzugeschaltet werden. Die abgegebenen Pegel sind zwischen -71,7 dBu (0,2 mV) und 26 dBu (15,46 V) einstellbar. Die Frequenz kann zwischen 20 Hz und 100 kHz gewählt werden.

Zur Einstellung von Pegel oder Frequenz dienen eine numerische Tastatur und ein sogenanntes Softwheel, ein Einstellrad also. Beide sind gleichzeitig aktiv. Bei der Eingabe über die Tastatur erleich-

electro-acoustic

tern die Tasten 'm' und 'k' die Eingabe erheblich. Sollen zum Beispiel 1000 Hz eingestellt werden, so genügt die Eingabe von <1> und <k> (also 1 kHz). Oder 0,775 V werden als <7> <7> <5> <m> eingegeben.

Generatorpegel und -frequenz werden in der rechten Hälfte des LC-Displays angezeigt. Dabei kann der Benutzer für die Maßeinheit der Amplitude zwischen V, Vpp, dBu und dBV wählen.

Weiterhin kann für die Ausgangsamplitude angewählt werden, in welchem Modus sie angezeigt werden soll:

1. Generatorwiderstand und Lastwiderstand sind gleich groß.
2. Der Generator wird im Leerlauf betrieben.
3. Es wird immer die echte Ausgangsklemmenspannung angezeigt.

Bei allen Messungen sind eigene Skalen definierbar.

In der ersten beiden Fällen wird die Ausgangsspannung auf Grund der dem Generator gemachten Angaben errechnet. Ist der Generator den Angaben gemäß abgeschlossen, wird immer der im numerischen Feld eingegebene Wert exakt einge-
stellt.

Im dritten Fall wird die Klemmenspannung echt gemessen. Da keine Nachregelung erfolgt, kann es vorkommen, daß man zwar 6 dBu eingetippt hat, aber weniger angezeigt wird. Daraus läßt sich leicht ersehen, daß der Lastwiderstand zu klein ist und die Spannung in die Knie zwingt. Durch manuelles Nachstellen am 'Softwheel' kann die gewünschte Spannung dann erreicht werden.

Bei der Anwahl von Differenzfrequenz- oder Intermodulationsverzerrungen als Meßfunktion wird automatisch der zweite Generator mit der richtigen Frequenz aktiviert. Der Analyser 3337 bietet aber auch die Möglichkeit, bei unveränderter Meßfunktion den 2-Tongenerator auf den Ausgang zu schalten. Dazu wird im Menübaum die entsprechende Ebene auf-
electro-acoustic

sucht und die gewünschten Frequenzen ausgewählt.

Die gleiche Ebene im Menü erlaubt es auch mit dem Generator zu 'bursten'. Dabei können für die Puls- und Pausenzeit getrennt jeweils zwischen 1 und 32000 Wellenzüge eingestellt werden. Zum Messen von nicht-linearen Verstärkern (Limitern, Kompressoren) ist es auch möglich, die Pegeldämpfung während der Pausenzeit einzustellen.

Ist die Einstellung des Generators schon einfach gewesen, so wird der Benutzer durch die klare optische Gliederung der restlichen Bedienteile sehr gut bei der Anwendung unterstützt:

Über vier doppelt belegte Tasten stehen als Meßfunktionen Pegel, Verstärkung, Pegelverhältnis, Frequenz, Oberwellen, THD+N, Differenzton- und Intermodulationsanalyse zur Verfügung. Weniger häufig gebrauchte Funktionen wie Periodenzeit, Selektiv-Pegel und Ohmsche Impedanz findet man über das Menü.

Bei allen Meßfunktionen außer Frequenz, Impedanz und Periodenzeit können verschiedene Einheiten zur Meßwertdarstellung angewählt werden.

Die aktuelle Meßfunktion und der Meßwert werden in dem weiter oben erwähnten Display auf der linken Seite angezeigt.

Der Meßwert wird standardmäßig in numerischer Form angezeigt. Wer aber ein Freund der Analoganzeige ist und sich nicht dafür begeistern kann, die analogen Ausschläge des Schreibzeigers zu beobachten, kann sich an Stelle der Meßfunktionsanzeige einen Bargraph einblenden lassen. Dieser zeigt immer den ganzen selbstdefinierten Skalenbereich an; doch dazu später mehr.

Zur Unterdrückung von Störanteilen sind 3 Filter fest integriert (Hochpass 400 Hz, Bandpass 22,4 Hz - 22,4 kHz und Tiefpass 80 kHz, jeweils mit einer Dämpfung von 60 dB / Dekade) und über Tasten in beliebiger Kombination zuschaltbar. Die vierte Taste in der Filterbank ist mit Option beschriftet und erlaubt das Einschleifen eines externen Filters in den Signalweg. Obwohl es von einer Gleichspannung des Mainframe eingestellt wird, eignet sich hier hervorragend das Mitlauffilter 3314 aus der Audiographen-Familie (wählbare Bandbreite 1, 1/3 oder 1/6 Oktave).

Ein Meßwert wird als gültig gewertet, wenn zwei Messungen des Analysators hintereinander nicht um einen bestimmten Wert voneinander abweichen. Diese Toleranz ist einstellbar. Sie ist auf der Ebene des Menübaumes zugänglich, die mit Settling-Parameter betitelt ist. Des weiteren kann hier die Zeit vorgegeben werden, die vergehen muß, be-

vor Meßwerte als gültig angesehen werden. Damit kann zum Beispiel die Zeit eingestellt werden, die ein Filter benötigt, bis es eingeschwungen ist, oder die vergeht, bis eine Modulation vom Aufnahmehauptkopfes eines Bandgerätes zum Wiedergabekopf kommt (aber das kann viel eleganter gelöst werden, wie später noch zu lesen sein wird).

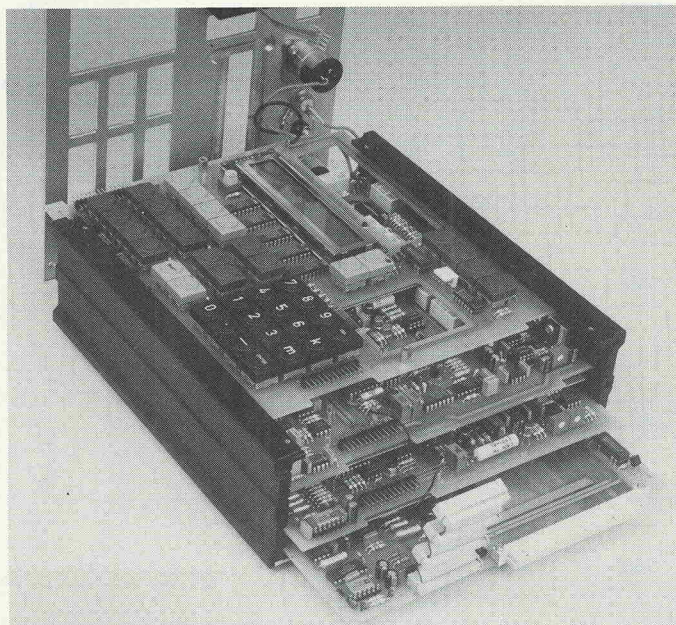
Zur Aufzeichnung der Abhängigkeiten des Meßwertes von einer sich verändernden Größe stehen wieder 4 Tasten zur Verfügung. Diese sind mit Sweep Function überschrieben und beziehen sich darauf, wer oder was sich ändert, wenn ein Meßwert aufgezeichnet wird.

Da ist einmal die Funktion Manual. Das bedeutet, daß der Generator während eines Meßdurchgangs frei verstellbar ist. Es ist also einfach eine Messung über der Zeit möglich.

Über der zweiten Taste steht Amptd. Hier ist die vom Gerät veränderliche Größe die Ausgangsamplitude des Generators. Führt das Gerät diese Sweep-Art durch, wird bei gleichbleibender Frequenz die Ausgangsamplitude des Generators in 2 dB-Schritten von 20 mV bis zu dem Wert erhöht, der vorher eingestellt und im LC-Display angezeigt wird.

Bei der dritten Taste finden wir Freq. Das ist der 'klassische' Frequenzschrieb. Wie schon beim Output-Modul 3322 wird die Start-Frequenz (zu sehen im Display) eingestellt, und los gehts. In diesem Fall gibt der Generator in aufsteigender Reihenfolge die Mittenfrequenz der ISO-Terzen aus.

Extern ist die vierte Taste überschrieben. In dieser Funktionsart ist der Analyser 3337 in der Lage, einer aufsteigenden Frequenz zu folgen, die an seinem Eingang anliegt. Diese kann von einer Schallplatte, einem Bezugsband oder ähnlichem kommen. Damit kann auch der



Der Analyser ist mit mehreren Ebenen Sandwich-artig aufgebaut.

weiter oben angesprochene Zeitversatz bei einer Über-Band-Messung sehr einfach ausgeglichen werden. Für den Fall, daß der Sweep von einer Platte kommt, kann ein 'Auto-start' aktiviert werden. Dann startet die Aufzeichnung beim Übergang von 1 kHz auf 20 Hz.

Die Tatsache, daß diese Tasten nicht nur über- sondern auch unterschrieben sind, läßt vermuten, daß aus dem Gerät noch mehr herauszuholen ist; und das ist tatsächlich so: Die User-Tasten können mit Sweeps belegt werden, die der Benutzer selbst definiert; über die Menü-Funktion wird die entsprechende Ebene aufgerufen. Dann wird entschieden, ob kontinuierlicher Sweep, Tabellensweep, Amplituden- oder Frequenzsweep benötigt wird. Die Start- und Endparameter sowie die Anzahl der Meßpunkte sind einzugeben und der User-Sweep ist fertig. Wem die drei User-Sweeps zu wenig sind, dem sei hier gesagt, daß alle gemachten Einstellungen als Setup im batteriegepufferten RAM-Speicher abgelegt werden können. Und dieser Speicher bietet Platz für 30 solcher Setups.

Der Tabellensweep erlaubt es, eine Liste von 30 Frequenz/Pegel-Paaren zu erstellen. Hierbei kann jeder Frequenz ein anderer Pegel zugeordnet werden. Beim Schrieb wird bei jedem Meßwert ein senkrechter Strich gezogen und zwischen den Werten interpoliert.

Bei der Abspeicherung der Setups werden auch die Einstellungen abgelegt, die im Display angezeigt werden. Durch geschickte Wahl dieser Einstellungen kann man viele Prüfbedingungen für zu messende Geräte erstellen. Diese Prüfbedingungen müssen nun aber nicht manuell eine nach der anderen wieder aufgerufen werden, sondern können zu Sequenzen zusammengefaßt werden. Dabei ist es möglich, zu jeder Bedingung Toleranzen festzulegen. Läßt man nun eine Sequenz ablaufen, erhält man als Schrieb ein Balkendiagramm. Die Länge des Balkens gibt Auskunft über die Größe des Meßwertes. Die Dicke des Balkens sagt, ob der Meßwert unterhalb, innerhalb oder oberhalb der vorgegebenen Toleranzen lag. Auf diese Art, es

können ja Verzerrungen, Impedanzen, Pegel etc. hintereinander auf einem Schrieb erscheinen, kann sich der Anwender auf einen Blick ein Bild über die Qualität seines Prüflings verschaffen.

Das Input-Modul 3312 läßt dem Audiograph-Benutzer die Wahl zwischen verschiedenen Papierskalierungen. Die Skala kann über die ganze Breite 10 dB, 25 dB oder 50 dB sein. Ähnliches bie-

tet der Analyzer 3337: Mit der Taste 'Paper Scale' können zu jeder Meßfunktion verschiedene ab Werk vorgegebene Skalen durchgeblättert und ausgewählt werden. Wem dies aber nicht genug ist, der kann das

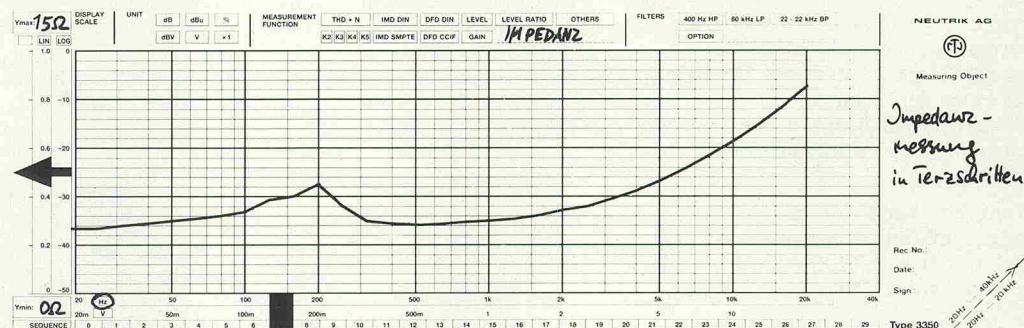


Bild 1. Impedanz eines Lautsprecherchassis mit Terzen gemessen.

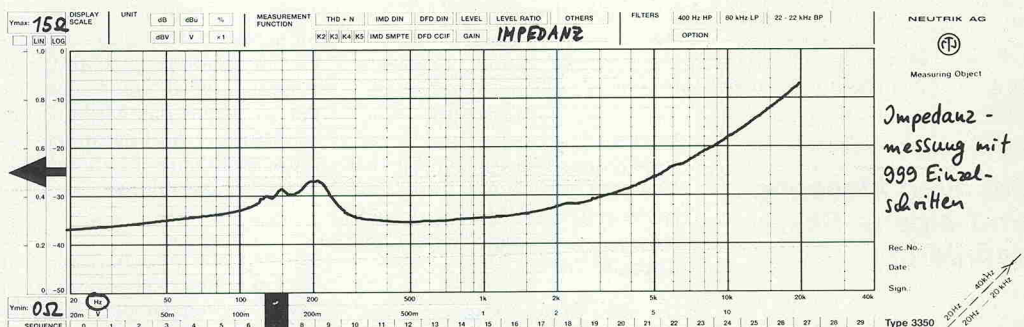


Bild 2. Wie oben, aber mit 999 Einzelschritten auf der Frequenzskala.

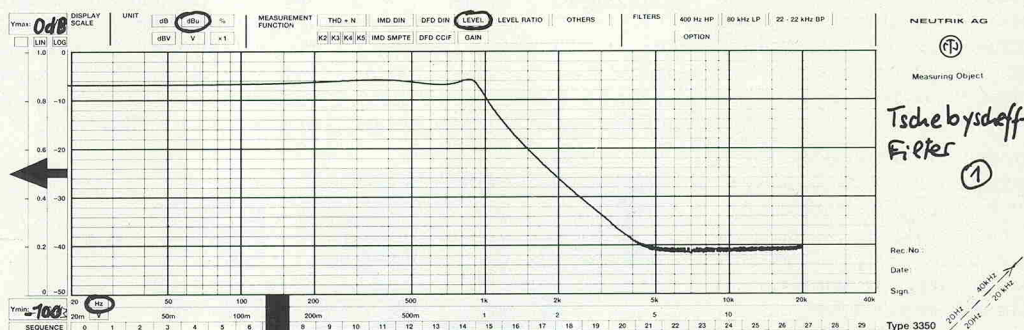


Bild 3. Tschebyscheff-Filter, gemessen mit Pegelskala -100...0 dBu.

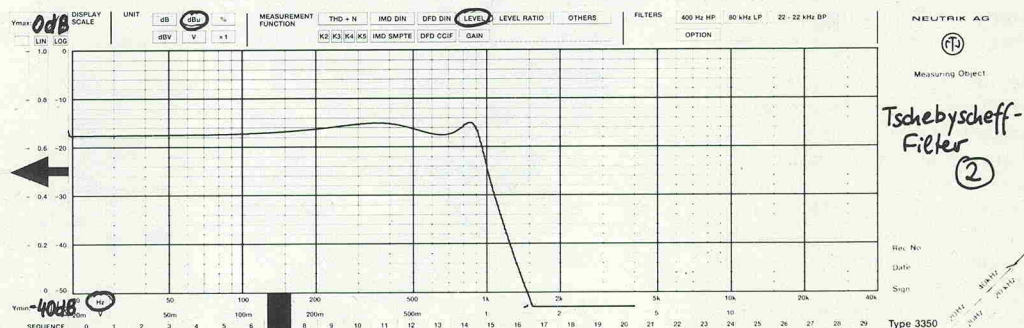


Bild 4. Tschebyscheff-Filter, jedoch gemessen mit Pegelskala -40...0 dBu.

Gerät bis an die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit ausreizen: Die Skala kann selbst definiert werden.

Im Menübaum existiert der Punkt Paperscale. Nach An-

wahl desselben kann sowohl die X- als auch die Y-Achse durch den Anwender undefiniert werden. So kann zum Beispiel im Pegelbereich ebenso gut eine Skalierung von 100 dB wie eine von 0,2 dB gewählt werden.

Etwas verführerischer ist die Umskalierung der X-Achse. Das Papier hat bereits eine Pegel- und eine Frequenzskala. Man wird sich also etwas schwer tun, nach einer Frequenzskalierung an Stelle 20 Hz - 40 kHz

von zum Beispiel 3 kHz - 8 kHz, die richtige Zuordnung zu finden. Es sei denn, man wählt einen Tabellensweep. Das eigentliche Problem der X-Skala liegt aber beim Benutzer, der meist irgendwann vergißt, daß er dieser Achse andere Werte zugeordnet hat, und daß die 20 Hz oder 40 kHz auf seiner Skala gar nicht mehr existieren.

Mit einigen Beispielen wollen wir hier zeigen, wie gut das Gerät 'in der Hand liegt'.

Wir wollen zuerst den Impedanzverlauf eines gedämpften Lautsprecherchassis über der Frequenz aufzeichnen. Dazu blättern wir mit der Menü-Taste auf die erste Menü-Seite und finden unter Punkt 2 Measure. Nach Antippen der 2 steht zur Auswahl: Period T., Sel-Level und Impedance. Wir entscheiden uns für Impedance und kehren wieder zum Meßbetrieb zurück. Das Display zeigt uns nun links oben Impedance und darunter einen mehr oder weniger gültigen Meßwert.

Der Eingang des Analyzers ist mit seinem Ausgang zu verbinden und parallel dazu der Prüfling zu schalten. Wenn jetzt der Quellwiderstand auf 600 Ohm eingestellt wird (LED in der Taste Source R darf nicht leuchten) sollten wir einen gültigen Meßwert sehen. Wir wählen eine vernünftige Ausgangsspannung und fahren mit dem Softwheel einmal die Frequenzskala durch, um zu sehen, welche Werte unsere Meßskala aufweisen muß. Bei 20 kHz finden wir den höchsten Wert mit ca. 13 Ohm.

Das Papier weist eine Aufteilung von 25 kleinen und 5 groben Rastern auf. Da auch der höchste Wert noch geschrieben werden soll, wären zum Beispiel 15 Ohm ganz angenehm. Ein Durchblättern mit der Taste Paper Scale zeigt uns, daß eine solche Skala nicht vorhanden ist. Also machen wir sie selbst.

Über die Menü-Taste haben wir Zugang zur Funktion Paperscale und dort wählen wir die Y-Achse aus. Y_{min} lassen wir auf 0 Ohm und für Y_{max} geben wir $<1> <5> <enter>$ ein. Damit haben wir, was wir wollten, kehren zum Meßbetrieb zurück, wählen bei Sweep Function Freq aus und können nach dem Papiereinlegen und Einstellen der Start-Frequenz die

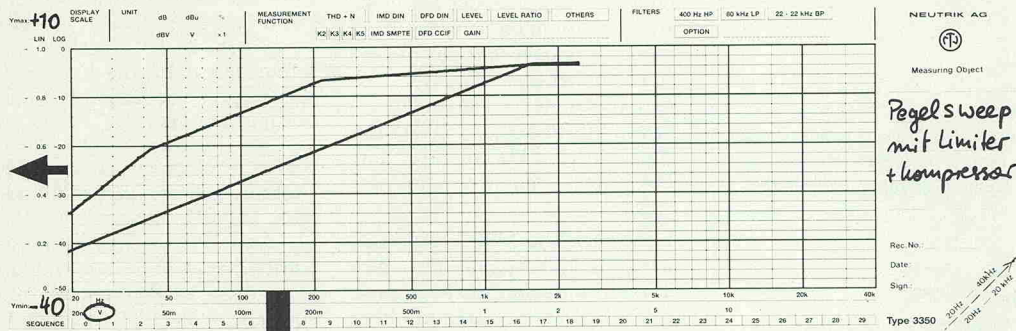


Bild 5. Amplitudengang eines Limiters mit zu- und abgeschaltetem Kompressor und Expander.

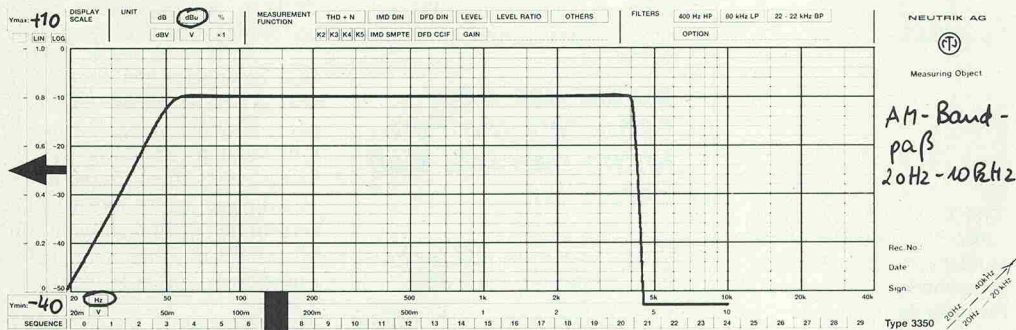


Bild 6. AM-Bandpaß, gemessen von 20 Hz...10 kHz in 999 Schritten im Bereich von -40...+10 dBu.

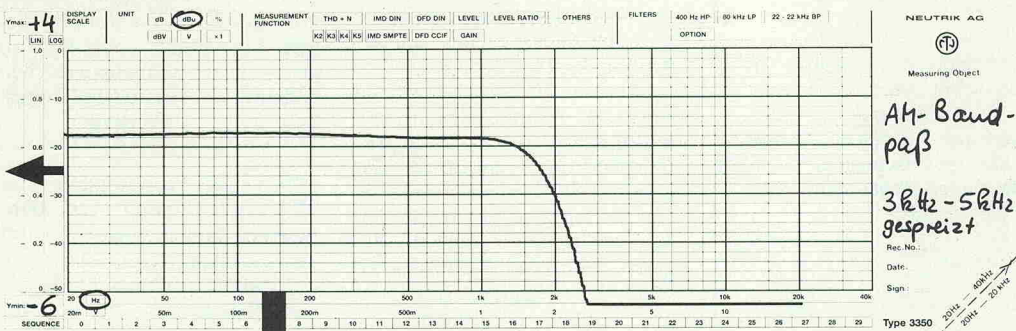


Bild 7. Wie Bild 6, aber beide Skalen gedehnt: x-Skala 3 kHz...5 kHz, y-Skala -6...+4 dBu.

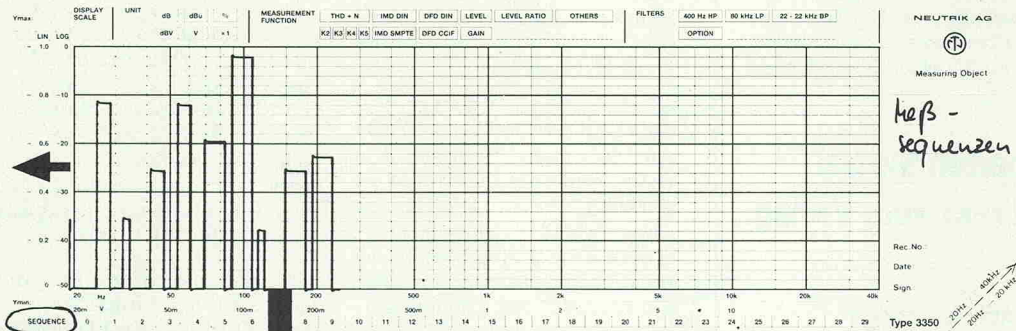


Bild 8. Indirekter Ausdruck einer Meßsequenz, die Aussagen über die Qualität eines Prüflings zuläßt.

Kompetenz

in Sachen:

Computer



Das Magazin für Computertechnik.

c't informiert detailliert über moderne Programmier-techniken, Sprachen und Betriebssysteme. c't bietet wertvolles Know-how und erprobte Applikationen. Kritische Tests, Analysen und Produktvorstellungen. Jeden Monat.



Das Multiuser Multitasking Magazin.

In Grundlagenartikeln, Hard- und Softwaretests und Erfahrungsberichten geht es vorrangig um UNIX*. iX befaßt sich aber auch mit OS/2, Netzwerken und Systemintegration. iX richtet sich an den engagierten, professionellen DV-Anwender.

iX erscheint im 2-Monats-Rhythmus.

*UNIX ist eingetragenes Warenzeichen von AT&T.

Elektronik



Fachmagazin für praktische Elektronik und Schaltungstechnik. elrad bietet monatlich aktuelle Reports und Features, behandelt Grundlagenthemen, veranschaulicht anhand von Projekten komplexe schaltungstechnische Zusammenhänge und informiert über neue Bauelemente und aktuelle Technologie Trends.

HiFi



bringt HiFi-Tests, die schonungslos enthüllen, was Geräte und Boxen wirklich können — von schnuckeligen Einstiegsanlagen bis zu sündhaft teuren Traum-Komponenten. Insider-Informationen, Hintergründe und Reportagen aus der HiFi-Szene. Reports über Musiker, Menschen und Macher. Lesespaß für Leute, die's genau wissen wollen. HIFI VISION. Jeden Monat neu.

Video



Alles über Filme. Monatlich. VIDEO VISION wählt aus: Aktuelles Filmprogramm. Auf iX Video, im Fernsehen, im Kino. VIDEO VISION testet: Neue Videokameras. Heimrecorder. Fernseher. Zubehör. VIDEO VISION beleuchtet: Stars. Studios. Produktionen. VIDEO VISION stellt vor: Produkte. Entwicklungen. Trends.

Diese Zeitschriften erhalten Sie bei Ihrem Händler. Oder direkt vom Verlag.



Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG
Helstorfer Straße 7, 3000 Hannover 61

Meßtechnik

Start-Taste am Mainframe drücken.

Bild 1 zeigt als Ergebnis einen leicht eckigen Schrieb. Das macht uns neugierig, ob bei 200 Hz das Maximum nur deshalb angezeigt wird, weil dort eine Terz liegt, bei der ein Meßwert genommen wurde. Wir wollen es gleich sehr genau wissen, wählen über das Menü einen kontinuierlichen Frequenzsweep aus und geben 20 Hz für X_{min} und 20 kHz für X_{max} ein. Die Anzahl der Meßwerte soll 999 sein.

Der Schrieb in Bild 2 zeigt, daß der Meßdurchgang mit den Terzen eine sehr gute Näherung war: Das Hauptmaximum liegt bei 200 Hz und ein Nebenmaximum bei 150 Hz.

Die Bilder 3 und 4 zeigen den Frequenzgang eines Tschebyscheff-Filters einmal mit einer

ten steileren Anstieg. Dieser soll verhindern, daß die Kompressorverstärkung auch bei kleinen Pegeln wirksam ist. Sie würde ja sonst auch das unerwünschte Rauschen noch verstärken. Dann sehen wir die Parallele zur ersten Kurve und können sehr gut eine Verstärkung von 14 dB ablesen. Anschließend dann die Kompressorlinie, die wieder in die Limitierung übergeht.

Bild 6 zeigt einen in der AM-Technik gebräuchlichen Bandpass. Dem Gerät wurde ein Pegel von 0 dBu eingespeist, es wurde die vordefinierte Y-Skala -40 bis +10 dBu gewählt und ein Sweep von 20 Hz bis 10 kHz mit 999 Schritten gefahren. Um die vermuteten Welligkeiten des 4,5 kHz-Filters aufzudecken, wurden beide Skalen durch den Benutzer gespreizt.

Selbst das Überschreiten von Fehlergrenzen läßt sich darstellen.

Y-Skalierung von -100 bis 0 dBu und einmal -40 bis 0 dBu.

Wir wollen aber auch einmal den Amplitudensweep einsetzen. Diese Funktion ist sehr gut geeignet, nichtlineare Verstärker (so heißen Limiter, Kompressoren, Expander und andere in der Fachsprache) zu überprüfen. In unserem Fall wurde ein kombiniertes Gerät zweimal gemessen. Einmal bei Gain = 0, und einmal bei Gain = 14 dB. Um die Einsatzpunkte von Expander und Kompressor gut sehen zu können, kann die im Amptd-Sweep vorgegebene Pegelerhöhung um 2 dB zu grob sein. Wir definieren uns deshalb einen Amplitudensweep von -32 dBu bis +10 dBu mit 500 Schritten. Wir starten deshalb bei -32 dBu, weil dies ca. 20 mV entspricht, und 20 mV sind der kleinste Wert auf der vorgedruckten Karte.

Als Y-Achse trifft die vorgegebene Skala von -40 bis +10 dBu sehr gut unsere Wünsche. Ein erster Meßdurchgang mit Verstärkung 0 bringt uns die untere Kurve in Bild 5. Sehr gut ist der lineare Anstieg zu sehen, bis bei +6 dBu der Limiter einsetzt. Ein zweiter Durchgang mit aufgedrehter Verstärkung zeigt uns im unteren Bereich den durch den Expander verursach-

Bild 7 zeigt den zwischen 3 kHz und 5 kHz gemessenen Übergang. Die Papierskalierung ist nun nicht mehr gültig. Die Y-Skala zeigt einen Bereich von 10 dBu (-6 bis +4 dBu). Die vermutete Welligkeit geht nur bis 0,6 dB und bescheinigt dem Filter eine sehr gute Qualität.

Zum Abschluß sehen wir in Bild 8 noch eine Sequenz, die zeigt, daß die Setups 1, 3 und 4 innerhalb, 2 und 7 unterhalb und 5, 6, 8 und 9 oberhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen. Eine Balkenbreite halb so groß wie ein Sequenz-Kästchen bedeutet innerhalb, 1/4 unterhalb und 3/4 oberhalb.

So viel Hilfestellung und Unterstützung für den, der täglich viele Messungen zu absolvieren hat, muß doch einen enormen Preis haben (denken sie jetzt). Wer bereits mit einem 'kleinen Grünen aus Liechtenstein' arbeitet, weiß aber um die Preiswürdigkeit der Audiographen-Familie. Bekommt man die Grundausstattung (Mainframe 3302, Input-Module 3312 und Output-Module 3322) schon für weniger als DM 5000, so setzt sich diese Tradition beim Analyzer 3337 fort. Zusammen mit dem Mainframe kostet er etwas weniger als DM 10 000.

Deutscher Vertrieb für die Meßgeräte der Firma Neutrik: BARCO-EMT GmbH, Wilhelm-Franz-Straße 1, 7634 Kippenheim. □

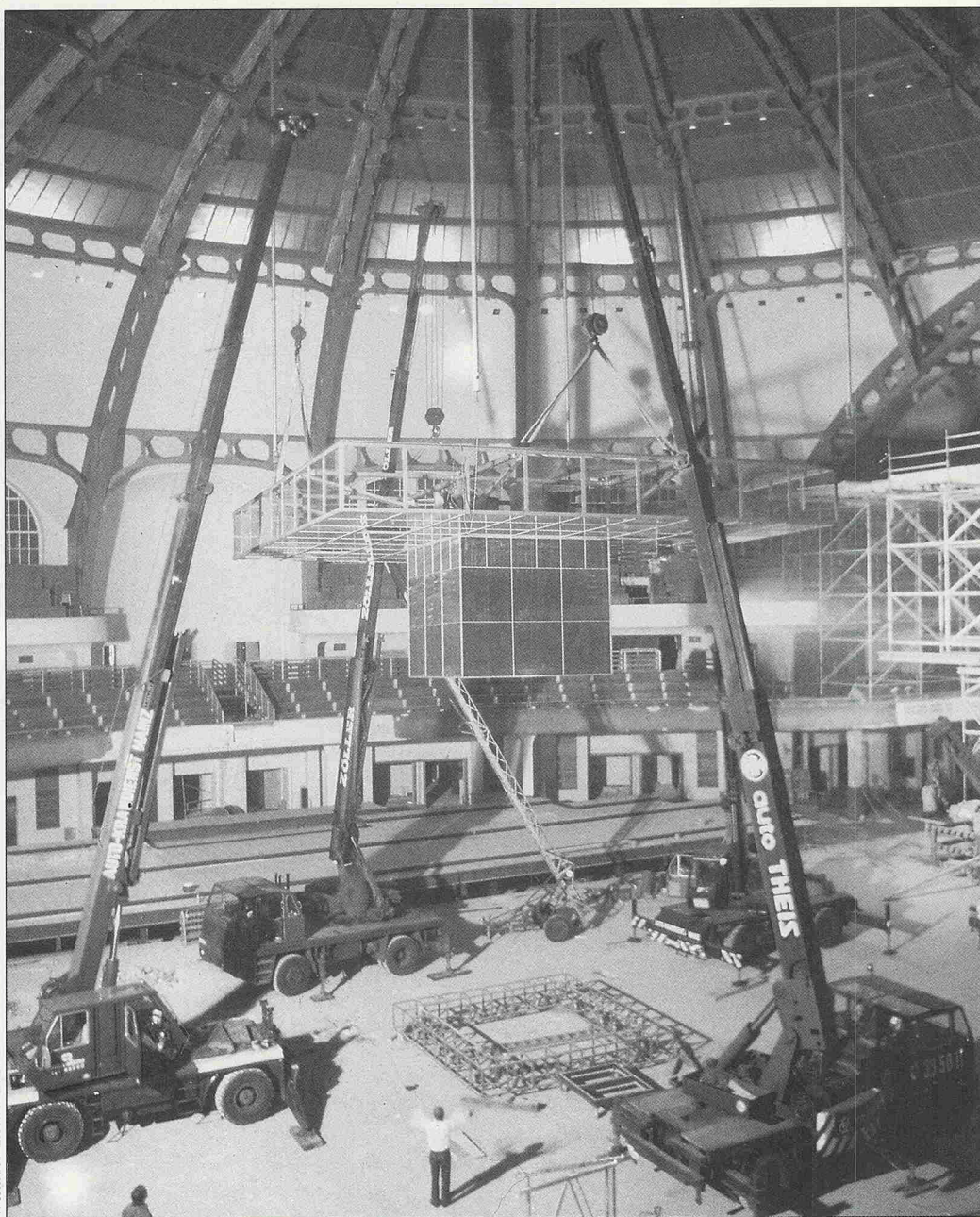
electro-acoustic

Kompetenz

in Sachen:

Computer,
Elektronik,
HiFi,
Video.





Alles unter Kontrolle!

Controllereinsatz in Beschallungssystemen

Stefani Renner

Eine gute Beschallung muß zu-
meist flächendeckend eine gro-
ße Zuhörermenge mit qualita-
tiv hochwertigen Schallsignalen
versorgen. Dazu geeignete Be-
schallungssysteme sollen in der
Hauptsache mehrere Bedingun-
gen erfüllen:

Lineare Amplituden-Frequenz-
gänge im Übertragungsbereich
(sowohl auf der Hauptabstrah-
lachse (on-axis) als auch in seit-
licher Abstrahlrichtung (off-
axis)), definiertes Abstrahlver-
halten, Verzerrungsarmut auch
bei hoher Wiedergabelautstär-
ke, Unzerstörbarkeit (und da-
durch hohe Zuverlässigkeit)
sind dabei ebenso gefragt wie
eine hohe maximale Schallei-
stung bei kleinen Boxenabmes-
sungen.

Um diesen Anforderungen ge-
recht zu werden, setzt man im-
mer mehr die sogenannten
controller- oder prozessorge-
steuerten Beschallungsanlagen
ein. Unter einem Controller
oder Prozessor versteht man
hierbei eine Steuereinheit, die
in einem aktiven Beschallungs-
system eine für die Lautspre-
cher möglichst optimale An-
steuerung der Leistungsverstär-
ker vornimmt.

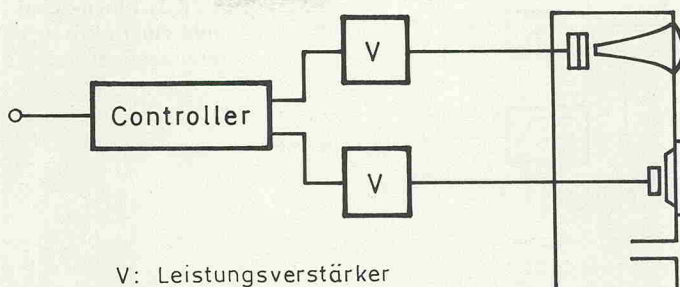
Dabei geht man davon aus, daß
die Lautsprecher die schwäch-
sten Glieder in der Übertra-
gungskette sind, und deshalb
'kontrolliert' werden müssen:
Einerseits weisen Lautsprecher,
die nach dem elektrodynami-
schen Prinzip arbeiten, eine ge-
ringe Belastbarkeit auf und sol-
len deshalb vom Controller vor
Zerstörung geschützt werden.
Nur so kann man den Laut-
sprecher tatsächlich bis zu sei-
ner Zerstörungsgrenze belasten
und damit die maximale Schall-
leistung erzeugen. Andererseits
ist die Signalübertragung durch
Lautsprecher nichtlinear, so
daß der Controller den Ampli-
tuden-Frequenzgang bzw. die
Übertragungsfunktion des ge-
samten Systems ausgleichen
soll. Es handelt sich hierbei
übrigens um ein rein analog
aufgebautes Gerät, auch wenn
der Name 'Prozessor' eine digi-
tale Schaltung vermuten läßt.
Aus diesem Grund verwenden
wir im folgenden nur den Be-
griff 'Controller'.

electro-acoustic

Filter- und Schutzschaltungen sollen im Controller dafür sorgen, daß das Eingangssignal in ein für die Lautsprecher ungefährliches Signal umgewandelt und die Amplituden- und Phasenfrequenzgänge des Lautsprechers ausgeglichen werden. Diese Aufgaben werden einerseits wie bei herkömmlichen Systemen durch statisch arbeitende Baugruppen vorgenommen. Sie verarbeiten das Eingangssignal pegelunabhängig, arbeiten also mit konstanten Einsatzpunkten. Statische Filter weisen z.B. eine feste Grenzfrequenz auf, so wie statische Verstärker eine konstante Verstärkung besitzen. Andererseits kommen aber auch Steuer- und Regelglieder zum Einsatz, welche dem Controller seinen Namen geben. Diese Baugruppen arbeiten dynamisch in Abhängigkeit von einer Regelspannung oder Stellgröße. Darunter fallen z.B. variable Filter mit veränderbaren Grenzfrequenzen, Regelverstärker und Gegenkopplungen. Maßgebend für solche Steuer- und Regelvorgänge ist neben der technischen Notwendigkeit auch das Verhalten des menschlichen Gehörs. Neben dem Schutz vor Zerstörung der Anlage soll der Controller dem Zuhörer ein gleichbleibendes, qualitativ hochwertiges Klangbild garantieren. Der Hörer soll daher die Steuer- und Regelvorgänge nicht bewußt wahrnehmen. Aus diesem Grund werden dynamische Baugruppen in kontrollierten Beschallungssystemen in aller Regel erst im Leistungsbereich eingesetzt. Eine Ausnahme bilden hier die Gegenkopplungen, die ständig Einfluß auf das Ausgangssignal des Controllers haben.

Die Belastungsgrenze und die Übertragungsfunktion eines Lautsprechers werden durch seine Bauweise, die Gehäuseform der Lautsprecherbox und die Übertragungsbandbreite bestimmt. Ein Controller ist daher nur sinnvoll, wenn er für eine spezielle Lautsprecherbox konzipiert ist, damit die Steuerelektronik auf die speziellen Gegebenheiten abgestimmt werden kann.

Um die Funktionsweise dieser Steuerelektronik zu erläutern, gehen wir in den folgenden prinzipiellen Betrachtungen vom einfachsten Fall aus, der electro-acoustic



V: Leistungverstärker

Bild 1. Ansteuerung einer Zwei-Wege-Box mit einem Controller.

Zwei-Wege-Beschallungsbox. Dabei soll ein Konuslautsprecher in einem Baßreflexgehäuse den Tieftonbereich wiedergeben und ein Druckkammerlautsprecher mit einem definiert abstrahlenden Bi-Radialhorn für den Hochtonbereich eingesetzt werden. Beide Lautsprecher sollen in ein gemeinsames Gehäuse eingebaut sein. Ein einfaches Blockschaltbild ist in Bild 1 zu sehen.

Dieser Controller kann zwar aus den unterschiedlichsten Komponenten bestehen, denn die Realisationen der o.g. Aufgaben sind vielfältig, aber einige grundlegende Hauptkomponenten müssen auf jeden Fall vorhanden sein.

○Phasenkorrigierte Frequenzweiche. Wie man in Bild 1 sieht, übernimmt der Controller die Aufgaben der Frequenzweiche. Das Eingangssignal wird also zunächst durch ein Tiefpaß- und ein Hochpaßfilter in seiner Bandbreite begrenzt. Dabei wird die tiefste wiederzugebende Frequenz von der Baßreflexabstimmung des Tieftonlautsprechers bestimmt; sie ist gleichzusetzen mit der Gehäuseresonanzfrequenz f_r . Unterhalb dieser Frequenz sollte man einen Lautsprecher nicht mehr betreiben, weil seine Membran dann zu schlecht bedämpft wäre und sich durch zu große Membranhübe selbst zerstören würde. Die obere Grenzfrequenz des Systems wird durch die Leistungsfähigkeit des Hochtontreibers festgelegt. Die oberste sinnvolle Grenze stellt allerdings die Wahrnehmungsgrenze von 20 kHz dar, oberhalb der das menschliche Ohr keinen Schall mehr wahrnehmen kann.

Die eigentliche Funktion der Frequenzweiche ist jedoch eine Frequenzaufteilung in ein

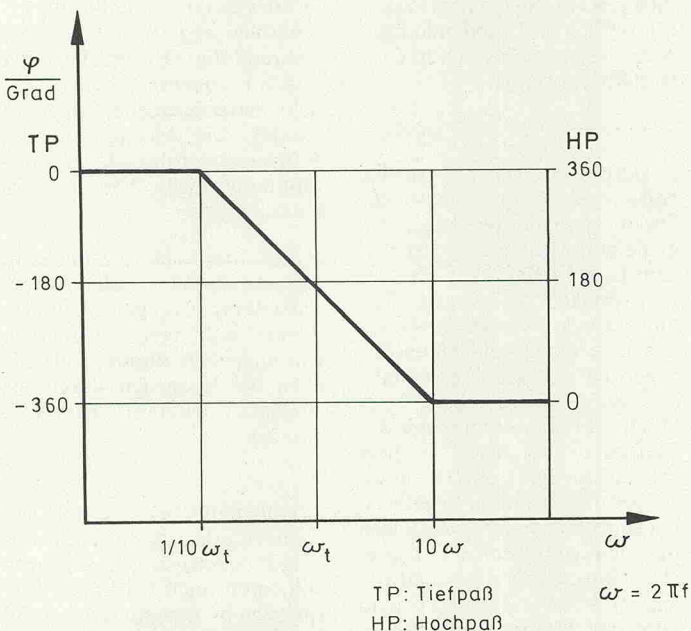
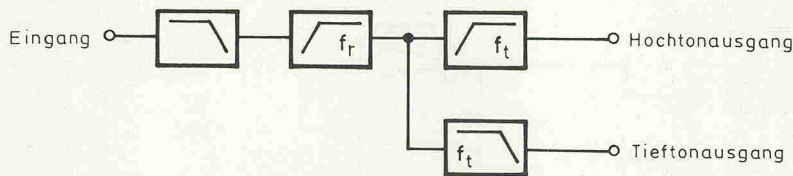


Bild 2. Bode-Diagramm von Filtern vierter Ordnung.

Hochton- und ein Tieftonsignal. Die Trennung erfolgt bei der Trennfrequenz f_t . Aber trotz steiflankiger Filter läßt es sich nicht vermeiden, daß der Frequenzbereich um f_t herum von beiden Lautsprechern wiedergegeben wird. Diese Frequenzen werden also von zwei dicht nebeneinander liegenden Schallquellen abgestrahlt, deren Signalamplituden sich überlagern. Bei gleicher Phasenlage addieren sich beide Schwingungen optimal, bei gegensätzlicher Phasenlage heben sie sich jedoch vollkommen auf. Diese Amplitudenauslöschungen äußern sich als ein Einbruch bei der Trennfrequenz im Amplituden-Frequenzgang des Beschallungssystems und sind daher unerwünscht. Um sie zu vermeiden, setzt man in der Controllertechnik häufig sogenannte phasenkorrigierte Frequenzweichen ein. Dieser Name ist eigentlich irreführend, denn in diesen Frequenzweichen findet eine Phasenverschiebung zwischen dem Eingangssignal und den Ausgangssignalen statt.

Aber untereinander haben die beiden Ausgangssignale dieselbe Phasenlage. Üblicherweise werden hier Tiefpaß- und Hochpaßfilter 4. Ordnung verwendet, die eine Dämpfungssteilheit von 24 dB/Oktave aufweisen. Der Phasen-Frequenzgang dieser Filter ist im Bode-Diagramm in Bild 2 dargestellt. Er verläuft zwischen $1/10\omega_t$ und $10\omega_t$ mit -180° pro Dekade.

Bei der Parallelschaltung beider Filter gleicher Trennfrequenz wird an beiden Ausgängen gleichermaßen eine Frequenztrennung mit einer gleichzeitigen Phasenverschiebung im Bereich von f_t erreicht. Beide Ausgangssignale werden also um den gleichen Phasenwinkel verschoben, so daß durch diese Schaltung Amplitudenauslöschungen unterdrückt werden. Das Blockschaltbild für die gesamte Frequenzweiche ist in Bild 3 dargestellt. Diese Schaltung ist schon aus der aktiven Beschallungstechnik bekannt. Alle im folgenden er-



f_r : Gehäuseresonanzfrequenz

f_t : Trennfrequenz

Bild 3. Block-Schaltbild einer aktiven Frequenzweiche.

läuterten Komponenten sind dagegen für die Controllertechnik typisch und werden auf diese Weise ausschließlich in Controllern verwendet.

○Tiefenverzögerung. An den Ausgängen der Frequenzweiche liegen zwei phasengleiche Signale zur Ansteuerung der beiden Lautsprecher vor. In der Lautsprecherbox entsteht allerdings aus konstruktiven Gründen eine akustische Signalverzögerung des Hochtonsignals, da die Abstrahlebene des Hochtontreibers hinter der des Tieftonlautsprechers liegt (s. Bild 1). Die vom Hochtontreiber abgestrahlten Schallwellen müssen daher, verglichen mit den vom Tieftonlautsprecher abgestrahlten Schallwellen, eine längere Strecke zum Ohr des Hörers zurücklegen. Diese akustische Verzögerung bewirkt ebenfalls Phasenunterschiede und damit Amplitudenauslöschungen zwischen dem Hochton- und dem Tieftonsignal. Um dies zu vermeiden, fügt man hinter der Frequenzweiche im Tieftonweg ein Allpaßfilter hinzu. Allpaßfilter haben die Eigenschaft, bei linearem Amplituden-Frequenzgang nur den Phasenwinkel frequenzabhängig zu verändern. Dieses Filter soll so dimensioniert sein, daß es bei der Trennfrequenz f_t die akustische Zeitverzögerung des Hochtonsignals elektrisch simuliert. Dabei ist allerdings zu beachten, daß sich diese Zeitverzögerung nicht so leicht berechnen läßt, denn sie entspricht nicht dem Verhältnis des Abstandes zwischen den Lautsprecher-schwingspulen zu der Ausbreitungsgeschwindigkeit c . Das kommt dadurch zustande, daß die Abstrahlebene eines Lautsprechers nicht unbedingt mit der Schwingpulenebene übereinstimmt, sondern frequenzabhängig auf der Membran bzw. dem Hornkegel wandert. Tendenziell kann man davon ausgehen, daß tiefe Frequenzen

mit großen Wellenlängen am Ort des größten Membranquerschnittes abgestrahlt werden, während die Abstrahlebene der hohen Frequenzen eher mit der Schwingpulenebene übereinstimmt. Die Abstimmung des Allpasses erfolgt daher aufgrund von meßtechnisch ermittelten Werten.

Es soll hier noch erwähnt sein, daß die durch falsche Boxenaufstellung erzeugten Amplitudenauslöschungen wesentlich extremer sein können, als die eben beschriebenen durch die Boxenkonstruktion hervorgerufenen.

○Höhenanhebung. Ein Hochtonhorn, das zu linearen off-axis-Frequenzgängen beitragen soll, muß auch bei hohen Frequenzen im gesamten Abstrahlungsbereich eine gleichmäßige Verteilung der Schallenergie vornehmen. Die bei herkömmlichen Hornformen bekannte Richtwirkung, d.h. gebündelte Abstrahlung der hohen Frequenzen, ist bei Beschallungssystemen unerwünscht, da hierbei die off-axis-Frequenzgänge entsprechend hochtonarm sind. Eine Beschallung soll aber nicht nur auf der Hauptabstrahlachse der Lautsprecher, sondern möglichst großflächig einen guten Klang gewährleisten. Man setzt deshalb meist die sogenannten Constant-Directivity-Hörner ein, die wegen ihrer Form auch Bi-Radialhörner genannt werden.

Bei diesen Hornformen sind die horizontalen und die vertikalen Abstrahlwinkel frequenzunabhängig. Sie verteilen die vorhandene Hochtonschalleistung also gleichmäßig auf eine vergleichsweise große Fläche. Allerdings ist dadurch ein Abfall des Wiedergabepegels zu den hohen Frequenzen hin unvermeidbar. Diesen Pegelabfall korrigiert man mit einer entsprechenden Anhebung des elektrischen Pegels durch ein Filter, das in den Hochtonweg

hinter die Frequenzweiche eingefügt wird (s. Bild 4).

○Ausgleich des Amplituden-Frequenzganges. Außer einem prinzipbedingten Höhenabfall treten bei der Übertragung durch Lautsprecher noch weitere Nichtlinearitäten im Amplituden-Frequenzgang auf. Um sie zu kompensieren, fügt man im einfachsten Fall einen Equalizer, also eine mehrbandige Filtereinheit vor der Frequenzweiche ein. Die Filter werden genau auf die Lautsprecher eingemessen, so daß die Gesamtübertragung linearisiert wird. Man erzeugt also, wie bei der Höhenanhebung auch, eine Pegelanhebung der zu leise wiedergegebenen Frequenzen. Dabei kann man jedoch nicht beliebig den Pegel erhöhen, weil man damit auch die an den Lautsprecher abgegebene Leistung erhöht. Bei dem Hochton-Druckkammerlautsprecher, der einen relativ hohen Wirkungsgrad gegenüber dem Konus-Tieftonlautsprecher hat, ist eine Pegelerhöhung meist unkritisch, weil er in Kombination mit diesem Konuslautsprecher normalerweise noch Leistungsreserven hat. Außerdem machen die betroffenen hohen Frequenzen normalerweise nur einen geringen Anteil im Leistungsspektrum von Musik (s. Bild 7) oder Sprache aus, so daß eine Pegelerhöhung dort nur eine geringe Leistungsvergrößerung darstellt. Der Tieftonlautsprecher wird aber durch eine extreme Pegelerhöhung sehr stark belastet, besonders wenn es sich um sehr tiefe Frequenzen handelt, bei denen die Membran große Hübe ausführen muß. Er erreicht dabei eher seine Belastungsgrenze, als bei einem Betrieb ohne Equalizer. Gerade bei Beschallungslautsprechern, die oft hohe Wiedergabepiegel erzielen müssen, sollte man daher nicht versuchen, die Wiedergabe eines schlechten Lautsprechers durch den Einsatz

von Filtern zu linearisieren. Es ist auf jeden Fall sinnvoller, durch die Wahl geeigneter Lautsprecher und passender Boxengehäuse einen einigermaßen linearen Amplituden-Frequenzgang der Box zu erzielen, und am Equalizer nur noch einen geringen Pegelausgleich vorzunehmen.

○Frequenzselektive Regelverstärkung. Lautsprecher können grundsätzlich durch zwei verschiedene Überbelastungen zerstört werden: durch thermische Überlast und durch zu große Materialermüdung. Thermische Belastung entsteht bei der Umwandlung der elektrischen Energie in Schallenergie und Wärme. Da die nach dem elektrodynamischen Prinzip arbeitenden Lautsprecher im allgemeinen über einen niedrigen Wirkungsgrad verfügen, kann sich eine Schwingspule bei dauernder Belastung sehr stark erhitzen. Bei thermischer Überbelastung können Defekte am Schwingpuldraht oder am Spulenkleber auftreten. Meist löst sich die Schwingspule teilweise vom Spulenträger ab, so daß sie den Luftspalt blockiert und nicht mehr frei schwingen kann. Gerade bei Beschallungssystemen, die oft große Schallpegel erzielen müssen, ist daher eine gute Wärmeableitung und eine große Wärmefestigkeit wichtig. Hochwertige Systeme mit speziellen Spulenklebern können dabei Temperaturen bis zu 350° erreichen, ohne Schaden zu nehmen. Eine thermische Überlastung ist wie gesagt eine zu hohe Dauerbelastung.

Ganz im Gegenteil dazu entsteht eine Materialermüdung bei zu großen Amplitudenspitzen, also bei Impulsbelastung. Dabei schwingt die Membran nicht mehr kolbenförmig, sondern sie verformt sich, weil die große Membran nicht der schnellen Beschleunigung der Schwingspule folgen kann. Je nach Membransteifigkeit führt dies früher oder später zu Rissen in der Membran, da das Material ermüdet. Einen ähnlichen Effekt haben Partial-schwingungen, die entstehen können, wenn die Wellenlänge der abstrahlenden Frequenz kleiner als der Membrandurchmesser ist. Die Membran schwingt auch dann nicht mehr kolbenförmig, sondern sie

führt Schwingungen auf der Membranoberfläche aus. Partialschwingungen lassen sich durch eine Verstärkung der Membran und durch die richtige Wahl der Trennfrequenz einigermmaßen unterdrücken. Die beiden anderen Zerstörungssachen werden dagegen in kontrollierten Beschallungssystemen durch den Einsatz von Kompressoren und Begrenzern verhindert. Sie regeln bei einem zu hohen Eingangssignal die Verstärkung auf ein für die Lautsprecher ungefährliches Maß zurück und werden deshalb auch allgemein 'Regelverstärker' genannt. Das dynamische oder auch Impuls-Verhalten eines Regelverstärkers wird durch mehrere Parameter charakterisiert:

○Die Einschwingzeit beschreibt die zeitliche Reaktion auf einen sprunghaften Pegelanstieg am Verstärkereingang;

○Die Rücklaufzeit beschreibt die zeitliche Reaktion auf einen sprunghaften Pegelabfall am Verstärkereingang;

○Der Schwellwert gibt den Mindestpegel an, bei dem die Verstärkungsregelung einsetzt.

Man unterscheidet in der Controllertechnik zwischen zwei verschiedenen Regelverstärkern, die sich durch ihre Parameter unterscheiden. Gegen thermische Überlastung, die bei zu hohem Dauerpegel auftritt, setzt man einen langsam einschwingenden und rücklaufenden Begrenzer ein. Begrenzer regeln die Verstärkung beim Erreichen des Schwellenwertes soweit zurück, daß ihr Ausgangssignal einen bestimmten Wert nicht überschreiten kann.

Sie wirken als Leistungsbegrenzer, so daß auch die Wärmeentwicklung in der Schwingspule begrenzt wird. Diese Art der Regelung nennt man auch Effektivwertregelung.

Die Impulsbelastung kontrolliert man mit einem schnellansprechenden Kompressor, der die Amplitudenspitzen des Signals komprimiert. Daher nennt man diese Regelung auch Spitzenwertregelung. Der Kompressor regelt dabei das Ausgangssignal nicht, wie der Begrenzer, auf einen höchstzulässigen Pegel zurück, sondern er verkleinert sein Verstärkungsmaß um einen fest vorgegebenen Faktor. Ist sein Kompressionsverhältnis z.B. 10/1, so steigt bei einer Eingangsspegelerhöhung um 10 dB der Ausgangspegel um 1 dB an. Schnellansprechende Regelverstärker sind allerdings in ihren Regelvorgängen hörbar; sie werden als sogenanntes Pumpen oder sogar als Knacken vom Hörer wahrgenommen. Der pumpende Eindruck entsteht immer dann, wenn eine Geräuschquelle, z.B. bei Musikbeschallung das Schlagzeug, durch ihren hohen Geräuschpegel den Schwellwert überschreitet. Die anderen Geräuschquellen, in diesem Fall z.B. das restliche Orchester, werden im Takt des Schlagzeuges lauter und leiser geregelt. Man umgeht diesen unerwünschten Effekt, indem man den Schwellwert des Regelverstärkers erhöht, oder seine Rücklaufzeit vergrößert. Dadurch verhindert man einen zu frühen Regeleinsatz, bzw. man verlangsamt den Regelvorgang, so daß er vom Hörer weniger deutlich wahrgenommen werden kann. Je größer außerdem das Kompressionsverhältnis ist, desto stärker wird das Pumpen hör-

bar. Eine zu kurze Einschwingzeit nimmt der Hörer dagegen als Knackgeräusch wahr, weil das menschliche Gehör nur eine begrenzte zeitliche Auflösung hat. Spricht der Regelverstärker zu schnell an, so entsteht ein sehr steiler Pegelabfall, der vom Gehör als Sprungfunktion und damit als Knackgeräusch identifiziert wird. Man muß daher gerade bei schnellansprechenden Regelverstärkern einen Kompromiß zwischen größtmöglichem Schutz und unverfälschtem Höreindruck eingehen. Wenn man den Regelverstärker erst im Leistungsendbereich des Lautsprechers einsetzen läßt, so ist der sichere Schutz vor Zerstörung aber auf jeden Fall wichtiger, als ein unverfälschter Höreindruck. Man darf ja nicht vergessen, daß man 'unkontrollierte' Beschallungsanlagen niemals so nah an der Belastungsgrenze betreibt. Bei vergleichbaren kontrollierten Systemen hat man die gleiche Belastungsgrenze, die allerdings durch den Einsatz der Regelverstärker nicht überschritten werden kann.

Im Controller werden die Regelverstärker frequenzselektiv eingesetzt. Darunter versteht man eine Anordnung, bei der die Regelung hinter der Frequenzweiche in jedem Frequenzbereich separat vorgenommen wird. Man kann auf diese Weise jeden Lautsprecher mit je einem schnell ansprechenden und einem langsam ansprechenden Regelverstärker schützen. Diese Methode hat zwei Vorteile:

○Die Schwellwerte können genau auf die Belastbarkeit des Lautsprechers abgeglichen werden. Man stellt diese Schwell-



Der Referenzkopfhörer:

STAX SR-Lambda Pro

Audio 3/1986 und 2/1988
Stereoplay 3/1986
HIFIVISION 12/1988
fono forum 1/1989
(mit Diffusfeldentzerrung)

Der Bezugskopfhörer des IRT:

STAX SR-Lambda Pro mit Verstärker SRM-Monitor Broadcast

Sieben weitere Elektrostat-Kopfhörer der Referenzklasse bzw. (absoluten) Spitzenklasse laut Tests in Fachzeitschriften sowie vierzehn Zusatzgeräte finden Sie im 86-seitigen STAX-Katalog im CD-Format.
Bitte mit DM 3,- in Briefmarken anfordern bei

AUDIO ELECTRONIC
Postfach 1401,
D-4000 Düsseldorf 1

werte so ein, daß die Regelverstärker nur im Gefahrenfall, im Leistungsendbereich des Lautsprechers aktiv werden. So erreicht man, daß im Normalbetrieb keine Regelung stattfindet, sondern das Signal nur einen Operationsverstärker mit der Verstärkung 1 durchläuft. Nur bei akuter Zerstörungsgefahr wird vom Regelverstärker Einfluß auf das Signal genommen.

○Normalerweise wird bei einer vernünftigen Dimensionierung der Beschallungsanlage in der Praxis nur eine zeitweilige Überlastung jeweils eines Lautsprechers auftreten. Die dadurch entstehende kurzzeitige Regelung in einem der beiden Frequenzbereiche ist für den Hörer wesentlich unauffälliger, als eine Regelung des gesamten Frequenzbereiches.

Regelverstärker sind spannungsgesteuerte Verstärker. Man benutzt normalerweise die gleichgerichtete und integrierte

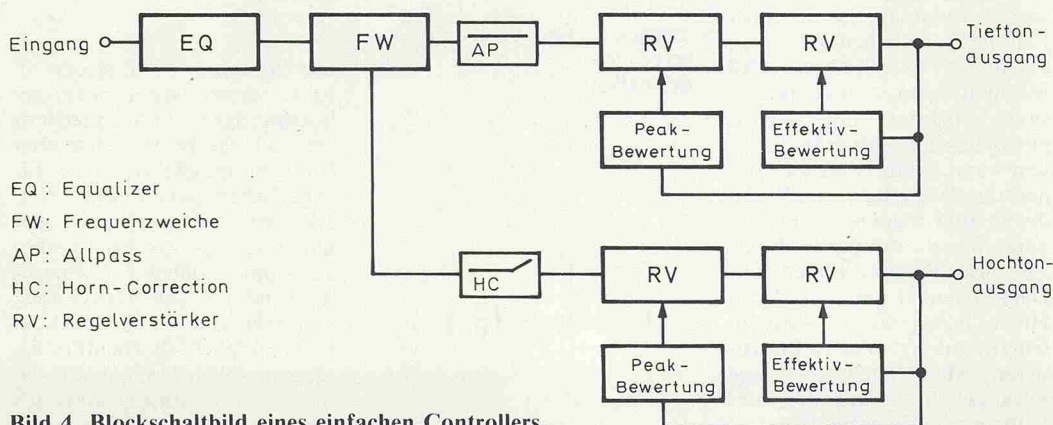


Bild 4. Blockschaltbild eines einfachen Controllers.

Ausgangsspannung des Regelverstärkers als Steuerspannung. Man kann aber genauso an anderen Stellen die anliegende Spannung abgreifen und zur Spannungssteuerung verwenden — z.B. am Ausgang des Leistungsverstärkers. Man muß dabei nur beachten, daß die Steuerspannung immer proportional zu der an den Lautsprecher abgegebenen Spannung ist.

Aus den bis hierhin besprochenen Hauptkomponenten kann man schon einen einfachen Controller zusammenstellen. Sein Blockschaltbild ist in Bild 4 dargestellt. Aufwendiger aufgebaute Controller lassen sich in ihren Funktionen immer auf die in diesem einfachen Controller verwirklichten Funktionen zurückführen. Man kann sich dieses 'Modell' also als Grundstock vorstellen, in dem weitere, später erwähnte Komponenten zusätzlich oder anstelle einer anderen Komponente eingebaut sein können.

Anstelle eines Equalizers kann man auch in jeden Lautsprecherweg eine Membranvoraussteuerung einfügen. Dieses Zusatzgerät soll die vom Lautsprecher erzeugten, systembedingten Nichtlinearitäten im Amplituden- und Phasen-Frequenzgang ausgleichen. Diese Nichtlinearitäten kommen durch das komplexe Zusammenspiel von elektrischen Größen der Schwingspule und mechanischen Größen des Masse-Feder-Systems zustande, das der Lautsprecher zusammen mit seinem Gehäuse bildet. Da das Induktionsgesetz, auf dem die Wirkungsweise eines elektrodynamischen Lautsprechers beruht, reversibel ist, haben mechanische Resonanzen Rückwirkungen auf das elektrische Verhalten des Lautsprechers. Das heißt aber, daß der Impedanzverlauf an der Schwingspule, und damit das Übertragungsverhalten des Lautsprechers durch diese mechanischen Größen beeinflusst wird. Daher kann man für die mechanischen Größen elektrische Entsprechungen finden, indem man sie durch elektrische Größen mit den gleichen elektrischen Auswirkungen er-

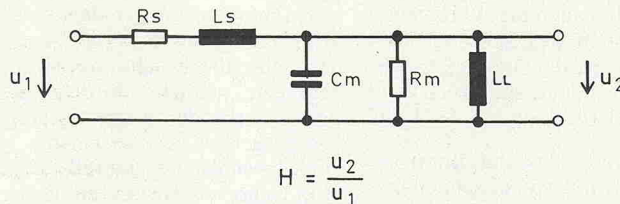


Bild 5. Vereinfachtes Lautsprecher-Ersatzschaltbild.

setzt. Eine solche Ersatzschaltung ist also rein aus elektrischen Bauteilen zusammengesetzt und simuliert das elektrische Verhalten des Lautsprechers. Je genauer man mit dieser Schaltung das elektromechanische System 'Lautsprecher' nachbilden will, desto größer wird auch der Schaltungsaufwand. Bei dem sog. 'Transducer Preset System', einer zum Patent angemeldeten Membranvoraussteuerung, greift man daher auf ein vereinfachtes Ersatzschaltbild zurück (Bild 5), mit dem man je nach Dimensionierung der Bauteile alle Lautsprecher zumindest annähernd nachbilden kann. An diesem Ersatzschaltbild wird deutlich, daß die Übertragungsfunktion H_{LS} eines in ein Gehäuse eingebauten Lautsprechers von der Abstimmung der einzelnen Parameter, wie Membranmasse, Steife der Membranaufhängung, Gehäusegröße und Gehäuseform abhängig ist. Dieses vereinfachte Ersatzschaltbild gilt übrigens nur für Lautsprecher in geschlossenen Gehäusen, wobei der frequenzabhängige Strahlungswiderstand der Luft noch vernachlässigt wurde. Bei einem Baßreflexgehäuse, das ja selbst einen Resonanzkreis bildet, sieht eine Ersatzschaltung viel komplizierter aus. Aber schon an diesem einfachen Bild kann man sehen, daß selbst bei einer guten Abstimmung der einzelnen Parameter trotzdem frequenzabhängige Dämpfungen und Resonanzen nicht zu vermeiden sind; d.h. daß die Übertragungsfunktion niemals linear sein kann. Man berechnet daher die Übertragungsfunktion der in Bild 5 gezeigten Ersatzschaltung, die mit der des Lautsprechers übereinstimmen soll. Dann versucht man, sie durch Hinzufügen eines weiteren Übertragungsgliedes zu linearisieren. Man erstellt also eine Zusatzschaltung mit der zum Lautsprecher inversen Übertra-

gungsfunktion $H_Z = H_{LS}^{-1}$. Fügt man diese Zusatzschaltung vor dem Lautsprecher in den Übertragungsweg ein, so entspricht dies einer Multiplikation beider Übertragungsfunktionen. Es gilt daher:

$$H_{Ges} = H_Z \cdot H_{LS} = H_{LS}^{-1} \cdot H_{LS} = 1$$

Die Übertragungsfunktion der Einheit 'Zusatzschaltung-Lautsprecher' ist folglich linear. Vom Ausgangssignal der Zusatzschaltung wird der Lautsprecher so angesteuert, daß seine fehlerbehaftete Signalwiedergabe im Voraus ausgeglichen wird. Man nennt diese Schaltung daher Membranvoraussteuerung oder auch Kompensationsschaltung.

Man linearisiert damit bei gutem Abgleich die Übertragungsfunktion des gesamten Übertragungssystems. Die Übertragungsfunktion ist aber nichts anderes als der komplexe Frequenzgang, der sich aus dem Amplitudengang AG und dem Phasengang PG zusammensetzt. Diese beiden Größen errechnen sich folgendermaßen:

$$AG = \sqrt{Re^2 + Im^2}$$

$$PG = \arctan \left(\frac{Im}{Re} \right)$$

- R_s : Gleichstromwiderstand der Schwingspule
- L_s : Schwingspuleninduktivität
- C_m : Bewegte Masse
- R_m : mechanische Reibung
- L_L : Luftfedersteife
- u_1 : Eingangsspannung
- u_2 : Ausgangsspannung
- H : Übertragungsfunktion

Bei einer linearen Übertragungsfunktion, bei welcher Im und Re als konstant angenommen werden, ist daher ein linearer Verlauf des Amplituden- und Phasenganges erreicht. Bei einem ideal kompensierten Lautsprechersystem ist demnach eine lineare Wiedergabe des Eingangssignals zu erwarten. Die Membranvoraussteuerung entspricht also einem Amplituden- und Phasenequalizer. Allerdings können mit dieser Zusatzschaltung nur prinzipbedingte Übertragungsfehler ausgeglichen werden. Andere veränderliche Größen — außer der im Ersatzschaltbild berücksichtigten — können nicht ausgeglichen werden. Man geht daher von den Voraussetzungen aus, daß

- die Antriebskraft des Lautsprechers pegelunabhängig ist, d.h. daß sich die Schwingspule des Lautsprechers auch bei hohen Lautstärkepegeln im homogenen Magnetfeld bewegt,
- die Membraneinspannung eine pegelunabhängige Steife aufweist, so daß sie auch bei großen Membranhüben konstant ist,
- die Membran keine Partialschwingungen ausführt,
- der Lautsprecher nicht mehr altert.

Die Membranvoraussteuerung ist aus diesen Gründen nur bei hochwertigen Lautsprechern sinnvoll, die in den genannten Punkten möglichst ideale Eigenschaften haben. Eine vollständige Linearisierung der Übertragungsfunktion ist aber auch mit hohem Schaltungsaufwand bei der Verwendung von sehr guten Lautsprechern kaum möglich, da Nichtlinearitäten der oben genannten Parameter im Leistungsendbereich eines Lautsprechers unvermeid-

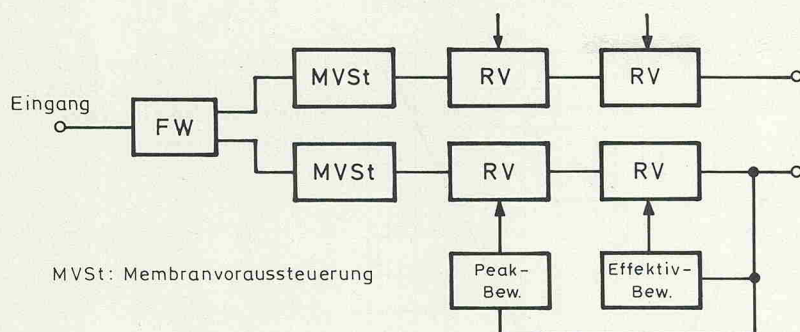


Bild 6. Controller mit Membran-Vorverstärkung.

Sprache, so daß eine gute Wiedergabe einer Beschallungsanlage in diesem Bereich besonders wichtig ist. Berechnet man die auf die Lautsprecher verteilte abstrahlende Nutzschalleistung, so muß der Konuslautsprecher bei diesem Beispiel etwa 85 % der gesamten Nutzleistung abstrahlen. Die verbleibenden 15 % werden vom Hochtontreiber wiedergegeben.

bar sind. Gerade beim Einsatz in Beschallungssystemen muß man deshalb bedenken, daß eine Verbesserung der Wiedergabe vor allem bei mittleren Lautstärkepegeln zu erwarten ist. Bei einer hohen Belastung der Lautsprecher treten nach wie vor Nichtlinearitäten auf. Die Membranvorverstärkung bewirkt, wie der Equalizer in dem einfachen Controller auch, eine Pegelanhebung bei den zu leise wiedergegebenen Frequenzen. Man verändert also nicht das Wiederverhalten des Lautsprechers, sondern man ändert die Ansteuerung und damit die an den Lautsprecher abgegebene Leistung. Genau wie beim Equalizer muß man auch hier zu große Pegelanhebungen vermeiden, die zu einer früher einsetzenden thermischen Überlastung der Schwingspule führen. Auch aus diesem Grund ist eine Membranvorverstärkung nur bei hochwertigen Lautsprechern sinnvoll, die einerseits einen relativ ausgeglichenen Amplituden-Frequenzgang haben und andererseits unempfindlich gegen eine Überhitzung sind. Die Hauptaufgabe der Membranvorverstärkung liegt dann in der Linearisierung des Phasenverlaufes, dessen Änderung keine Leistungsänderung mit sich bringt.

Auf jeden Fall muß man die von der Steuerschaltung hervorgerufenen Pegelanhebungen bei der Effektivwertregelung berücksichtigen. Anderenfalls ist kein ausreichender Zusammenhang zwischen dem geregelten Signal und dem Lautsprecher-Eingangssignal gewährleistet. Man fügt die Membranvorverstärkung daher vor den Regelverstärkern in den Controller ein (s. Bild 6). Bei dem Abgleich der Steuerschaltung auf den dazugehörigen Lautsprecher kann man auch die Zeitverzögerung des Tiefsignals und die Hochtonan-

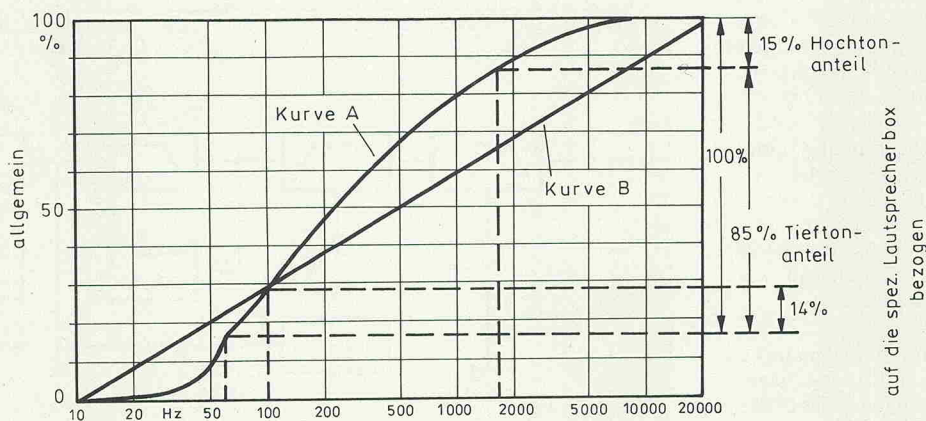


Bild 7. Leistungsspektrum von Musik nach DIN 13320.

hebung im Hochtonweg berücksichtigen, so daß der Controller nur noch aus der Frequenzweiche, den Membranvorverstärkungen und den Regelverstärkern besteht.

Die meisten kontrollierten Beschallungssysteme sind im Tieftonbereich mit einem 15'-Konuslautsprecher bestückt. Es gibt aber auch Anlagen, bei denen ein kleinerer 12'-Lautsprecher verwendet wird, damit die Lautsprecherbox kompakter gebaut werden kann. Ein solcher Lautsprecher muß dann beispielsweise einen Frequenzbereich von 60 Hz bis 1600 Hz übertragen, also fast vier Oktaven. Bei hohen Wiedergebepegeln treten dabei vermehrt Verzerrungen und Lautsprecherüberlastungen auf. Die Überlastungen kann man, wie bei anderen kontrollierten Systemen auch, durch Regelverstärker verhindern, wodurch jedoch die auftretenden Verzerrungen nicht vermindert werden.

Bei zu starkem Begrenzer- oder Kompressorereinsatz entsteht außerdem ein unnatürliches, fla-

ches Klangbild aufgrund der eingegengten Signaldynamik. Verzerrungen, insbesondere Intermodulationsverzerrungen, kann man nur vermeiden, indem man entweder den Gesamtpegel reduziert oder die Wiedergebebandbreite verringert. Die erste Lösung ist nicht immer möglich, und daher nimmt man im Leistungsendbereich oft eine Bandbreitenverringern vor.

Das Leistungsspektrum von Musik hat nach DIN 13320 einen Verlauf, wie er in Bild 7 dargestellt ist. Bei einer über den gesamten Übertragungsbe- reich gleichmäßigen Schalleistungsverteilung (rosa Rauschen) würde sich in dieser Darstellung eine Gerade (B) ergeben. Statt dessen verteilt sich die abstrahlende Nutzleistung bei Musikbeschallung in etwa so, wie es die Kurve (A) darstellt. Auffällig an der Kurve ist der dem Frequenzgang des Ohres entsprechende Verlauf. Im mittleren Frequenzbereich, in dem das Ohr die größte Empfindlichkeit aufweist, liegt auch ein Großteil der abstrahlenden Musikleistung. Hier liegt ebenfalls die Hauptinformation der menschlichen

Verschiebt man die unterste Wiedergebefrequenz dynamisch beispielsweise auf 100 Hz und verkleinert damit den Baßwiedergebebereich um knapp eine Oktave, so reduzieren sich auch die Intermodulationsverzerrungen entscheidend. Statt fast vier Oktaven umfaßt die Wiedergebe-Bandbreite des Tieftonlautsprechers nur noch etwa drei Oktaven. Gleichzeitig wird aber auch insgesamt etwa 14 % weniger Nutzschalleistung abgestrahlt. Auf den Tieftonlautsprecher bezogen ergibt dies eine Nutzleistungseinsparung von etwa 16,5 %. Hinzu kommt, daß sich die tiefen Frequenzen bis ca. 100 Hz kugelförmig ausbreiten, so daß ein Großteil der Schalleistung ungenutzt nach hinten abgestrahlt wird. Als Nutzleistung kalkuliert man deshalb bei freistehenden Lautsprecherboxen normalerweise die doppelte Schalleistung ein. Man erreicht durch eine im Baßbereich vorgenommene Bandbreitenbegrenzung also sowohl eine Verzerrungsverminderung als auch eine frequenzabhängige Leistungsverringern und schützt den Lautsprecher damit vor Überbelastungen. Für die Anwendung dieses Beschallungs-

systems ist im Leistungsendbereich aufgrund der frequenzabhängigen Leistungsverringerung zu beachten, daß der Lautstärkeindruck der Wiedergabe bei der Erhöhung des Eingangspegels nur noch gering ansteigt. Eine Schalleistungsvergrößerung findet nicht mehr statt. Der, wenn auch nur geringe, Anstieg des Lautstärkeindrucks ist vielmehr auf die Umverteilung der Schalleistung von leiser wahrgenommenen Frequenzbereichen in den Frequenzbereich größter Gehörempfindlichkeit und gerichteter Abstrahlung des Lautsprechers zurückzuführen. Die Grenzfrequenz, die bei einer solchen Bandbreitenbegrenzung mindestens noch wiedergegeben werden muß um keine störenden Klangverfärbungen zu erzeugen, ist von der Art des Signals und vom Signalpegel am Hörerort abhängig.

Bei mittleren Abhörlautstärken hat man den in Bild 8 gezeigten Zusammenhang von der oberen und unteren Übertragungsgrenzfrequenz f_o , f_u und des Qualitätseindrucks eines übertragenen Musikwerkes beim Hörer ermittelt. Eine Wiedergabequalität von 100 % erfordert danach einen Übertragungsbereich von 30 Hz bis 15 kHz. Läßt man einen Qualitätsverlust von 10 % zu, so ist ein Übertragungsbereich von 90 Hz bis 7 kHz ausreichend. Allerdings muß die Bandbreiteneinengung so vorgenommen werden, daß das Produkt von f_o , f_u größenordnungsmäßig dem des Originalspektrums entspricht. Laut Literaturangaben (Webers) liegt der ideale Wert dieses Produktes bei 400 000 bis 500 000.

Gleichzeitig sollte der Schwerpunkt auf einer logarithmischen Skala bei ungefähr 900 Hz liegen. Ansonsten nimmt das Gehör den Gesamtklang des übertragenen Signals als zu hell oder zu dunkel wahr. Man kann deshalb nicht ausschließlich den Tieftonbereich, der ja den größten Membranhub erzeugt und mit anteilig größter Leistung abgegeben werden muß, in der Bandbreite begrenzen. Statt dessen muß gleichzeitig die obere Grenzfrequenz herabgesetzt werden, was eine wesentlich größere Einschränkung der Gesamtbandbreite zur Folge hat. Von daher kann die Bandbreitenbe-

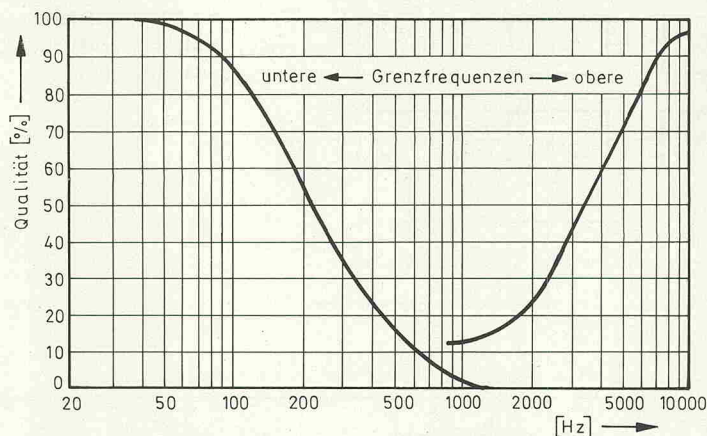


Bild 8. Qualität eines übertragenen Musikwerkes in Abhängigkeit von den Grenzfrequenzen.

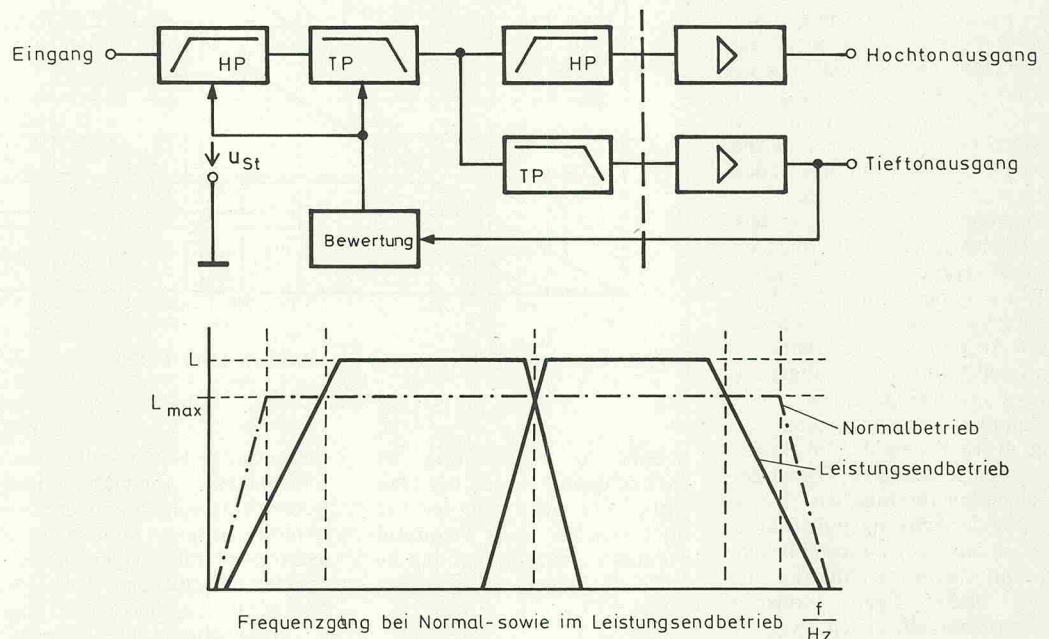


Bild 9. Blockschaltbild (oben) und Funktionsweise (unten) der Bandbreitenbegrenzung.

grenzung in einem hochwertigen Beschallungssystem nur mit geringer Grenzfrequenzverschiebung betrieben werden. Die Herabsetzung der oberen Grenzfrequenz ist nur aus psychoakustischer, nicht aber aus technischer Sicht notwendig, da der Hochtontreiber von den höchsten Frequenzen, die im Musiksignal nur mit geringem Leistungsanteil vorhanden sind, kaum thermisch überbelastet wird. In der betrachteten Konzeption ist für den Druckkammerlautsprecher im Hochtonbereich neben dem Einsatz von Regelverstärkern kein zusätzlicher Schutz notwendig. Seine Übertragungsbandbreite ist außerdem schon im Normalbetrieb geringer als die des Tieftonlautsprechers, so daß die Neigung zu Intermodulationsverzerrungen entspre-

chend geringer ist. Die Realisation einer Bandbreitenbegrenzung sieht beispielsweise so aus: Die aktive Frequenzweiche ist wie üblich aufgebaut aus einem Hochpaß im Hochtongang und einem Tiefpaß gleicher Grenzfrequenz. Die eigentliche Funktion der Frequenzweiche, die Trennung des Übertragungsbereiches in zwei Teilbereiche, wird bei der Steuerung nicht verändert. Das durchlaufende Signal wird zusätzlich mit variablen Filtern, nämlich einem Hochpaß im Tieftonweg und einem Tiefpaß im Hochtongang auf einen Frequenzbereich von normalerweise 55 Hz bis 16 kHz eingeschränkt. Dies soll der Übertragungsbereich dieser Anlage bei Normalbetrieb sein. Die Filter weisen eine hohe Dämpfungssteilheit auf, um einen sicheren Schutz vor

den unerwünschten Frequenzen, insbesondere vor Infraschall, zu gewährleisten.

Um im Leistungsendbereich den Übertragungsbereich verkleinern zu können, werden die Filter spannungsgesteuert. Die Steuerspannung wird aus der effektiv-bewerteten Endstufen Ausgangsspannung des Tieftonweges erzeugt, womit eine zuverlässige Kontrolle der an den zu schützenden Lautsprecher abgegebenen Leistung erreicht wird. Steigt die Steuerspannung auf einen bestimmten Wert an, so werden die Grenzfrequenzen f_o , f_u der Filter nach unten bzw. oben verschoben. Eine Verschiebung unter Beibehaltung der hohen Dämpfungssteilheit wäre aber auf jeden Fall hörbar, da die betrof-

fenen Frequenzen plötzlich im Übertragungsbereich fehlen würden. Verringert man gleichzeitig mit der Grenzfrequenzverschiebung die Dämpfungsteilheit der Filter, so werden die betroffenen Frequenzen langsam ausgeblendet (s. Bild 9). Dieser Vorgang erweist sich als viel weniger auffällig und damit für ein hochwertiges Beschallungssystem als geeigneter. Die Bewertungsschaltung, die aus der Endstufenausgangsspannung die Steuerspannung erzeugt, weist eine hohe Zeitintegrationskonstante auf. Die Grenzfrequenzverschiebung wird also sehr langsam vorgenommen. Diese Maßnahme verringert die Wahrnehmbarkeit des Regelvorganges, da das Ohr langsame Veränderungen kaum erkennt.

Man kann einen vom Lautsprecher ausgeführten Übertragungsfehler theoretisch völlig eliminieren, indem man den Lautsprecher in eine Regelschleife mit dem Endverstärker einbezieht. Dies ist ein aus der Regelungstechnik allgemein bekanntes Prinzip. Hierbei kann man den Lautsprecher als einen Vierpol betrachten, dessen Ausgang über ein Dämpfungsglied auf den Eingang des Endverstärkers gegengekoppelt

wird. Der reale Lautsprecher ist aber, auf elektrischer Ebene betrachtet, kein Vierpol, denn sein 'Ausgang' arbeitet auf mechanisch-akustischer Ebene. Um ein elektrisches Ausgangssignal eines realen Lautsprechers zu erhalten, werden deshalb unterschiedliche Größen wie die Membranposition, Membranschnelle oder die Membranbeschleunigung durch spezielle Meßumformer gemessen und in eine elektrische Spannung umgewandelt. Dazu sind Konstruktionsänderungen am Lautsprecher notwendig. Eine andere Möglichkeit der Meßwertaufnahme besteht darin, den Strom durch die Schwingspule als eine dem Lautsprecherfehler proportionale Größe anzusehen. Der durch die Schwingspule fließende Strom wird beim Lautsprecher durch die Addition zweier Spannungen, der Eingangsspannung u_E und der Gegeninduktionsspannung u_{ind} erzeugt. Die Gegeninduktionsspannung entsteht, sobald die Lautsprechermembran und die an ihr befestigte Schwingspule bewegt werden. Sie stellt damit ein Maß für die auf den Lautsprecher wirkende Kraft dar, wobei allerdings die auf der Membran ausgeführten Partialschwingungen nicht berücksichtigt werden. Im Idealfall sollte diese Spannung daher der Eingangsspannung genau ent-

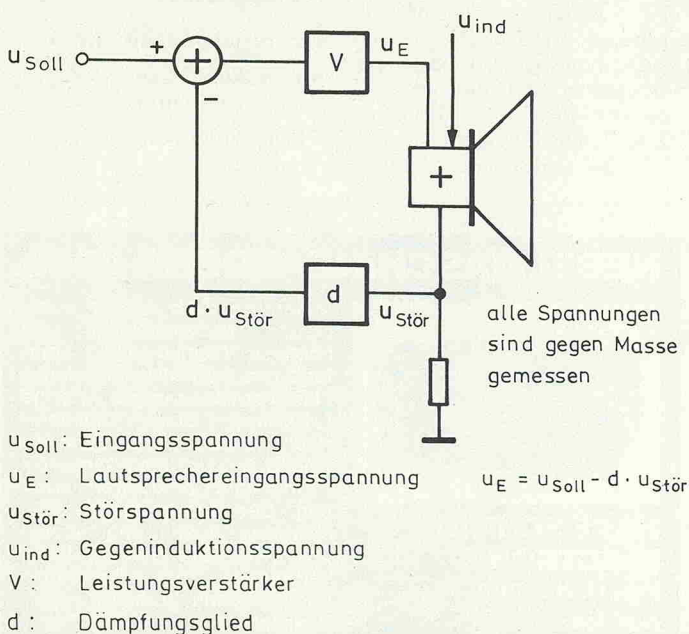


Bild 10. Prinzip der Lautsprechergegenkopplung mit Hilfe der Gegeninduktionsspannung.

electro-acoustic

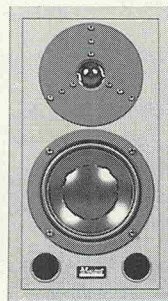
DYNAUDIO®

CRAFFT. Das kompakte Studio-Kraftwerk.

Mit CRAFFT bietet DYNAUDIO jetzt einen in jeder Hinsicht beeindruckenden Lautsprecher für die professionelle Anwendung als Nahfeld-Monitor an:

- computeroptimierte 2-Wege Baßreflex-Konstruktion;
- Baßlautsprecher mit 75 mm-Schwingspule für optimalen Antrieb und großen Sicherheitsreserven bezüglich Belastbarkeit;
- Hochtonbereich mit dem schon jetzt legendären ESOTART 330 D, der ohne Kompression Signale bis über 2000 – in Worten: zweitausend – Watt verarbeitet;
- systemintegrierte Filtertechnik.

Kurz gesagt: wohl selten zuvor konnte ein derart kompakter Studio-Monitor eine so beeindruckende Baßdynamik und Präzision mit ebenso unvorstellbarer Dynamik und Detailzeichnung vereinen.



Die ausführliche Produkt-Information senden wir Ihnen postwendend zu; Anruf oder Karte genügen.

Winsberggring 28
 2000 Hamburg 54
 Telefon 040/85 80 66

DYNAUDIO®
 AUTHENTIC FIDELITY

gegengesetzt folgen. Sie ist bei diesem idealen Lautsprecher also gleich der negativen Eingangsspannung. Weicht der reale, fehlerbehaftete Lautsprecher von diesem Ideal ab, so weicht auch im gleichen Maß die negative Gegeninduktionsspannung von der Eingangsspannung ab. Alle Nichtlinearitäten, wie Resonanzen an der Membran, Membranträgheit, Nichtlinearitäten der Membranaufhängung u.ä. verursachen also auch Abweichungen der Gegeninduktionsspannung vom Idealwert. Die entstehende Spannung $u_{Stör}$ ist daher ein Maß für die vom Lautsprecher ausgeführten Übertragungsfehler.

$U_{ind} = -U_e$
 beim idealen Lautsprecher

$U_{ind} + U_e = U_{Stör}$
 beim realen Lautsprecher

In Bild 10 ist ein Prinzipschaltbild dieser Gegenkopplung angeführt. Dabei geht man davon aus, daß am Lautsprechereingang tatsächlich nur das Ausgangssignal des Endverstärkers anliegt. Diese Lautsprechereingangsspannung u_E ist in dieser Darstellung also gleich der verstärkten Sollspannung. Im Lautsprecher wird die der Eingangsspannung entgegengesetzte Gegeninduktionsspannung u_{ind} hinzuaddiert, so daß am Ausgang die Störspannung $u_{Stör}$ anliegt. Diese Spannung wird gedämpft auf den negativen Eingang des Verstärkers gelegt, also gegengekoppelt. Das heißt aber nichts anderes, als daß man am Verstärkereingang den aufgetretenen Fehlerwert vom Sollwert abzieht, und ihn damit auslöscht. Im Idealfall könnte man mit dieser Methode den Gesamt frequenzgang des Übertragungssystems vollkommen linearisieren. Allerdings sind in der Realität Grenzen gesetzt.

Zum einen wird durch die Gegenkopplung die Endverstärkerleistung bedämpft. Man

muß sie daher größer dimensionieren, als bei vergleichbaren nichtgegekoppelten Lautsprecher-Systemen. Um beliebig große Abweichungen in der Übertragung ausgleichen zu können, müßte man auch eine beliebig große Endverstärkerleistung zur Verfügung haben. Aber selbst wenn die Endverstärkerleistung eine extrem starke Gegenkopplung, d.h. eine nur schwache Abdämpfung der Störspannung gegenüber der Sollspannung erlauben würde, wäre eine vollkommene Linearisierung der Übertragung nicht möglich. Der Gegenkopplung sind nämlich durch die Gefahr der Eigenschwingung im Regelkreis Grenzen gesetzt.

Gerade bei einem System mit großer Übertragungsbandbreite entstehen bei der Übertragung durch den Lautsprecher Laufzeiten und damit Phasenverschiebungen zwischen der Sollspannung und der Störspannung. Wenn diese Phasenverschiebung eine Größenordnung von 90° erreichen, wird die Störspannung nicht mehr von der Sollspannung subtrahiert, sondern sie wird hinzuaddiert. Dadurch steigt die Verstärkereingangsspannung an, und es gelangt eine entsprechend größere Spannung auf den Eingang des Lautsprechers (in die Regelschleife) und wieder zurück auf den Eingang des Verstärkers. Damit ist im Extremfall ein Schwingkreis entstanden, weil sich die Gegenkopplung in eine Mitkopplung verwandelt hat. Diese Schwingungsneigung ist von der Phasenverschiebung und vom Pegel der gegengekoppelten Spannung, und damit der Dämpfung im Regelkreis abhängig.

Kritisch sind besonders Phasenverschiebungen von 180° bei niedriger Dämpfung, weil in diesem Fall eine echte Mitkopplung vorliegt. Vergrößert man die Dämpfung, so verringert man aber nicht nur die Schwingungsneigung, sondern auch die positive Wirkung der Regelschleife.

Eine Schwingungsneigung des Systems entsteht nicht nur durch Phasenverschiebungen zwischen der Störspannung und der Sollspannung. Sie tritt genauso bei der Übersteuerung einer Einzelstufe des gegengekoppelten Systems auf. Wird z.B. der Endverstärker übersteuert, so erzeugt er Frequenzen, die im Eingangssignal nicht vorhanden waren, d.h. daß die Spannung u_e an seinem Ausgang nicht mehr proportional zu seiner Eingangsspannung $v(u_{\text{Soll}})$ ist. Damit steigt auch die Störspannung unkontrolliert an, so daß wieder ein Schwingkreis entstanden ist.

Übersteuerungen können in allen beteiligten Komponenten auftreten. Der Lautsprecher, dessen Übertragungsfunktion man durch die Regelschleife ja ausgleichen will, darf also auch auf keinen Fall übersteuert werden. Wenn die Schwingspule dem Eingangssignal nicht mehr folgen kann, steigt die Störspannung, wie bei einer elektrischen Übersteuerung, zu stark an. Man muß den Lautsprecher in einem gegengekoppelten System daher unbedingt vor Übersteuerung schützen. Wie auch eingangs schon erwähnt, gleicht die Lautsprechergegenkopplung nur fehlerhafte Schwingspulenbewegungen aus. Nichtlinearitäten aufgrund von Partialschwingun-

gen können daher nicht ausgeglichen werden. Eine Verbesserung der Wiedergabe ist aus diesem Grund vor allem bei tiefen Frequenzen zu erwarten, bei denen die Membran quasi kolbenförmig schwingt.

Wie bei allen Wiedergabesystemen steht auch bei kontrollierten Beschallungssystemen die naturgetreue Wiedergabe des Originalsignals im Vordergrund. Im Unterschied zu herkömmlichen Systemen versucht man dies durch eine vom Hersteller vorgenommene Änderung der elektrischen Ansteuerung zu erreichen. Die dabei eingesetzten Maßnahmen wie Equalizing, Voraussteuerung oder Gegenkopplung sollen den Amplituden-Frequenzgang bzw. die Übertragungsfunktion des Übertragungssystems linearisieren. Dies geschieht jedoch immer nur soweit, wie das schwächste Glied, also der verwendete Lautsprecher es zuläßt. Genau wie bei unkontrollierten Systemen muß man daher auch in der kontrollierten Beschallungstechnik Wert auf hochwertige Lautsprecher legen. Alle von der Steuerelektronik erzeugten Verbesserungen der Wiedergabe beziehen sich nur auf die Hauptabstrahlachse der Lautsprecherbox. Das räumliche Abstrahlverhalten kann nur durch bauliche Veränderungen, wie der Wahl einer geeigneten Hornform, verbessert werden. Die Boxenkonzeption ist also nach wie vor auch in der Controllertechnik von Bedeutung. Kontrollierte Beschallungssysteme sind aufgrund der sicheren Schutz-

maßnahmen wie Regelverstärkereinsatz und evtl. Bandbreitenbegrenzung quasi unzerstörbar. Sie bieten damit eine größtmögliche Zuverlässigkeit.

Schon allein diese Schutzfunktion stellt einen großen Vorteil gegenüber unkontrollierten Beschallungssystemen dar, bei denen der Anwender selbst diese Aufgabe übernehmen muß. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß ein gutes kontrolliertes Beschallungssystem viele Vorteile in sich vereint, und die Entwicklung von Controllern für Beschallungssysteme deshalb auf jeden Fall zu begrüßen ist.

Literaturhinweise

Dickreiter, M.. Handbuch der Tonstudiotechnik. KG Saur-Verlag. München, 1982.

Webers, J.. Tonstudiotechnik. 3. Auflage. Franzis-Verlag. München, 1979.

Zwicker, E.. Psychoakustik. Springer-Verlag. Berlin, New York, Heidelberg, 1982.

Zwicker, E. u. Zollner. Elektroakustik. Springer-Verlag. Berlin, New York, Heidelberg, 1987.

Prospekte

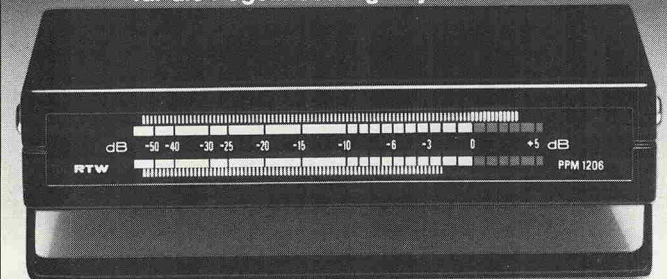
d & b audiotechnik, Korb

Meyer-Sound-Laboratories, Berkley. / California.

Pfleid-Wohnraumakustik, München.

ANZEIGEN

RTW Aussteuerungsmesser 1206 für die Pegelmessung an jeder NF-Schnittstelle



RTW RADIO-TECHNISCHE WERKSTÄTTEN GMBH
 D-5000 Köln 71 · Elbeallee 19 · Tel. 02 21/7 09 13-33 · Fax 02 21/7 09 13-32
 A-5020 Salzburg · Acousta Elektronik · Tel. 06 62/84 6164 · Tx. 6 33 008
 CH-8064 Zürich · Audio Bauer AG · Tel. 01/4 32 32 30 · Tx. 8 22 177
 NL-5616 Eindhoven · P.A.C. · Tel. 040/42 44 55 · Tx. 59 281

NEBELMASCHINE KOBRA-4000



HAPE SCHMIDT ELECTRONIC

Inh. H. Schmidt
 Box 1552
 D-7888 Rheinfelden
 Tel. 076 23-6 27 56

Außerordentlich robust verarbeitete Nebelmaschine mit höchster Nebelleistung + Komfort f. gesundheitlich unbedenkli. Fluid. Fernsteuerung m. Anzeige f. Heizung + Start + Tanküberwachung. Dauerbetriebsfest. Mit eingeb. beleuchtetem Tank. 10V = Eingang f. Computeransteuerung. Geruchloser Nebel. Vollelektron. Ausführung. Leistung: 2KW/220V. Gewicht: 12Kg. Verbrauch: 75mL./Min. Rückgaberecht. Info gratis. Preissenkung!
 Best.-Nr.1299 Preis nur 798,- DM.
 5 Ltr. Fluid Preis 67,26 DM.

Quintessenz

KLANGTECHNIK

120-500 Watt / 8 Ohm
180-750 Watt / 4 Ohm
Stereo-Mono-Module

TRANSIENTONE

aktive Kabeltechnik

AMBIOTECH

Raumakustik-Elemente
Absorber, Diffusoren, Reflektoren



Röhrenverstärker



ÉCOUTON-Audiolabor

2-Weg-Lautsprecher

LQL-50 Nahfeldmonitor

LQL-70 Nahfeldmonitor

LQL-200 Abhörmonitor für

Klangfarbenanalyse

und Klangwellenortung,

besonders genaue Baßwiedergabe

INFORMATIONEN

Ecouton-Audiolabor

Postfach 226

4920 Lemgo 1

Rehor 389051

electro-acoustic

Professionelle
Discothekenausstattung:
Scheinwerfer
Punktstrahler • Mischpulte
Endstufen • Lautsprecher
Flightcasematerial
Spezialeffekte
Dekorationsbedarf

Bitte Farbkatalog
anfordern.

**DELTA
SOUND**
Inh. Detlef Risse
Altensteiner Str. 39 • 4730 Ahlen
MUSIK- UND LICHTTECHNIK
Rufen Sie uns an:
02382/71492

KKSL

PA-Profi

Ohren auf!

Holt Euch den besten Sound auf die Bühne. Bei uns das Komplett-Programm für den Profi. Von unserem umfangreichen Kabel- und Steckverbindungen-Lager über PA-Lautsprecher, Mischpulte, Endstufen, 8-Spur-Tonbandmaschine u. v. m. bieten wir vor allen Dingen die Möglichkeit, auf einer Probebühne vor Ort Ihren persönlichen Sound gleich auszuprobieren. Kommen Sie einfach vorbei!

06152 **KKSL** 39615

Beschallungstechnik,

Otto-Wels-Str. 1, 6080 Groß-Gerau

Revolutionäre Technologie für professionelle Produktion

Moderne Zeiten brechen an im professionellen Produktionsbereich mit dem neuen Mikrofon RE 45 N/D von Electro-Voice. Denn es ist das weltweit erste „Shotgun“ mit der revolutionären Technologie des Magnetmaterials Neodymium. Die Vorteile:

- variabel einsetzbar als Produktions- oder Reportage Mikrofon
- N/DYM Kapsel für höhere Empfindlichkeit und höheren Output
- keine Batterien oder Phantomspeisung notwendig
- kompakte Außenmaße (292 mm Länge) und geringes Gewicht (212 g)
- Warm Grip™ Griffummantelung zur Reduzierung von Handlinggeräuschen

RE 45 N/D – High-Tech von Electro-Voice!



Electro-Voice®

a **MARK IV** company
Lärchenstraße 99, 6230 Frankfurt 80

Besuchen Sie uns!
15. TONMEISTERTAG
MAI 88
16. bis 19. November
STAND: K 30

Schweiz: Electro-Voice S.A.
Keltenstraße 5, CH-2563 Ipsach

Österreich: Ing. F. Cerveny
Karolinengasse 21, A-1041 Wien



Analog + Digital = Saje Memory

Werkfoto: Saje

Auf der AES-Convention 1988 in Paris wurde von der in der Nähe ansässigen Firma Saje ein rechnergesteuertes Mischpult, das Saje Memory, vorgestellt. Im Gegensatz zu den bereits vorhandenen digitalen Mischpulten ist das Saje Memory ein von der Signalverarbeitung her analog arbeitendes Pult, das aber von mehreren Rechnern gesteuert wird. Dieses — auch finanziell — tragfähige Konzept wurde vom allgemeinen Trend auf der Tonmeistertagung im November 88 in Mainz bestätigt.

Bei der Konzeption des Pultes ist offensichtlich darauf geachtet worden, das Pult von der Benutzeroberfläche her ähnlich flexibel zu gestalten, wie dies mit digitalen Pulten realisierbar ist. Insofern stellt das Saje Memory einen Beitrag zur Lösung der Grundsatzfrage über die Nützlichkeit des Einsatzes digitaler Signalverarbeitung in der Studioelektronik dar.

Wer sich nämlich bisher wegen der 'aufgeräumten' Benutzeroberfläche für ein Digitalpult entschieden hätte, der kann seine Wahl nun anhand klanglicher Kriterien treffen. Die Möglichkeiten der Rechnersteuerbarkeit, des Abspeicherns von Setups sowie die Flexibilität der Bedienung werden vom Saje Memory jedenfalls auch geboten.

Zudem ist es interessant zu bemerken, daß das Saje Memory unter anderem als Livepult, also nicht nur für den Studioeinsatz entwickelt wurde. (Beispielsweise wird es auf der Tournee von Michael Sardou durch Europa für die Abmischung eingesetzt.) Dies erfordert einige zusätzliche Konstruktionsmerkmale, insbesondere was die Geschwindigkeit von Bedienvorgängen betrifft. Die Firma Saje ist ebenfalls Hersteller von konventionell aufgebauten Pulten und verfügt daher über die notwendige

Erfahrung, was die analoge Hardware betrifft. Diese umfaßt für das hier vorgestellte Pult die folgenden Baugruppen:

- die eigentliche Konsole mit bis zu 48 motorisierten Fadern und den VU-Metern.

- vier sog. Audio-Racks.

- einen VME-Bus-Rechner.

- einen IBM-AT kompatiblen Rechner.

- eine Festplatte sowie ein Diskettenlaufwerk.

- drei spezielle Keyboards.

- ein herkömmliches alphanumerisches Keyboard.

- einen hochauflösenden Farbmonitor.

- einen Schwarz/Weiß-Monitor.

- ein integriertes Modem.

- einen Kartenleser.

Diese Hardware wird zu einem System zusammengestellt, das zusammen mit der notwendigen Betriebssoftware das eigentliche Mischpult bildet. Dabei findet die eigentliche (analoge) Signalverarbeitung direkt im Pult in den sogenannten 'Audio-Processing-Racks' statt, die von dem VME-Bus Rechner kontrolliert werden, während der angeschlossene IBM-AT für die visuelle Benutzeroberfläche zuständig ist.

Interessant ist, daß man sich bei der Konstruktion des Saje Memory weitgehend an Industriestandards, wie dem IBM-AT oder dem VME-Bus, orientiert hat. Dies spart nicht nur Entwicklungskosten, sondern kann auch die Zuverlässigkeit des Produktes steigern, wenn auf bereits erprobte Baugruppen zurückgegriffen werden kann.

Im Vergleich mit einem herkömmlichen Analogmischpult werden nun die bekannten Eingangs- und Ausgangskanalzüge durch Module in den Audio Processing Racks dargestellt.

Dabei verfügt jedes Input-Modul über drei transformatorsymmetrische Eingänge sowie über drei Inserts. Darüber hinaus enthält jedes Modul einen vierfach-parametrischen EQ, VU- bzw. Peakmeter, Treble- und Basscuts, 16 Gruppenaus-

gänge und einen Direktausgang, sowie MUTE, PFL, SOLO-Funktionen, Ground-Lift, einen Testoszillator, Phantomspannung P48 und optional ein Kompressor/Noise-Gate.

Jedes Ausgangsmodul enthält zwei Ausgänge, zwei Inserts, MUTE, PFL, Ground-Lift, VU- bzw. Peakmeter sowie einen 14-Band Graphic-EQ.

Die Einstellparameter aller Module können mit dem Drehknopf oder Tasten/Schaltern der speziellen (dedicated) Keyboards, einem der Fader oder gleichzeitig mit einem Bedienelement des 'virtual-module-image', also der Bildschirmdarstellung des Moduls, verbunden und verändert werden.

Alle Parameteränderungen werden von dem Steuerrechner innerhalb von wenigen Millisekunden erfaßt und in der Analogelektronik entsprechend umgesetzt.

Alle Mischpulteinstellungen können auf der kleinsten wählbaren Festplatte (20MB) bis zu einer maximalen Anzahl von 12000 Konfigurationen abgespeichert und wieder aufgerufen werden. Darüber hinaus können diese Konfigurationen in einer Sequenz angeordnet werden und ermöglichen so die dynamische Speicherung des Ablaufs eines Mischvorganges, wobei für die Nachbearbeitung in den gespeicherten Ablauf eingegriffen werden kann.

Dazu gehört auch, daß das Pult Peripheriegeräte wie z.B. Bandmaschinen steuern und in die gespeicherte Sequenz einbeziehen kann, wie dies beispielsweise bei der Film- und Videotonachbearbeitung erforderlich ist.

Zwei interessante Besonderheiten weist das Memory zusätzlich auf. Das Pult besitzt einen eingebauten Kartenleser, der es zusammen mit an die Benutzer ausgegebenen Magnetkarten erlaubt, ähnlich wie bei einem Großrechner, Privilegien an Benutzer zu verteilen und individuelle Pulteinstellungen vor Zugriff und unbefugter Veränderung zu schützen.

Wie immer man solche Features beurteilen mag, das Saje Memory ist eine interessante Bereicherung des Mischpultmarktes im Spannungsfeld der Diskussion um digitale vs. analoge Mischpulttechnik. □

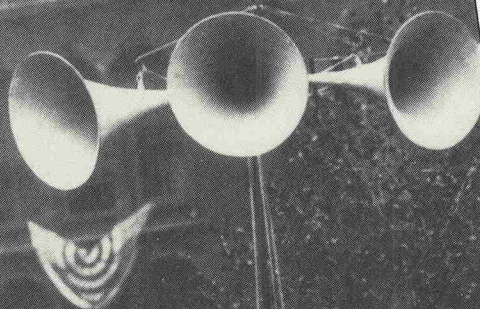
D.M.

electro-acoustic

Wir

gratulieren!

Das 25. Jubiläum feierte die mobile Trompetenschule Deusen (MTD) mit einem zünftigen Umzug. Die Schüler, für diesen großen Tag, für diesen großen Tag, vom Zwang des Übens befreit, montieren ihre Instrumente auf einem hohen Mast, den es unter großem Hallo zu erklettern galt. Der Lehrkörper (rechts, mit Rüssel) hält sich ein wenig abseits. Welche ungeheure Belastung das jahrzehntelange Blasen für den Körper bedeutet, zeigt sich an der kräftigen, gedrungenen Statur der Musikpädagogen. Glaubt man nicht trotz des Festtages eine gewisse Melancholie in ihren Augen erkennen zu können ...?



Information + Wissen



Verlag Heinz Heise
GmbH & Co KG
Helstorfer Straße 7
3000 Hannover 61

magazin für
computer
technik

magazin für elektronik

HIFI
VISION
VIDEO
VISION

Die Inserenten

Altec Lansing, Frankfurt	39	HAPE Schmidt, Rheinfelden	76
AUDIO ELECTRIC, Markdorf	25	KEMTEC, Gütersloh	43
Audio Electronic-Studio, Düsseldorf	71	KKSL, Groß-Gerau	77
Blue Box, Bremen	43	Lautsprecher Manufaktur, Mannheim	25
blue valley, Kassel	25	Lautsprecher & Lichtanlagen, Niederkassel	51
BOSE, Friedrichsdorf	Umschlagseite 4		
Delta Sound, Ahlen	77	MIK Elektroakustik, Walldorf	5
DYNAUDIO, Hamburg	75	MONARCH, Bremen	5, 9
ECOUTON, Lemgo	77	Peerless, Düsseldorf	9
EDY Musikhandel, Dülmen	5	RE-INSTRUMENTS, Jülich	7
electroakustik, Stade	5	RTW, Köln	76
Electro-Voice, Frankfurt	77	Seidel, Minden	5
etm electronic, Zülrich-Enzen	5	Sennheiser Electronic, Wedemark	Umschlagseite 2
FÖÖN, Solingen	25	Sound Clinic, Ingelheim	9
Glockenklang, Extertal	9	VISATON, Haan	25
Hall, Adam, Usingen	9	Wiemann, Herford	39

Impressum:

electro acoustic

Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

Helstorfer Straße 7

Postfach 610407

3000 Hannover 61

Telefon: 0511/547470

Telex: 923173 heise d

Telefax: 0511/5352-129

Kernarbeitszeit 8.30–15.00 Uhr

Postgiroamt Hannover, Konto-Nr. 93 05-308

Kreissparkasse Hannover, Konto-Nr. 000-019968
(BLZ 250 502 99)

Herausgeber: Christian Heise

Redaktion: Peter Röbbke-Doerr (verantwortlich)

Manfred H. Kalsbach, Johannes Knoff-Beyer,
Thomas Latzke, Hartmut Rogge

Ständige Mitarbeiter: Dieter Michel, Wolfram Altenhövel

Redaktionssekretariat: Dominik Schilling

Technische Assistenz: Marga Kellner, H. J. Berndt

Grafische Gestaltung: Ben Dietrich Berlin,
Wolfgang Ulber (verantwortl.), Dirk Wollschläger,
Karin Buchholz

Fotografie: Lutz Reinecke

Verlag und Anzeigenverwaltung:

Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

Helstorfer Straße 7

Postfach 610407

3000 Hannover 61

Telefon: 0511/5352-0

Telex: 923173 heise d

Telefax: 0511/5352-129

Geschäftsführer: Christian Heise, Klaus Hausen

Objektleitung: Wolfgang Penseler

Anzeigenleitung: Irmgard Digtens

Anzeigenverkauf: Werner Wedekind

Disposition: Gerlinde Donner-Zech, Pia Ludwig,
Christine Paulsen, Brigitte Wendelborg

Vertrieb: Wolfgang Bornschein, Anita Kreutzer

Bestellwesen: Andreas Rinne

Herstellung: Heiner Niens

Druck:

R. van Acken, Josefstr. 35, Lingen/Ems

Satz:

Hahn-Druckerei, Im Moore 17, 3000 Hannover 1
Ruf (0511) 708370

Bezugsmöglichkeit:

electro acoustic erscheint zunächst, in unregelmäßigen Abständen, drei- bis viermal im Jahr und kann vorerst nur direkt beim Verlag zum Einzelpreis von DM 16,80 bestellt werden.

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Die geltenden gesetzlichen und postalischen Bestimmungen bei Erwerb, Errichtung und Inbetriebnahme von Sende- und Empfangseinrichtungen sind zu beachten.

Die gewerbliche Nutzung, insbesondere der Schaltpläne und gedruckten Schaltungen, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers zulässig. Die Zustimmung kann an Bedingungen geknüpft sein.

Honorierte Arbeiten gehen in das Verfügungsrecht des Verlages über. Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlages. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht.

Sämtliche Veröffentlichungen in electro acoustic erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes. Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Printed in Germany


© Copyright 1989 by Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

Titelfoto: Lutz Reinecke

Durchbruch: 8.3.89

Im 2-Monats-Rhythmus



 steht für UNIX. Die Betriebssysteme, die Maschinen, die Applikationen. Aber auch für die Integration verschiedener Systeme, OS/2 und Netzwerke. „ix“ das Multiuser Multitasking Magazin. Kompetent und unabhängig.

Für professionelle DV-Anwender. Für alle, die mit UNIX zu tun haben: Entwickler, Programmierer, Entscheidungsträger. „ix“ — jetzt im 2-Monats-Rhythmus.

Überall dort, wo es Zeitschriften gibt.

Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Helstorfer Str. 7, 3000 Hannover 61, Tel. (05 11) 53 52-0



UNIX ist eingetragenes Warenzeichen von AT&T.

Von denen hören Sie nichts.

Jeder Wandler hat im Studio seine besonderen Tücken: Er steht zwischen Original und Ohr. Wo er hörbar auf sich aufmerksam macht, verzerrt er das Ergebnis der Studioarbeit bis zur Unkenntnis. Lautsprecher sind ein besonders sensibles Glied der Wandlerkette. Ihre Neutralität und Zurückhaltung ist die Voraussetzung Ihrer Urteilsfähigkeit. Professionelle BOSE® Systeme bieten schon auf den ersten Blick Spitzentechnologie in äußerst kompakten Gehäusen. Und akustisch erfüllen sie Ihre Aufgabe perfekt und absolut unauffällig. Sie hören nicht den Lautsprecher, sondern das musikalische Original – völlig unverzerrt, kraftvoll, klar und in seiner ganzen Dynamik.



An welchem Platz im Studio auch immer – BOSE® hat das Beste für Profis: 802, 302 und 402 für den kraftvollen Sound-Check, Die Weltneuheit ACOUSTIMASS® pro mit höchsteffizientem Schaltverstärker und neuester Baßtechnologie, die sensationelle ACOUSTIC WAVE® Cannon für Bässe bis 25 Hz, die 101 Music Monitor® am Mischpult und die neue,

aktive RoomMate® II mit Akku im 12 Volt Betrieb unterwegs im mobilen Einsatz. BOSE® macht aus Ihrem Studio eine neutrale Zone – zumindest da, wo Lautsprecher gebraucht werden. Natürlich haben auch BOSE® Systeme eine Alternative: Sie hören künftig direkt das Original.

BOSE®
Better sound through research.

BOSE GmbH · Postfach 1125
Max-Planck-Straße 36 b
6382 Friedrichsdorf / Taunus



Schicken Sie diesen Info-Coupon einfach an:

BOSE GmbH
Postfach 1125
6382 Friedrichsdorf / Ts.

Wir schicken Ihnen mehr über den großen Sound aus kleinen Boxen.

Ihre Anschrift:
