

REMIX

Tonstudio im Selbstbau

Bauanleitungen

Das Pult für unterwegs
Transportabler Studiomixer

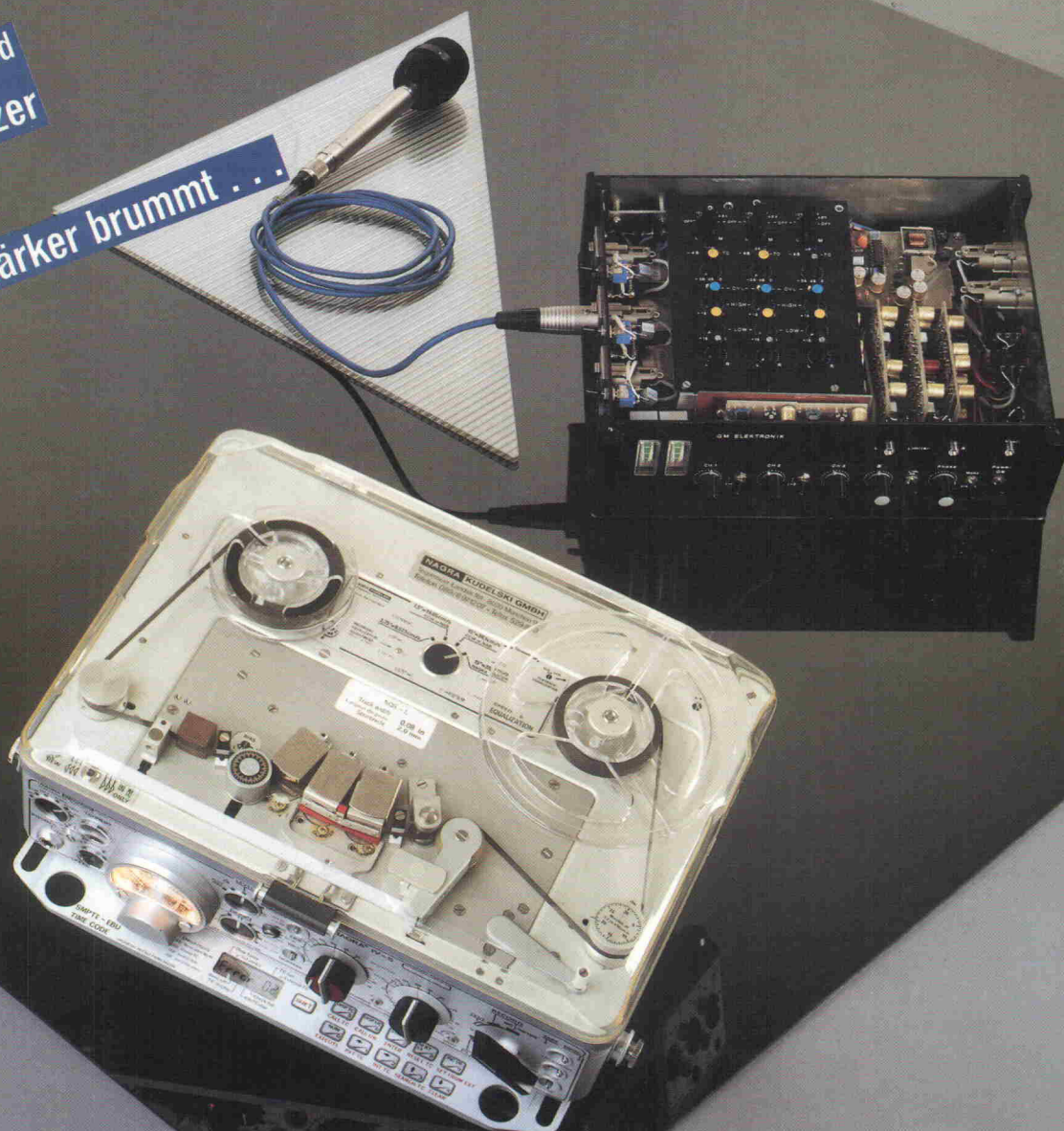
Computer-Controlled
CCMI-Synthesizer

Entstörhilfe

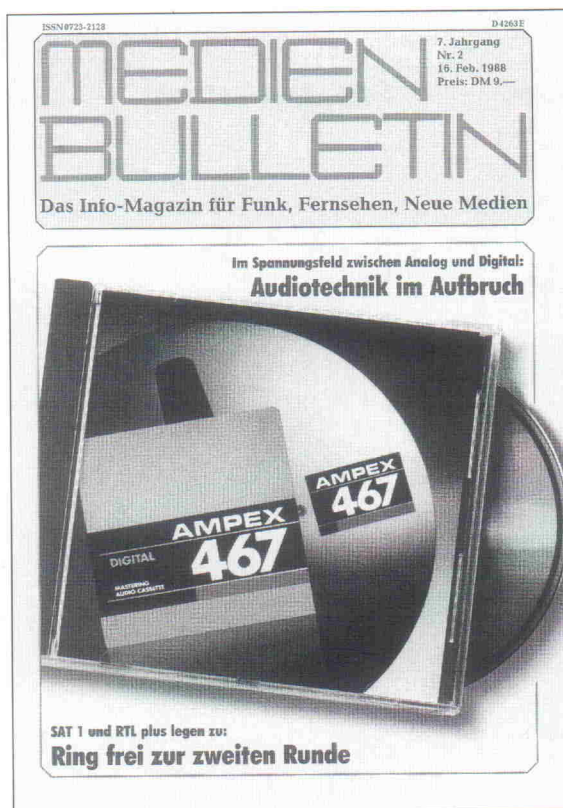
Wenn der Verstärker brummt ...

Markt

Sampler



Jeden Monat!



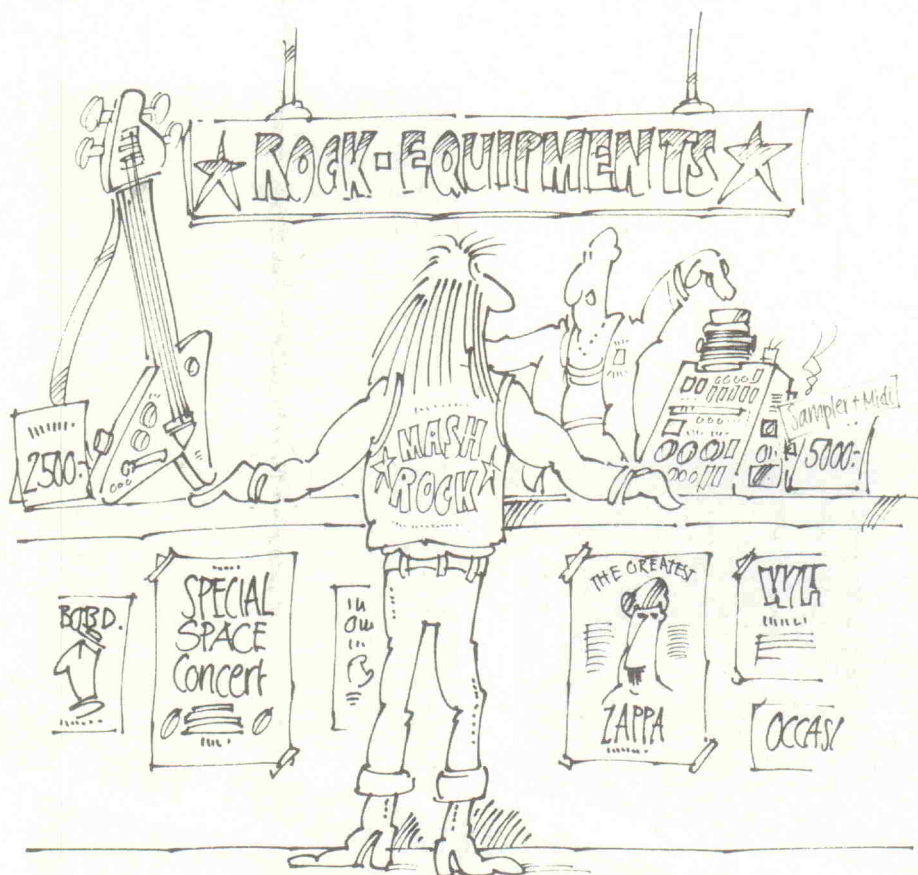
Nur im
Abonnement

DM 94,—
(Inland)

DM 112,—
(Ausland)

*Kellerer und Partner GmbH
Eschersheimer Landstraße 69
D-6000 Frankfurt 1
Telefon: (069) 590835-37
Telex: 4170187 mebu d*

...die Musik



ha'm wir noch mit der Hand gemacht!

Bei Besuchern einer Musikmesse könnte — nicht ohne Grund — der Eindruck entstehen, daß heutzutage das Musizieren ohne Computer zu einer höchst diffizilen Angelegenheit geworden ist. Ohne Rechnerunterstützung scheint da gar nichts mehr zu laufen.

Wie tönte doch in den 70-ern die Rentnerband?

... die Musik ha'm wir noch mit der Hand gemacht.

Und wenn dann der anerkannt ausgebuffte Tanzmucker CP davon redet, den Schlagzeuger durch einen Drum-Computer mit Midi-Schnittstelle zu ersetzen, dann kommt man als Redakteur doch recht ins Grübeln und fragt sich, ob ein richtig total analoges Mischpult völlig ohne μP überhaupt noch an den Leser gebracht werden kann. Und einen Synthesizer mit analogen Steuerspannungen erst — zwar mit Prozessoren, aber alten Z80-igs und die dann auch nur für die Tastaturbedienung. Ts, ts, ts — ob das man gut geht?

Bei diesen Gedanken über die Zukunft der Zunft wird aber sehr schnell der Kostenfaktor vergessen. Die schönste Midi-Schnittstelle für einen Lautstärke-Steller nützt nämlich nichts, wenn sie nicht bezahlbar ist — oder doch so teuer, daß Normal-Musiker murrend drauf verzichten müssen.

Und das ist bei einigen dieser rechnergesteuerten Glitzerprodukte der Fall: Fairlight oder der EMAX sind schöne Geräte, aber man muß auch schön lange sparen um sie auch bezahlen zu können.

Hier kommt die gute alte und preiswerte Analogelektronik wieder in Sicht; vielleicht löst diese Technik einige Probleme nicht immer ganz so elegant wie der digitale Zeitgeist, dafür aber ist sie bezahlbar.

In diesem Sinne

Peter Rübke-Doerr

Peter Rübke-Doerr

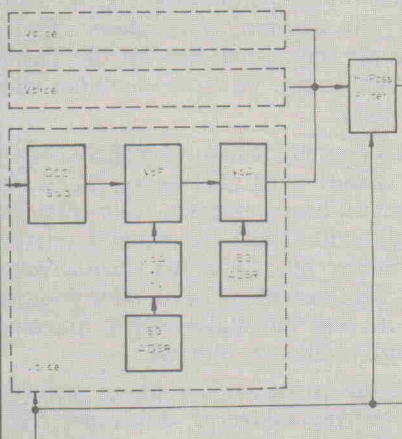
PS. Trotzdem: Wenn jemand bis zum Remix 3 das rechnergestützte Mischpult für weniger als 1 kDM entwickeln sollte, wird's sicher im Heft stehen.

Bauanleitung

CCMI-Synthesizer

Computer-Controlled-Music-Instrument; der Name sagt's schon und das kleine Blockschaltbild zeigt's, daß die Klangerzeugung analog zuwege gebracht wird und alles übrige digital; zwei Z80-er sorgen dafür.

Seite 30



Bauanleitung

Transportabler Studiomixer

Das Mischpult ist für jedes Studio der zentrale Dreh- und Angelpunkt. Alle hier investierten Groschen schlagen sich in besseren Aufnahmen nieder und machen sich daher rasch bezahlt.

Daß eine Technik, die die Anforderungen des IRT-Pflichtenheftes erfüllt, nicht nur von großen Firmen geliefert, sondern sogar selbst gebaut werden kann, zeigen wir auf

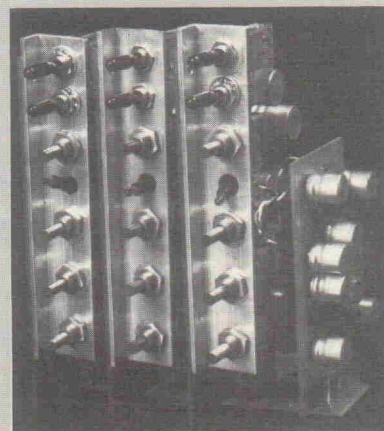
Seite 8

Know-how und Bauanleitungen für das

Wenn der Verstärker brummt . . .

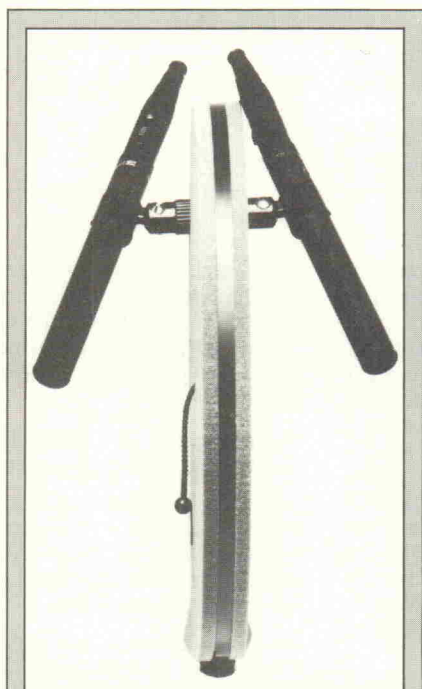
. . . sind meistens mehrere Geräte miteinander verschaltet und sorgen so über Brummschleifen für die 50-Hz-Störungen. Es ist also mitnichten immer der Netztrafo schuld. Wir zeigen, was man dagegen tun kann.

Seite 90



L

T



Einmessen von Tonbandmaschinen

Aufnahme dumpf, Höhen 'verschrabbelt'? Dann wird es Zeit, das Aufzeichnungsgerät neu einzumessen. Und nicht immer braucht man dazu den riesigen Meßgerätepark.

Seite 26

Gesamtübersicht

Aktuell	4
On The Road — Transportabler Studiomixer	8
Die Schnittstelle Midi	22
... einmal täglich Einmessen von Tonbandmaschinen	26
Bauanleitung CCMI-Synthesizer	30
Computer Controlled Music Instrument	
Sampling Sampel dir einen	58

eigene Studio. Von Profis für Praktiker.

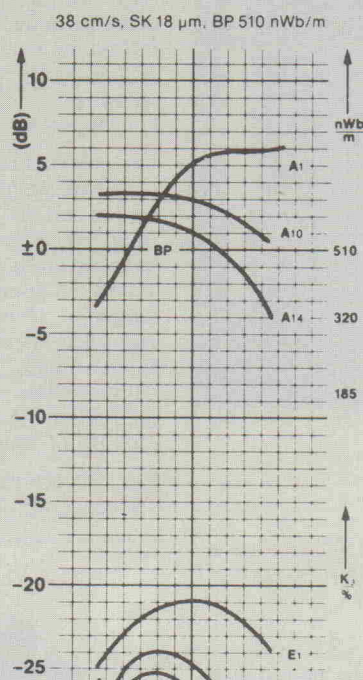
Mein Kopf, der hat zwei Ohren

Mikrofontechnik

Wer schon einmal das Glück hatte, den Mikrofon-'Wald' bei größeren Live-Acts zu bewundern, der wird es kaum verstehen können, daß zwei Mikros — richtig platziert — mit gleichem Erfolg einsetzbar sind.

Ein Profi der Szene breitet seinen Erfahrungsschatz aus.

Seite 64



Mikrofontechnik Mein Kopf, der hat zwei Ohren	64
Bauanleitung 500 W-MOSFET-PA	72
Ein Kilowatt für die Bühne	
Wenn der Verstärker brummt	90
... ist nicht immer der Netztrafo schuld.	
Impressum	104

REMIX
Tonstudio im Selbstbau

REMIX
Tonstudio im Selbstbau

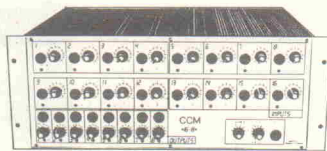
REMIX
Tonstudio im Selbstbau

REMIX
Tonstudio im Selbstbau

REMIX
Tonstudio im Selbstbau

Atari als Mischpult

Ein neues computergesteuertes Mischpult mit dem Namen CCM stellt die Firma Doepfer aus Gräfelfing vor. Das Gerät wird bis auf den Eingangs-Gain (Vorverstärkung) über Software bedient, die für den Commodore C 64 bzw. die Atari-ST-Serie erhältlich ist. Ein Computer ist zur Bedienung also unbedingt notwendig. Die Basis-Version besteht aus einer 16' auf 8'-Einheit, wobei die acht Ausgänge elektrisch absolut identisch und so in ihren Funktionen frei belegbar sind. In der zumindest für den Atari recht komfortablen Software lassen sich nun für jeden Channel Lautstärke, Stereoposition sowie die Einstellung des Equalizers einstellen und graphisch kontrollieren. Die optionalen Filter bestehen aus drei von 40 Hz bis 15 kHz durchstimmbaren parametrischen Einheiten, wobei sich im Computer



sogar die Kennlinie des (imaginären) Potis verändert werden kann.

Besonders interessant für den elrad Leser ist, daß dieses Gerät sowohl fertig wie auch als Bausatz erhältlich ist. Die Baumappe ist, wie bei der Firma Doepfer üblich, ausführlich und schließt auch die Spezifikationen der verwendeten ICs mit ein. Der potentielle Mischpultbauer sollte jedoch wissen, auf welcher Seite der LötKolben heiß wird und nach Möglichkeit auch über einige entsprechende Meßgeräte verfügen. Die Software wird übrigens kostenlos upgedatet, wenn sich neue Entwicklungen ergeben.

Preise: Komplett-Paket 16/8: DM 2498,— (Bausatz ohne Filter)

Komplett-Paket 16/8: DM 3998,— (Fertiggerät ohne Filter)

Die Filtereinheiten kosten DM 448,— für je zwei Kanäle fertig

aufgebaut. Preise für weitere Kombinationen etc. sind nachzufragen bei:

Doepfer Musikelektronik
Lochhamerstr. 63
8032 Gräfelfing
Tel.: (089) 855578

RÖHREN-DI-Box

Was eine DI-Box bewerkstelligt, ist den meisten Anwendern bekannt. Etwas anderes — vom Prinzip her — bietet das Gerät das im Vertrieb der Sound Clinic in Ingelheim unter dem Label Climax erhältlich ist auch nicht, doch es hat seine spezifischen Besonderheiten gegenüber einer normalen Passiv-DI-Box. Wie der Name schon sagt, ist das Gerät aktiv und mit Röhren aufgebaut, im 19'-Einschub und eine HE hoch; Es ist also ein 220 V Netzanschluß nötig.

Von der Eingangsseite her kann man alle anfallenden Quellen wie Instrumente, Line-Pegel und Lautsprecherpegel aufnehmen. Der bzw. die Ausgänge sind doppelt ausgelegt (also stereo) und können in der Phase gedreht werden. An dieser Stelle kommt ein sehr hochwertiger, extra für das Gerät entwickelter Spezialübertrager zum Einsatz.

Der empfindlichste Eingang ist der Instrumenteneingang; dieser ist bis 1 Volt übersteuerungsfest. Übersteigt das Eingangssignal an diesem Eingang 1 Volt, so kommt es zu der bekannten Übersteuerung: Es entstehen lineare, harmonische Verzerrungen. Kurz vor dem Clipping Point liefern die symmetrischen Ausgänge 74 mV (20 dB) an 200 Ohm.

Zur Pegelanpassung der verschiedenen Eingangssignale be-

findet sich auf der Rückseite des Gerätes ein Potentiometer. Ab Februar '88 haben die Geräte zusätzlich einen LED-Indicator zur optimalen Pegelanpassung.

Frequenzgang: 30 - 20.000 Hz, -2 dB bei 0 dB Eingangssignal.

Auf Wunsch können auch Sonderanfertigungen hergestellt werden, wie z.B. 4-fach-Ausgänge, damit man das Gerät als Splitbox benutzen kann.

Der Vorteil dieses Spezialproduktes liegt in seinem Sound: Bedingt durch einen sehr hochohmigen Instrumenteneingang, klingen z.B. akustische Gitarren nach Herstellerangaben voll und rund, digitalerzeugte Klänge weicher, Bass und Gitarre natürlicher. Außerdem kann die Röhren-DI-Box auch als Splitbox verwendet werden.

Das Gerät ist eine Bereicherung für Tonstudios, Profi-PA-Verleiher und Profimusiker, halt alle, die es sich nicht leisten können, eine mögliche Soundverbesserung nicht im Programm zu haben.

Das Gerät kostet DM 945,00. Händlernachweis und weitere Informationen bei:

Sound Clinic
Günther Christ
Aufhofstr.5
6507 Ingelheim
Tel: 06132/75414



Gehäuse auf Zuwachs

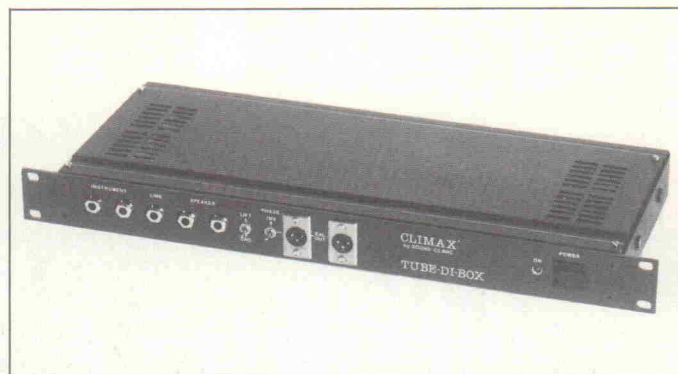
Von bopla ist das 1986 mit dem Prädikat 'Die gute Industrieform' ausgezeichnete Gehäusesystem 'Internorm 19' weiterentwickelt worden.

Das Standardgehäuse besteht aus zwei Plastikhalbschalen, das in drei Breiten und drei Tiefen erhältlich ist. Der für Studio- und Bühnenanwendungen wichtige Punkt ist der, daß das Gehäuse in der Höhe 'mitwachsen' kann: Lediglich einige wenige Eckprofile sind aus-

zutauschen; die Seitenteile werden je nach Bedarf im Raster 1 HE aufgesteckt.

In der Grundausstattung ist dies nicht eins der billigsten Systemgehäuse, aber schon nach dem ersten Umbau der Anlage sind die Kosten für ein zweites 19'-Gehäuse bereits gespart.

Katalog und Information über: bopla Gehäuse Systeme
Postfach 14 60
4980 Bünde 1



Musik Elektronik

KORG DDD-1
unveränderte
Preiseempfehlung: DM 2190,—
Unser Tiefpreis:
DM 895,—

Drumcomputer mit 18 digital abgespeicherten Drum- und Percussion-Sounds • Speicher 100 Patterns und 10 Sounds in Real-Time und Step-by-Step • Erweiterbar über DSB-01 Samplingboard (DM 179,—) um 2 Klänge selbst zu sammeln • Programmierbarer Stereo- und 6 Einzelausgänge • Jedes Instrument einzeln in Tonhöhe, Ausklang und Lautstärke programmierbar • Anschlagsdynamische Pads • Tape-Synthesizer • Ca. 50 versch. Sound-Cards mit je 4 bis 8 Sounds zur Erweiterung verfügbar • MIDI • Trigger-Ein/Ausgang • 220 V

Alesis MMT-8
Unser Tiefpreis:
DM 599,—
MIDI-Sequencer mit 8 Spuren • Einzelnoten-Editierung • Speicher 100 Patterns/100 Songs • 10 versch. Quantisierungs-Modi • Transpose-Möglichkeit der Spuren • Tape-Synchronizer • Cass. Interface • Speicher System-Exclusive-Daten • Lieferung incl. Netzteil

Keytek CTS-2000
Synthesizer (Unverb. Preiseempfehlung DM 3000,—)
Unser Tiefpreis: **DM 1398,—**

8-stimmiger Synthesizer mit 82 versch. gespielten Wellenformen • 5 Oktaven-Tastatur, bis zu 4 Mal spaltbar • Pro-Oscillator können 2 Wellenformen ineinander überblendet werden, d. h. der Klang beginnt mit einer Gitarre, geht dann in eine Orgel über und klingt mit einem Chor aus • Analoge Nachbearbeitung der Wellenformen mit 24dB VCF und VCA • 3 versch. 6-stufige Hüllkurvengeneratoren pro Stimme • 3 getrennte LFO's, incl. Zufallsgenerator • Stereo-Ausgang mit Panorama-Zuordnung für jede Split-Sektion • Getrennte MIDI-Kanäle für die Split-Sektion, Send- und Empfangsmäßig • Anschlagsdynamik • Lieferung incl. ROM-Cartridge und Sustain-Pedal

AKAI ME-100 MIDI-Delay
Unverb. Preiseempfehlung DM 365,—
Unser Tiefpreis: **DM 99,—**

Verzögert MIDI-Signale von 0—1000 ms und gibt diese als Echo wieder • Das Besondere an diesem Delay: Das Echo-Signal kann auch eine Oktave höher oder tiefer wiedergegeben werden, somit sind bei kurzer Zeitverzögerung auch Soundverzerrungseffekte möglich, welche den Klang eines Synthesizers wesentlich fetter machen • 19" Format • 220 Volt

AKAI VX-90
Unveränderte Preiseempfehlung: DM 1890,—
Unser Tiefpreis: **DM 775,—**

5-stimmiger MIDI-Synthesizer-Expander im 19" Format • 100 freie Programme, vorgeprägt mit aktuellen Sounds • VCO mit Rauschgenerator, VCF mit Hüllkurvengenerator, Hoch- und Tiefpass, VCA mit Hüllkurvengenerator • LFO mit 5 versch. Wellenformen incl. Zufallsgenerator • 2-stufiger Chorus • Anschlagsdynamik • Cass. Interface • Stereo-Ausgang • Pedal-Anschluss • 220 Volt

AKAI EX-90R Digital-Reverb
Unser Tiefpreis: **599,—**

Digitaler Hallgerät mit einem für diese Preisklasse einmaligen Effekt-Frequenzgang von 16 kHz • 8 versch. Grundhaltungen wie Raum, Halle, Plattenhall, Gated-Reverb, Reverse etc. • Stufenlos einstellbare Vorverzögerung von 0—200ms, sowie stufenlos einstell. Halbzzeit bis 10 Sekunden • Hüllkurven-Regler • Getrennte Regler für Direkt- und Effectsignal • Stereo-Ein- und -Ausgang • Eingangsempfindlichkeitsregler mit Peak LED

KORG OVD-1 Overdrive
Unverb. Preiseempfehlung DM 180,—
Unser Tiefpreis: **DM 79,—**

Korg Overdrive-Verzerrer mit Regler für Lautstärke, Verzerrungsgrad und Klangfarbe • Extrem stabiles Gehäuse • Anschluss für Netzteil • Fet-Schalter mit LED • Lieferung incl. 9V Batterie

MFB-512 Digital-Drum
Unverb. Preiseempfehlung DM 895,—
Unser Tiefpreis: **DM 299,—**

Rhythmuscomputer mit 9 digital abgespeicherten Instrumenten wie Bass, Snare, 3x Tom, Hand-Clap, Becken, open/closed Hi-Hat • Speicherkapazität: 2x64 Rhythmen im Step-by-Step-Verfahren • 8 Songspeicher mit je 256 Patterns • Mono-Stereo und Einzelausgänge • Trigger-Ein- und -Ausgang • Fußschalteranschluss für Start/Stop und Fill-in • Stimmregler für Instrumente • Lieferung incl. Netzteil

MFB-601 CV-Sequencer
Unser Tiefpreis: **DM 299,—**

Digital-Sequencer für fast alle CV/Gate-Synthesizer wie Moog, Roland SH-101, 100M, Korg MS-10/20, u.a. • Speicher 8 Songs mit bis zu 64 Noten • Versch. Songs lassen sich aneinanderketten • Keine in Real-Time über die Tastatur transportiert werden, ähnlich wie eine Begleitautomatik • Positiver und negativer Triggerausgang (0 bzw. +10V) • Anschlüsse für Start, Trigger in/out, CV, CV-Add, Gate • Programmierbar in Step-by-Step • Akkupufferung • incl. Netzteil

MFB-512 Digital-Drum und **MFB-601** Sequencer zusammen nur **DM 499,—**

Begrenzte Stückzahlen • Schnellversand per Post, Nachnahme • Alle Geräte originalverpackt mit Garantie • Ausführliches Informationsmaterial gegen DM 2,— in Briefmarken

AUDIO ELECTRIC GmbH
Robert-Bosch-Straße 1
7778 Markdorf (Bodensee)
Tel. 0 75 44/716 08

Artikel	ab 1
SSM 2011 Vorverstärker-System	9,50
SSM 2012 Spannungsgest. Verstärker	26,90
SSM 2013 Spannungsgest. Verstärker	17,50
SSM 2014 Universelles sp.gest. Element	19,90
SSM 2015 Mikrofonvorverstärker	19,90
SSM 2016 Hochwertiger Vorverstärker	26,90
SSM 2020 Dual VCA	19,90
SSM 2022 Dual VCA	17,50
SSM 2024 Quad VCA	17,50
SSM 2031 HF-VCO	9,50
SSM 2033 VCO, Chipheizung	26,90
SSM 2038 VCO, low power	26,90
SSM 2040 Universal-Filterbaustein	19,90
SSM 2044 4-pol. Tiefpaßfilter	17,50
SSM 2056 ADSR-Baustein	17,50
SSM 2134 Operationsverstärker, low noise	5,40

INGENIEURBÜRO SEIDEL
Entwicklung elektronischer Schaltungen
Beratung und Vertrieb
Dipl.-Ing. Ulf Seidel
Postfach 31 09, D-4950 Minden
Tel. 05 71/218 87

ccmi Synthesizer nur bei Worch

Bausatz komplett
o. Gehäuse und Keyboard
1350,-DM

Platinensatz komplett
mit Software (2 Eproms)
270,-DM

Gehäuse fertig gebohrt und gestanzt komplett **195,-DM**

Original Keyboard
5 Oktaven **220,-DM**

Technischer Service
jeden Donnerstag 20-22 Uhr
Tel. 0711/240934

Worch Electronik GmbH

Neckarstraße 86
7000 Stuttgart 1
Tel. 0711 / 281546

THE SUPERGATE NOISEGATE in VCA-TECHNIK

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

als Bausatz ab 340,— DM
als Fertiggerät 885,— DM

Kostenloses Informationsmaterial
im Handel und bei
blue valley Studioteknik
Saure + Klimm GBR

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

Elektronische Peripheriegeräte für professionelle Beschallungstechnik



DUAL STEREO PHONO PREAMPLIFIER
Für guten Sound vom Plattenspieler macht der Dual Stereo Preamplifier aus Ihrem PA-Mischpult einen Discomixer. Zwei Stereoplattenspieler können angeschlossen werden. Ausgangssignale sind sowohl XLR's (balanced) als auch Klinkebuchsen vorhanden. Alle Ausgänge sind über Transformatoren erdref, daher keine Erdschleifen und kein Brummen.
Best-Nr. PHN 02



DUAL PHANTOM POWER SUPPLY UNIT
Brummfreie und rauscharme Spannungsversorgung für Kondensatormikrophone. Dieses Gerät nutzt die Vorzüge einer Kopplung durch Übertrager. Erdschleifen sind daher ausgeschlossen. Die Spannungsversorgung ist kurzschlußsicher. Gerät standardmäßig mit üblicher 48 V Versorgung, auf Anfrage auch 24 V lieferbar. Netzanschluß für 220 VAC.
Best-Nr. PWR 48



MICROPHONE SPLIT BOX
Die kompakte Viereereinheit der Splitbox macht unabhängig von unterschiedlichen Multi-Steckern und erlaubt, je nach Mischpultgröße, mehrere Splitboxen dort aufzustellen, wo der optimale kurze Kabelweg erreicht wird. Die Aufspaltung erfolgt über Transformatoren; die Stromkreise der Mischpulte werden also nicht miteinander verkoppelt — ein Grund für brummfreies Arbeiten. Die Endkopplung der Ausgänge erfolgt über eng tolerierte Metallfilmwiderstände.
Best-Nr. PMS 04



DUAL LINE ISOLATING & SPLIT BOX
Ein sehr universelles Teil zur Lösung unterschiedlichster Probleme, z. B. Symmetrierung asymmetrischer Ein/Ausgänge. Als Trenntrafa zwischen netzversorgten Geräten an unterschiedlichen Stromkreisen (endlich können Sie das VDE-unzulässige Netzstecker-Ableben vergessen), Aufspaltung von Line-Ausgängen usw. Großzügig dimensionierte Transformatoren erlauben vollen Studiopegel (+20 dB) über den gesamten Audiobereich.
Best-Nr. PLS 02

Mitglied im VMD e.V.

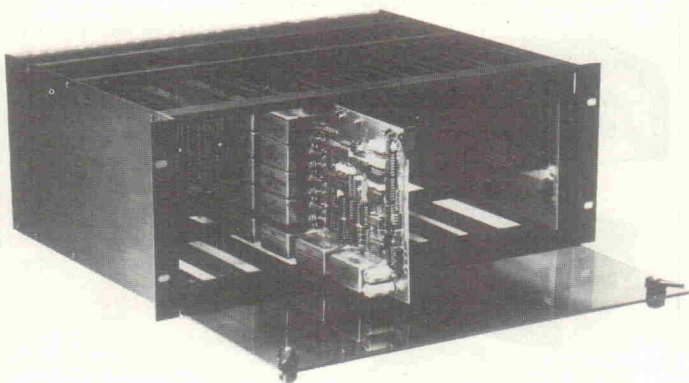
adam hall

Adam Hall GmbH · D-6390 Usingen 1 · Gewerbegebiet Süd
Telefon 0 60 81 / 1 60 31 · Telefax 0 60 81 / 62 91 · Telex 418 061 ahal d

PRODUKTIV STUDIO HIRE

PSH Produktiv Studio Hire
Stephan Behrens
Gildestraße 60
D-4530 Ibbenbüren
Telefon: 05451/500133
Telex: 94577
Telefax: 05451/500140

Wir vermieten:
Synclavier, Fairlight,
Lexicon dig. Reverbs,
Sony PCM 3324,
Mitsubishi x 850 u.v.a.m. !
Anrufen, Mietpreisliste anfordern !



Auto-Mixer

Im Vertrieb des amerikanischen Lautsprecher-Herstellers Elektro-Voice befindet sich eine neue Produktmarke mit der Bezeichnung 'IED' (Innovative Electronic Designs).

Diese Produktpalette umfaßt im wesentlichen — wie der Name schon sagt — innovative elektronische Geräte für ein breitgefächertes Anwendungsgebiet im Beschallungs- und Kommunikationsbereich.

Als derzeitiges Spitzenmodell stellt Electro-Voice einen automatischen Mixer mit der Bezeichnung 'IED 4000' vor. Diese Produkt stellt ein hochentwickeltes und äußerst flexibles Konzept von automatischen Mischern dar. Der modulare Aufbau erlaubt Konfigurationen von einem Minimalsystem bis hin zu einer komplexen Beschallungszentrale. Mehrere Baugruppenträger können miteinander kombiniert werden und deren Zuordnung sowohl fixiert, manuell oder durch Computersteuerung vorgenommen werden.

Als Beispiel für eine Vielzahl von Problemlösungen sei der sogenannte Diskriminator erwähnt. Mit diesem Modul kann äußerst exakt zwischen Hintergrundgeräusch und Nutzsignal eines Mikrofons unterschieden werden.

Eine optimale Steuerung per Computer erlaubt dem Systemanwender ein Höchstmaß an Bedienungskomfort und Flexibilität. Diese System ist mit einem Farbbildschirm kompatibel, wodurch Diagramme über sowohl physische als auch elektrische Zusammenstellung des Systems zur Verfügung stehen. Sogar Funktionen, die nicht den Mischer selbst betreffen, wie Beschallungszonen, Bereiche für Hintergrundmusik und Verzögerungszeiten können am Bildschirm angezeigt werden.

Detaillierte Informationen über dieses System und über das gesamte IED-Programm gibt es bei:

Electro-Voice
Lärchenstr.99
6230 Frankfurt 80

Einmessen per Computer

Seit einigen Monaten vertreibt Kemtec das Hard- und Softwarepaket für den computergesteuerten Audiomeßplatz AMS 64 (elrad berichtete (11/87)). Mit einem Analog-Interface an einem C 64 bzw. SX 64 (Bild) und geeigneten Programmen lassen sich die Frequenzgänge elektroakustischer Systeme ermitteln, darstellen, dokumentieren und archivieren.

Nach Programmerweiterungen für Lautsprechermessungen (Impedanz; Thiele-Small-Parameter) und Raummessungen (Differenz, Hallzeit) bietet die Firma jetzt auch ein Pro-

Das Programm kalibriert automatisch die 0-dB-Pegel, startet nach einem Synchronsignal automatisch den Meßablauf oder ermittelt z.B. bei 2-Kopf-Geräten die Bandlaufverzögerung.

Die gemessenen Frequenzgänge werden zunächst auf dem Bildschirm dargestellt, sie lassen sich bei Bedarf auf Plotter oder Matrix-Printer ausdrucken. Die Line-Anschlüsse sind — von Programm schaltbar — doppelt ausgeführt: Das erleichtert die Arbeit an Mehrspurgeräten. Und schließlich läßt sich AMS 64 auch wie ein einfacher Audio-Meßplatz nut-



grammpaket an, mit dem sich ungewohnt komfortabel die Pegelfrequenzgänge vom 2- und 3-Kopf-Bandgeräten sowie separat der Wiedergabe-Einrichtung messen lassen.

Die Vorteile rechnergesteuerten Messens werden hier deutlich:

zen — mit Sinusgenerator und direkt anzeigendem Millivoltmeter.

Kemtec
K. Baumotte
Avenwedderstr.490
4830 Gütersloh 11

2 x 500 W

Im Neuheitenkatalog von Monarch sticht (speziell für Remix-Leser) die MOSFET-Endstufe STA 8000 MOS ins Auge. Sie verfügt im wesentlichen über die gleichen Features wie die auf Seite 72 abgedruckte Bauanleitung 500 W-MOSFET-PA:

2 x 400 W an 4 Ohm, Brückenbetrieb direkt möglich: 1 x 1 kW, Schutzschaltungen für Überlast, Übertemperatur,



Kurzschluß, Gleichspannung am Ausgang, Einschaltverzögerung usw.

Fürwahr ein hochbelastbares Bühnenpferd: Der Unterschied zwischen dem Fertiggerät von Monarch (Verkaufspreis ungefähr 2500 DM) und unserer Bauanleitung scheint nur im Preis zu liegen (Bausatzpreis: - 6dB).

Lieferrnachweis über
Inter-Mercador
Postfach 44 87 47
2800 Bremen 44

SOUNDWARE

Sound/Technik/Styling

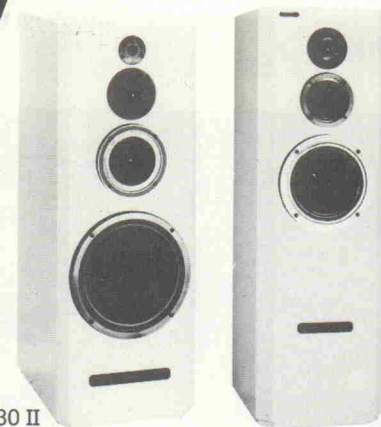
AUDAX

SIARE

HiFi—
Auto—**Lautsprecher**
Bausätze

Proraum
Vertriebs GmbH
4970 Bad
Oeynhausen 1
Postfach 101003
Tel. 05221/3061
Telex 9724842

Alleinvertrieb
Deutschland
Lieferung sofort
ab Lager
24-Std-Tel-Service
Unterlagen: DM 5,—
Schein/Briefmarken



Pro 21 TPX

Pro 30 II



magazin für elektronik
elrad

Jeden Monat aktuell in Sachen Elektronik.
An Ihrem Kiosk. Oder direkt ab Verlag.
Für sechs Mark.

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



Computermischpult 'CCM'



Voll computergesteuertes VCA-Mischpult mit ATARI-ST als Steuercomputer, Einstellung der Mischung im Bildschirmdialog mit Maus, bis 64 Eingänge/16 Summen, MIDI-kompatibel, Program-Change-Mode oder Real-Time-Mode, VCAs mit 100dB SNR, 0.1% Klirrfaktor
Bausatz 16/8 ab 2498,— Fertiggerät 16/8 ab 3998,— Demo-Diskette 20,—

DOEPFER-MUSIKELEKTRONIK

Lochhamer Str. 63 ★ D-8032 Gräfelfing b. München ★ Telefon (089) 855578

MESSEN STATT SCHÄTZEN: AMS 64.

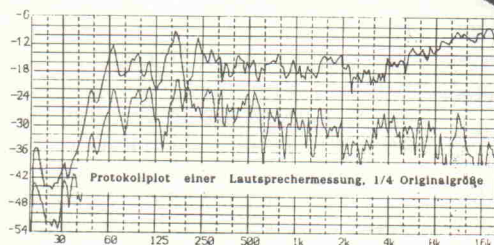
DAS UNIVERSELLE COMPUTERGESTEUERTE MESSSYSTEM FÜR AUDIO UND AKUSTIK

- * Linienschreiber
- * Sinusgenerator
- * Millivoltmeter
- * Frequenzzähler
- * Meßmikrofon
- * Impedanzadapter
- * Die zeitgemäße Alternative zu mechanischen Meßschreibern

768,—

Einführungspreis
für Interface
mit Software

Object #1: Lincoln HiFi 45 Date: 190687 Out: -18 dBm
Object #2: Lincoln HiFi 90 Date: 190687 Out: -18 dBm



Sounds · Elektronik · Entwicklung · Marketing

KLAUS BAUMOTTE AVENWEDDER STR. 490 4830 GÜTERSLOH 11 05209/5429

KEMTEC



Transportabler Studiomixer

Gerhard Haas

In diesem Beitrag wird gezeigt, wie bereits mit einfachen Mitteln ein absolut studiotaugliches Kleinmischpult gebaut werden kann. Aus einem guten halben Dutzend Grundschaltungen kann durch Kombinieren ein Pult nach Geschmack und Geldbeutel zusammengestellt werden. Die am Anfang des Artikels exemplarisch durchgeführte Planung anhand eines Blockschaltbildes sowie die zum Schluß gemachten Konstruktionsvorschläge stellen einen einfachen, sicheren und preiswerten Nachbau sicher. Die vorgestellte Version wurde als Tonmischpult für eine 'Nagra' geplant, gebaut und eingesetzt. Die auf 24 V ausgelegte Stromversorgung läßt sowohl Batteriebetrieb als auch Versorgung aus dem Netz zu; diese Version ist auch oben im Bild zu sehen, welche sich aus mehreren (mechanischen) Gründen von der am Ende des Artikels vorgestellten Anordnung unterscheidet.

Am Anfang jeder Mischpultkonstruktion steht immer die Erstellung eines Blockschaltbildes, in dem die einzelnen Komponenten, Signalwege und Pegelverhältnisse festgehalten werden. Zunächst wird für einen Kanal die Blockschaltung gezeichnet, mit allen Anknüpfungspunkten der Signalwege sowie den Summenwegen. Wir werden ein relativ einfaches Grundschema wählen, das aber alle wichtigen Grundfunktionen beinhaltet und weitere Ausbaumöglichkeiten bietet.

Damit das wichtige Festlegen der Pegelverhältnisse möglich ist, müssen einige Eckwerte und Grunddaten vorge-

geben werden. Ein Eckwert wurde bereits erwähnt: Das Mischpult soll wegen der transportablen Einsatzmöglichkeit mit 24 V betrieben werden können. Die Nennbetriebsspannung von 24 V legt somit die höchstmögliche Aussteuerbarkeit fest. Theoretisch könnte ein maximaler, effektiver Signalpegel von rund 8,5 V erreicht werden. Üblicherweise erreichen Operationsverstärker einerseits nicht den vollen Ausgangshub, andererseits müssen Reserven für Batterieunterspannung vorhanden sein und zusätzlich sollten ein bis zwei Volt für die Betriebsspannungsentkopplung eingeplant werden. Damit bleiben rund 5 V als maximaler Signalpegel oder +16 dBm übrig. Hier gleich vorweg diese Bemerkung: Da der Mixer studiotauglich und nach Studiogesichtspunkten ausgelegt ist, werden im Folgenden immer Pegelangaben in dBm gemacht und an den Schnittstellen wird mit studioüblichen Normalpegeln gearbeitet.

Nachdem der maximal sinnvoll mögliche Pegel bei 24 V Betriebsspannung festliegt, muß dem Punkt 'Aussteuerungssicherheit' Aufmerksamkeit gewidmet werden. Wird im Mittel mit einem bestimmten Pegel gefahren, kann keiner der im Mischpult vorhandenen Verstärker übersteuert werden. Dieser Pegel ist in der Regel vom maximal möglichen Pegel soweit entfernt, daß auch bei Signalspitzen keine Übersteuerung möglich ist. Damit man hier im absolut sicheren Bereich liegt, sind etwa 22 dB Abstand üblich. Wenn also ein maximaler Ausgangspegel von +16 dBm festgelegt wurde, muß demnach der pultinterne Pegel bei -6 dBm liegen.

Als letzten Eckwert müssen wir die notwendige Gesamtverstärkung bestimmen. Wird die Signalquelle mit der kleinsten Eingangsspannung genommen, ein dynamisches Mikrofon mit 220 Ω Quellwiderstand, so liegt dessen Nennpegel bei -64 dBm (ca. 0,5 mV). Der Nennausgangspegel liegt bei +6 dBm = 1,5 V, was eine maximale Gesamtverstärkung von 70 dB (≈ 3140) bedingt. Da der pultinterne Pegel mit -6 dBm (= 387,5 mV) festgelegt wurde, muß der Eingangsverstärker eine Verstärkung von maximal 58 dB (≈ 502 -fach) bringen. Die restliche Verstärkung von 12 dB wird im allgemeinen allein mit der Ausgangsstufe gemacht. Die sonstigen Verstärkerstu-

fen des Pultes dienen der Signalkopplung und bei etwaigen Verlusten als Aufholverstärker.

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse setzen wir nun in ein Blockschaltbild um. In Bild 1 ist dieses gezeigt und wir gehen es gleich ausführlich durch. In der rechten unteren Ecke eines jeden Blocks ist eine Buchstabenkombination eingetragen. Diese findet sich in den Schaltplänen bei den später zu besprechenden Baugruppen und auf den Platinenlayouts wieder. So kann jeder leicht die entsprechende Schaltung der Verwendung im Pult zuordnen. Am Eingang ist ein Übertrager vor der ersten Verstärkerstufe angeordnet. Damit erreicht man symmetrischen und störungsempfindlichen Betrieb, galvanische Trennung und gute Rauschanpassung. Welche Vorteile der Übertrager in der Eingangsstufe aber auch in der Ausgangsstufe von hochwertigen Audioanlagen bringt, soll hier nicht weiter erläutert werden. Wer dazu mehr wissen will, sei auf die am Ende des Artikels aufgeführten Veröffentlichungen und auf den Artikel 'Wenn der Verstärker brummt ist nicht immer der Netztrafo schuld' in diesem Heft verwiesen. Weiterhin können bei Einsatz von Eingangsübertragern Kondensatormikrophone über Phantomeinspeisung betrieben werden. Der Mikrofonverstärker ist mit einem festen Pegelschalter und einem mit Pre-Level bezeichneten Pegelsteller ausgestattet. Damit läßt sich die Verstärkung den jeweiligen Signalquellen optimal anpassen. Sollen hochpegelige Line-Quellen ebenfalls angeschlossen werden, ist der Einsatz eines Vordämpfers sinnvoll. Bei der Besprechung des Mikrofonverstärkers wird darauf im einzelnen eingegangen.

Der Mikrofonverstärker muß die sehr kleinen Mikrophonsignale möglichst rausch- und verzerrungsarm auf den pultinternen Pegel von -6 dBm bringen. Hier muß sehr sorgfältig gearbeitet werden und hier ist der höchste Aufwand angebracht. Was der Vorverstärker an Rauschabstand nicht gutmacht, kann durch keinen der nachfolgenden Verstärker jemals wieder aufgeholt werden! Nach dem Vorverstärker folgt eine Höhen- und Tiefenentzerrung mit umschaltbaren Einsatzfrequenzen. Danach verzweigen sich die

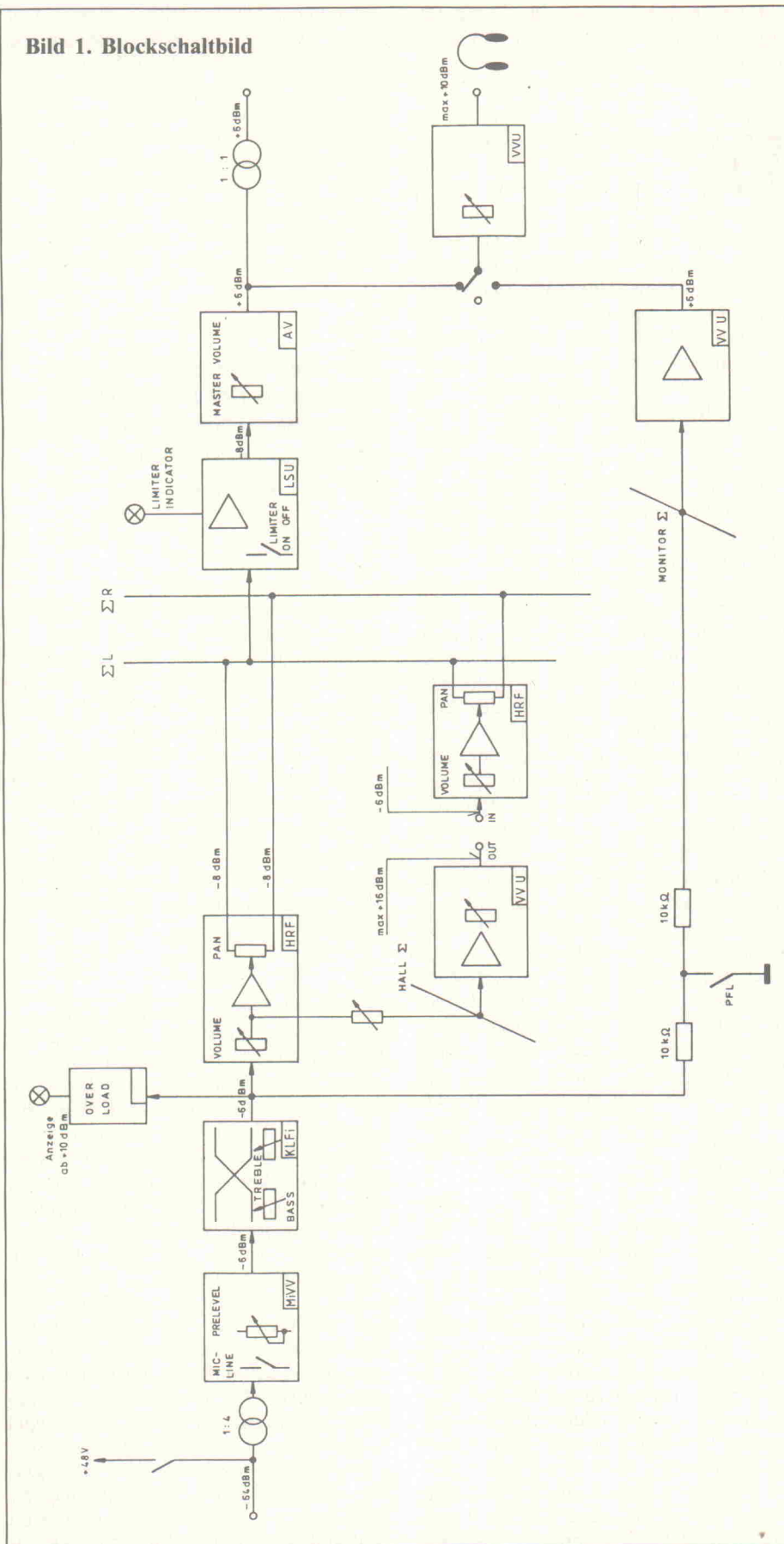
Signalwege. Die Overload-Anzeige ist so eingestellt, daß 6 dB vor Begrenzungseinsatz eine LED aufleuchtet. An dieser Stelle findet auch die Auskopplung für den Monitorweg statt, wo vor dem Volumen-Regler in den Kanal hineingehört werden kann. Es folgt der Block mit dem Volumen-Regler und dem Panorama-Regler, nach dem das Signal dann auf die linke und rechte Summenschiene weitergeleitet wird.

Vor dem ersten Griff zum Lötkolben sollte anhand eines Blockschaltbildes das Mischpult sehr genau geplant werden.

Zwischen Volumen-Regler und Panorama-Regler findet eine weitere Signalauskopplung statt. Bei der Besprechung dieses Blockschaltbildes und im weiteren wird hier von der Hallauskopplung gesprochen. Man kann aber ebenso von AUX-Send-Wege sprechen und mehrere davon vorsehen, oder nur einen davon einplanen und die Signale der einzelnen Kanäle aufsummieren und gesammelt über einen Pegelsteller auf einen Ausgang führen. So ist es bei diesem Grundkonzept geschehen.

Die Rückführung des Halls (bzw. der AUX-Wege) führt direkt über einen Pegelsteller und einen Panorama-Regler auf die beiden Summenschienen L und R. Grundsätzlich werden alle Signale über Entkoppelwiderstände auf die Summenschienen geführt und über 0- Ω -Verstärker aufsummiert. Dies ist die einfachste, sicherste und eleganteste Art eine große Zahl von verschiedenen Signalen zu mischen. In den Hauptsummenverstärkern sind abschaltbare Limiter vorgesehen. Dies hat vor allem bei Reportageeinsätzen und bei stark schwankenden, nicht immer genau vorhersehbaren Pegeln den großen Vorteil, daß nicht dauernd die Aussteuerungsinstrumente und Overload-Anzeigen überwacht werden müssen. Man kann sich im wesentlichen auf die korrekte Nachführung des Mikrophons z.B. bei Außenaufnahmen und in Begleitung von Film- und Video-

Bild 1. Blockschaltbild



aufnehmen widmen. Der Limiter begrenzt Aussteuerungspitzen so, daß verzerrungsarme Signalübertragung möglich ist. Wenn das Mischpult bei richtiger Einpegelung für späteres Abmischen verwendet werden soll, kann der Limiter abgeschaltet werden.

Am Ende eines jeden Mischpultsignalzuges folgen die Ausgangsverstärker. Sie haben die Aufgabe, den pultinternen Pegel auf Studionormpegel (+6 dBm) anzuheben und das Ausgangssignal möglichst niederohmig zur Verfügung zu stellen. Der Kopfhörer-Ausgangsverstärker muß für einen 600 R-Kopfhörer genügend Pegel zur Verfügung stellen, die Auskopplung kann über Elkos unsymmetrisch erfolgen. Die Auskopplung der Summen geschieht am besten mit Line-Übertragern. Der vorhergehende Verstärker hebt das Signal auf den Pegel von +6 dBm an und stellt dieses dem Line-Übertrager niederohmig zur Verfügung. Wenn ein spannungsangepaßter Line-Übertrager zum Einsatz kommt, können beliebige Lasten und sehr lange Leitungen ohne Pegelverluste oder Störeinstreuungen angeschlossen werden.

Dieses Blockschaltbild für einen Video-Mini-Mixer steht exemplarisch für eine von vielen Möglichkeiten und kann jederzeit abgeändert und erweitert werden. Es sollte vorwiegend als Grundlage und Anregung für eigene Konzepte dienen. Bevor jetzt die einzelnen Grundschaltungen behandelt werden, müssen noch einige wichtige, allgemeingültige Punkte angesprochen werden.

Durch zahlreiche Zuschriften und Anrufe sind dem Autor verschiedene Probleme beim Nachbau von Mischpulten bekannt. Der Leser verläßt sich auf die in den Bauanleitungen gemachten Aussagen, investiert Geld für Material und, was bei Mischpulten besonders gilt, viel Zeit! Wenn das akustische Ergebnis der vielen Arbeit das Brummen einer Trafostation und das Rauschen der Niagarafälle ist, macht sich sehr schnell Frust breit. Wie sich im Laufe der Zeit herauskristallisiert hat, sind meistens mangelnde Sachkenntnis bzw. Erfahrung, Selbstüberschätzung und falsche Materialauswahl die Ur-
Remix 2

che für mäßigen Erfolg. Vor dem Einstieg in die Schaltungsbesprechung werden deshalb nochmals genaue Hinweise für die Materialauswahl gegeben. Was an Know-How nötig ist, findet man im Verzeichnis der zu diesem Thema interessierenden Veröffentlichungen am Ende dieses Artikels.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß immer wieder ungeeignete Bauteile beim Nachbau hochwertiger Audioanlagen eingesetzt werden und der Schiffbruch somit vorprogrammiert ist. In diesem Zusammenhang soll auch gleich die Frage nach der Wahl der richtigen OPs abgehandelt werden. Mehr oder weniger rauscharme OPs werden überall angeboten. Für studiotaugliche Anlagen und High-End-HiFi sind bei weitem nicht alle geeignet. Wer z.B. einen Mikrophonverstärker ohne besondere Anpaßmaßnahmen durch Übertrager und ausgetüftelte Beschaltung mit einem FET-OP aufbaut und sich über das hohe Rauschen wundert, ist selbst schuld. Die Datenblätter und die Physik sagen aus, daß FET-OPs nur bei großen Quellwiderständen von über 100 k Ω Rauschvorteile bringen. Wegen der besseren Störsicherheit sind aber niederohmige Signalwege gefragt. Deshalb ist der Einsatz von bipolaren OPs von Vorteil, da diese vor allem unter 10 k Ω Quellimpedanz erheblich geringeres Eigenrauschen aufweisen als FET-OPs. Typische Datenblattangaben für Rauschwerte für rauscharme FET-OPs sind 12 nV/Hz bis 18 nV/Hz, für den gängigen bipolaren Typ NE 5534 sind es nur 3,5 nV/Hz. Man darf keinesfalls mit dem typischen Rauschwert allein rechnen, denn dieser ist für 1 kHz angegeben und darf laut Datenblatt bei dieser Frequenz für den NE 5534 auch 4,5 nV/Hz erreichen. Bei 30 Hz können es bis zu 7 nV/Hz sein. Das heißt mit anderen Worten, bei niederohmiger Beschaltung sind mit rauscharmen bipolaren OPs etwa um rund 10 dB bis 18 dB bessere Rauschabstände zu erwarten als mit FET-OPs.

In den einzelnen Schaltungen sind durchweg OPs vom Typ NE 5534 eingesetzt. Dieser Typ ist überall leicht erhältlich und kann notfalls durch einen ähnlichen ersetzt werden, wenn ausgerechnet am Wochenende einer kaputt geht, kein NE 5534 verfügbar ist und

trotzdem eine dringende Aufnahme gemacht werden muß. Es wäre aber nur die halbe Wahrheit, wenn in den Schaltungen pauschal nur der Typ NE 5534 angegeben wäre. Die ICs sind noch zusätzlich durch die Anhängsel R, S und T gekennzeichnet. Damit wird angedeutet, daß selektierte Typen in verschiedenen Qualitätsstufen eingesetzt werden. Das Datenblatt weist den NE 5534 als rauscharmen OP aus. Je nach Hersteller und Charge können bis zu 30 % Ausreißer dabei sein, die in hochwertigen NF-Anlagen vor allem in den Eingangsstufen unbrauchbar sind.

Hochwertige NF-Anlagen sollen ein Audiosignal lediglich definiert verstärken, aber keinesfalls dem Signal etwas zusetzen oder ungewollt verändern. Ungewollte Veränderungen und Zusätze werden mit den Sammelbegriffen Rauschen und Klirrfaktor zusammengefaßt. Das Rauschen macht sich vor allem bei Leerlauf und kleinen Signalen unangenehm bemerkbar und soll deshalb möglichst niedrig sein. ICs aus der 'Stange' erreichen den typischen Rauschwert von 3,5 nV/Hz, können ihn aber jederzeit über- oder unterschreiten. Weiterhin ist noch das 1/f-Rauschen (sprich: eins durch eff-Rauschen) zu berücksichtigen, über die in den Datenblätter die Rauschkurve über der Frequenz zu finden ist. In Bild 2 ist das typische Rauschverhalten des NE 5534 über der Frequenz dargestellt. Wie aus dem Bild ersichtlich, steigt das Rauschen bereits über 100 Hz zu tiefen Frequenzen hin um rund 10 dB an. Nun mag mancher einwenden, daß das Rauschen doch vor allem in höheren Frequenzbereichen lästig ist und in diesen tiefen Frequenzbereichen keine Rolle mehr spielt, vor allem auch, weil hier die Empfindlichkeit des Ohres abnimmt. Wenn man bei einer Dreiwegbox das Ohr an den Lautsprecher hält, nimmt man das stärkste Rauschen vorzugsweise am Hochtöner wahr. Das Rauschen, das im Hoch- und Mitteltöner hörbar ist, wird als gleichmäßige und nicht unbedingt penetrant lästige Störquelle wahrgenommen. Das 1/f-Rauschen äußert sich jedoch in einer Art von Prasseln und Krachen, welches eine Anlage für Tonwiedergabe und -aufnahme absolut unbrauchbar macht.

In den Datenblättern finden sich in der Regel auch keine Angaben über Klirrfaktorwerte. Normalerweise hat man

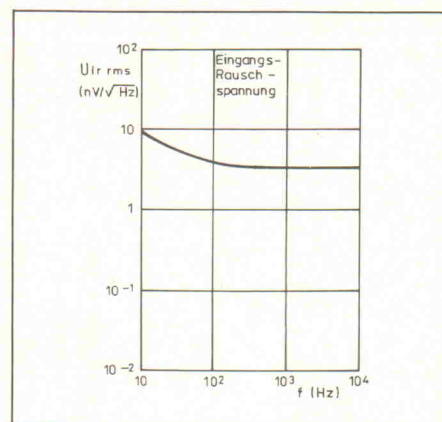


Bild 2. Eingangsrauschspannung des NE 5534

genügend Gegenkopplung, die eventuell einen zu hohen Klirrfaktor 'herunterknüpelt'. Wie wir aber aus der Besprechung des Blockschaltbildes (Bild 1) wissen, sind doch sehr große Verstärkungsfaktoren notwendig. Bei einer Verstärkung von kleiner als 10 kann noch so manches über die Gegenkopplung retuschiert werden, der Mikrophonverstärker soll jedoch in unserem Fall bis zu 58 dB verstärken. Wenn dann der Klirrfaktor bereits in der Eingangsstufe auf die 0,1 %-Marke zugeht, sind Klangverfälschungen vorprogrammiert. Die Oberwellenanteile, die die Eingangsstufe erzeugt, werden durch alle nachfolgenden Stufen weiterverstärkt. Für unverfälschten Klang sind deshalb Forderungen nach Klirrfaktorwerten von kleiner 0,1 % bei einer Verstärkung von über 40 dB nicht abwegig.

Doch nun wieder zurück den selektierten ICs. Es gibt zweifellos rauschärmere ICs auf den Markt als den NE 5534. Jedoch sind auch hier die Angaben immer typische Serienwerte. Vor Ausreißern ist man nie sicher, die Preise sind teilweise relativ hoch und die ICs sind nicht überall erhältlich, manche wurden zwar angekündigt, aber nie in Serie hergestellt, manchmal sind sie sogar nicht einmal pinkompatibel. Wenn z.B. 100 Stück NE 5534 selektiert werden, erhält man etwa fünf Stück superrauscharme ICs, die sich bei hoher Verstärkung und niedrigstem Klirrfaktor der physikalischen Rauschgrenze bis auf Bruchteile

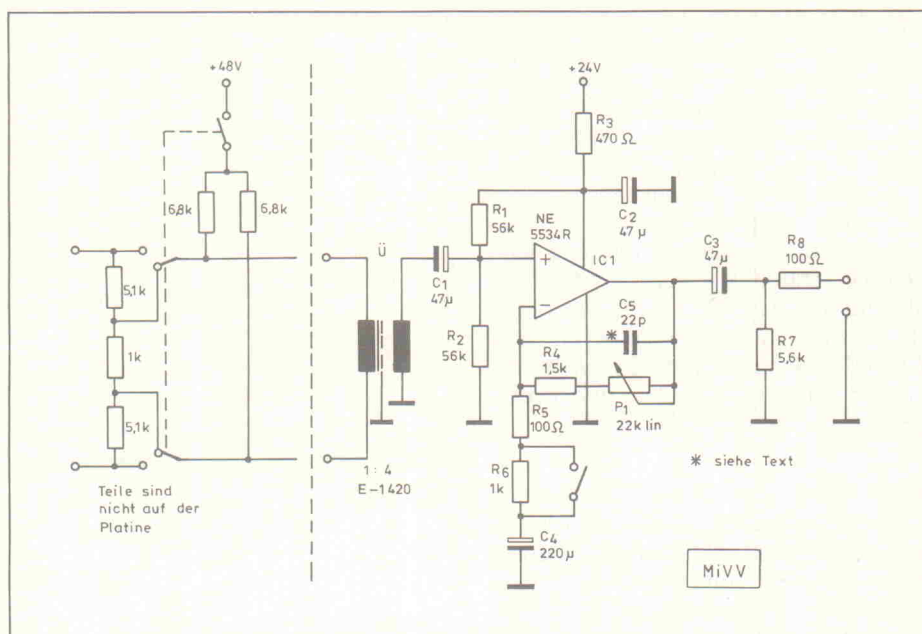


Bild 3. Schaltplan Mikrofonverstärker

Verstärkung	Fremdspannung am Ausgang	Auf den Eingang bezogene Fremdspannung
48 dB	— 74 dBm	—122 dBm
38 dB	— 91 dBm	—119 dBm
35 dB	— 97 dBm	—122 dBm
18 dB	—109 dBm	—117 dBm

Werte gemessen bei Eingangsabschluß von 200 Ω und 600 Ω Last.
 Klirrfaktor bei $U_A = +16$ dBm an 600 Ω
 $\leq 0,01\%$ bei 1 kHz
 $\leq 0,07\%$ bei 40 Hz
 Frequenzgang ≤ 20 Hz... ≥ 20 kHz —1 dB

eines dBs nähern. Etwa fünfzig bis siebzig Stück erreichen gleichgute Werte, aber bei um 20 dB verminderter Verstärkung. Etwa dreißig Stück sind bei niedriger Verstärkung noch mit kleinem Klirrfaktor und um 3 dB erhöhtem Rauschen zu betreiben. Je nach Charge sind zehn bis dreißig Stück gut für den Mülleimer und für NF-Zwecke nicht brauchbar. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Eckwerte für die in den Schaltbildern angegebenen IC-Selektionen enthalten, die auf einer teuren Meßanlage sortiert wurden. Wer es optimal haben will, setzt diese Typen ein. Es können jederzeit unselektierte Typen verwendet werden, wobei jedoch die in den Tabellen angegebenen Meßwerte zu den einzelnen Schaltungen dann nicht unbedingt erreicht werden können. Daß hochwertige und selektierte ICs nur in Verbindung mit Metallschichtwiderständen ihre Vorzüge zum Tragen bringen, versteht sich von selbst. Auch bei Potis, Schaltern, Elkos und Steckverbindungen sollte nur bestes Material verwendet werden und nicht die Restbestände aus der Bastelkiste oder günstige Restpostensortimente.

Nach dieser längeren Einführung, in der vorzugsweise wichtige Grundsatzfragen geklärt wurden, kommen wir nun zur Besprechung der einzelnen Bausteine. Der Aufbau und die Handhabung der Bausteine sind sehr einfach, wenn die erwähnten Grundsätze beachtet werden und ebenso die am Ende des Artikels aufgeführten Kon-

struktionshinweise. Bei sorgfältiger Arbeit ist das Ergebnis ein hochwertiges Gerät, das über lange Zeit einen hohen Nutzwert bietet.

Bei der Beschreibung der Bausteine gehen wir im Prinzip nach dem Blockschaltbild vor und fangen mit dem in Bild 3 dargestellten Mikrophonverstärker an. Im Grunde genommen 'ist nicht viel dran', denn einen Operationsverstärker wie in Bild 3 dargestellt zu beschalten, ist keine Kunst. Was extrem wichtig ist, sind rauschmäßig richtige Anpassung des OPs und ein NF-mäßig korrektes Layout (siehe auch Artikel 'Wenn der Verstärker brummt ist nicht immer der Netztrafo schuld' in diesem Heft). Der Eingangsübertrager sorgt einerseits für galvanische Trennung, andererseits für 12 dB Spannungsgewinn und gute Rauschanpassung. Die 12 dB Spannungsgewinn resultieren aus dem Übersetzungsverhältnis von 1:4. Mit diesem Übersetzungsverhältnis ist ein guter Kompromiß zwischen rauscharmer Spannungsanhebung durch den Übertrager einerseits, und Anpassung des Generatorwiderstandes an den OP andererseits gewährleistet. In Bild 4 sind zwei typische Breitbandrauschkurven des NE 5534 dargestellt. Wie daraus ersichtlich, steigt die Rauschspannung mit Generatorwiderständen über etwa 2 k Ω bis 3 k Ω kräftig an. Zwischen 100 Ω und knapp 1 k Ω ist der Anstieg nur gering, so daß über die Gesamtrechnung Verstärkung — Rauschmini-

mum der 1:4-Übertrager eine gute Lösung darstellt.

Für den Übertrager kommt nur ein Mu-Metall geschirmter, hochwertiger Typ mit zusätzlicher innerer Schirmung und niedrigem Klirrfaktor in Frage, der zudem genügende Pegelfestigkeit aufweisen muß. Es gibt zum Teil minderwertige NF-Übertrager, die bei hohen Pegeln zwar brauchbar sind,

Mindestanforderungen an die selektierten NE 5534	
NE 5534 R	Rauschen: —76 dBm (20 Hz...20 kHz) V = 46 dB —83 dBm Filter dB(A) V = 46 dB
	Klirrfaktor: $\leq 0,01\%$ V = 46 dB
NE 5534 S	Rauschen: —76 dBm (20 Hz...20 kHz) V = 46 dB —83 dBm Filter dB(A) V = 46 dB
	Klirrfaktor: $\leq 0,03\%$ V = 46 dB $\leq 0,01\%$ V = 26 dB
NE 5534 T	Rauschen: —73 dBm (20 Hz...20 kHz) V = 46 dB —78 dBm Filter dB(A) V = 46 dB
	Klirrfaktor: $\leq 0,03\%$ V = 46 dB $\leq 0,01\%$ V = 26 dB

Graph showing the relationship between the root-mean-square voltage $U_{irr, rms}$ (in μV) and the load resistance R_G (in Ω) for broadband noise (Breitband-Rauschen). The y-axis is logarithmic, ranging from 10^{-2} to 10^2 . The x-axis is logarithmic, ranging from 10^2 to 10^6 . Two curves are plotted, representing different frequency bands:

- 10 Hz ... 20 kHz (Upper curve)
- 200 Hz ... 4 kHz (Lower curve)

Both curves show that $U_{irr, rms}$ increases with R_G .

Die Beschaltung des OPs ist einfach. R1 und R2 legen den nichtinvertierenden Eingang auf halbe Betriebsspannung, das Signal wird auf diesen Eingang gegeben. Im Gegenkopplungszweig befinden sich zwei die Verstärkung beeinflussende Elemente. Man kann einerseits mit S den Widerstand R6 für hohe Verstärkung überbrücken und einen festen Verstärkungsanstieg einstellen. Andererseits kann die Ver-

B-ADER
 MASSE
 A-ADER
 MASSE
 +24 V
 AUSGANG

The photograph shows the E-1420 'EXPERIENCE' electronics kit. It is a rectangular circuit board populated with various electronic components. A large, dark, rectangular component, likely a battery or a large capacitor, is mounted on the right side with the text 'E-1420 -EXPERIENCE- electronics' printed on it. Several electrolytic capacitors are visible, including one labeled '5A 50-10 745' and another labeled '22005 FRAKO'. There are also several resistors of different sizes and shapes. A small integrated circuit or microcontroller is located in the center. A metal probe or test lead is connected to a terminal on the left side of the board. The board has several mounting holes and a series of small, round components along the right edge.

13

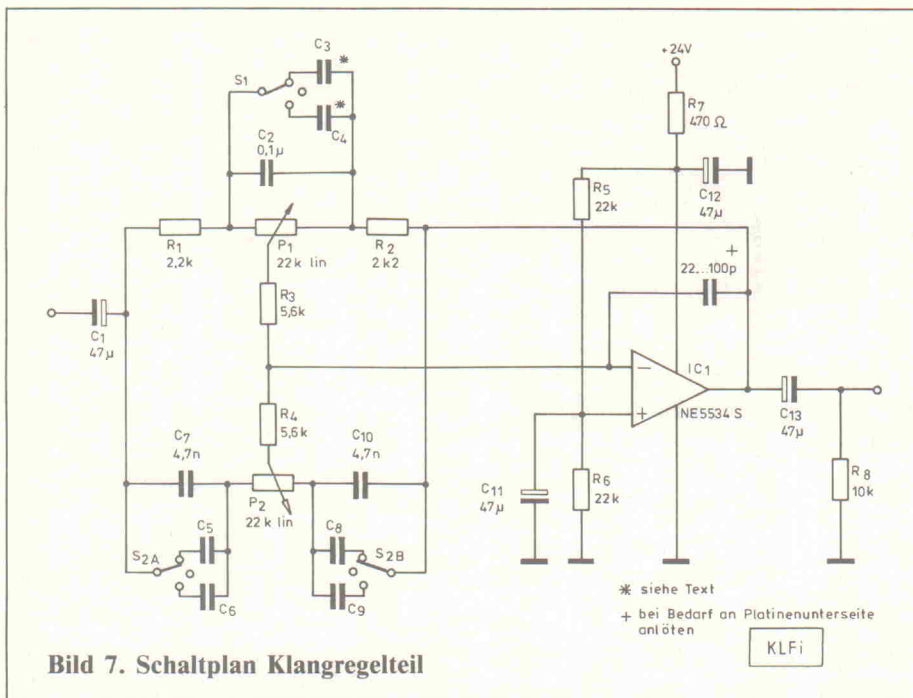


Bild 7. Schaltplan Klangregelteil

Stückliste

— Klangregelteil —

R1,2	2k2
R3,4	5k6
R5,6	22k
R7	470R
R8	10k
P1,2	22k lin., 4-mm-Achse
C1	47µF/40V
C2	0,1µF MKH RM 7,5
C3,4	siehe Tabelle
C5,6	siehe Tabelle
C7	4,7nF MKH RM7,5
C8,9	siehe Tabelle
C10	4,7nF
C11...C13	47µF/40V
IC1	NE 5534 S
S1	Kleinkippschalter 2x UM mit Mittelstellung
S2	Kleinkippschalter 2 x UM mit Mittelstellung

Sonstiges

5 Lötnägel
1 Sockel DIL 8
1 Platine 63 x 70mm, Epoxy, einseitig verzinnt

Tabelle zu Bild 7			
Höhenregler			
Gesamtkapazität: C7 + C5 oder C6 und C10 + C8 oder C9	± 3 dB- Punkt	± 12 dB- Punkt	Beeinflussung bei 20 kHz
2,2 nF	7 kHz	20 kHz	9,5 dB
4,7 nF	3,4 kHz	11 kHz	12 dB
10 nF	1,93 kHz	6 kHz	13,2 dB
20 nF	940 Hz	3,8 kHz	13,7 dB
32 nF	580 Hz		
Baßregler			
Gesamtkapazität C2 + C3 oder C4	± 3 dB- Punkt	± 12 dB- Punkt	Beeinflussung bei 20 Hz
100 nF	470 Hz	83 Hz	18 dB
200 nF	230 Hz	52 Hz	17,5 dB
300 nF	150 Hz		16 dB

liegt und schließt dann kurz, kann es durch den hohen Entladespitzenstrom des Elkos doch zum IC-Ausfall kommen. Im Gegenkopplungsweig ist noch C5 eingezeichnet. Dieser Kondensator befindet sich nicht auf dem Layout, wie auch aus dem Bestückungsplan Bild 5 ersichtlich. Man lötet ihn auf der Leiterbahnseite direkt an die IC-Anschlüsse 2 und 6, hier wirkt er am besten. In Bild 6 ist der fertig aufgebaute Baustein gezeigt, in Tabelle 2 sind die erreichbaren Daten des Mikrophonverstärkers zusammengestellt.

Direkt nach dem Vorverstärker kommt das Klangregelteil, wie es auch im Blockschaltbild eingezeichnet ist. Diese Schaltung in Bild 7 ist im Prinzip altbekannt. Die den Frequenzgang beeinflussenden Elemente befinden sich im Gegenkopplungsweig des OPs. Damit erreicht man große und exakte Regelbereiche und gleichzeitig bei Reglermitteinstellung eine Durchgangsdämpfung von 0 dB. Damit die Schaltung einwandfrei funktioniert, muß sie niederohmig angesteuert werden. Dies ist sichergestellt, wenn der Mikrophonverstärker-Ausgang direkt an diese Schaltung an-

gekoppelt wird. In Bild 8 ist der Bestückungsplan gezeigt und in Bild 9 der Schaltungsaufbau.

Die Übersteuerungsanzeige für jeden Kanal ist einfach, preiswert und funktionell.

Je nach Einsatz des Pults kann es notwendig sein, den Regelbereich der Klangregler umzuschalten. Genügend

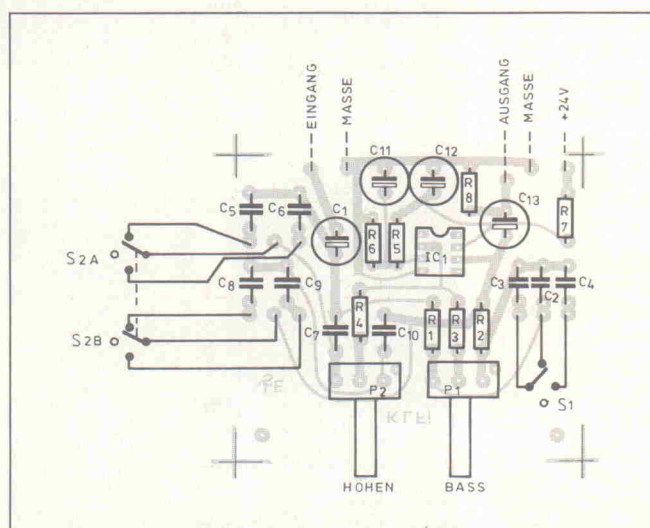


Bild 8. Bestückungsplan Klangregelteil

Bild 9.
Foto des fertigen
Klangregelteils

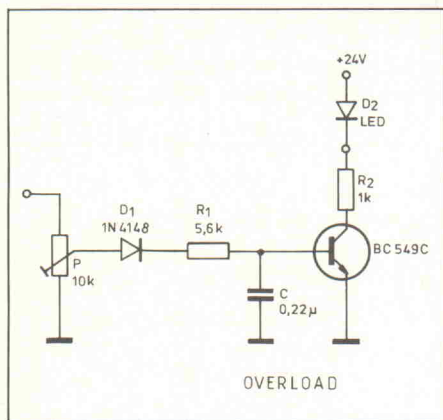
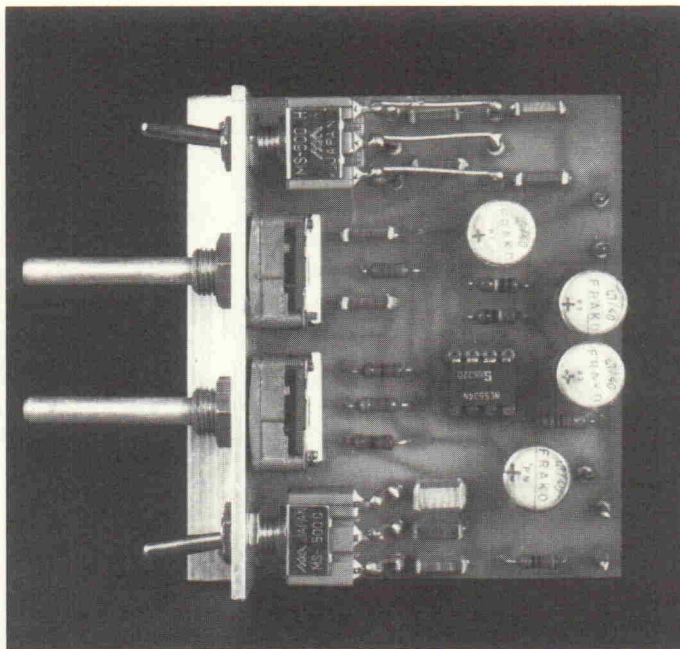


Bild 10. Schaltplan Overloadanzeige

Umschaltmöglichkeiten ersparen eine aufwendige, parametrische Mittenregelung, die manchmal nicht unkritisch im Aufbau ist und in einem tragbaren Mischer zu viel Platz einnimmt. In Tabelle 4 ist eine Reihe von Kondensatorwerten aufgelistet, mit denen die Klangregelung individuell gestaltet werden kann.

Nach dem Klangregelteil verzweigen sich die Signalwege. Als nächsten Baustein besprechen wir die Overload-Anzeige. In einem tragbaren Kompaktmixer ist kaum Platz für Aussteuerungsmesser

Remix 2

Stückliste

— Overload —

R1	5k6
R2	1k
P	10k Trimpoti liegend
C	0,22µF MKH 7,5
T	BC 549 C
D1	1 N 4148
D2	LED rot

Sonstiges

4 Lötnägel
1 Platine 23 x 28mm, Epoxy, einseitig
verzinkt

für jeden Kanal. Deshalb wird eine einfache Overload-Anzeige vorgesehen, die vor drohender Übersteuerung rechtzeitig warnt. Diese Anzeige ist absichtlich nach dem Klangregelteil vorgesehen. Wenn die Anzeige vorher angeordnet wäre und z.B. der Baßbereich bei 100 Hz um 12 dB angehoben ist, kann es zu Übersteuerungen bei dieser

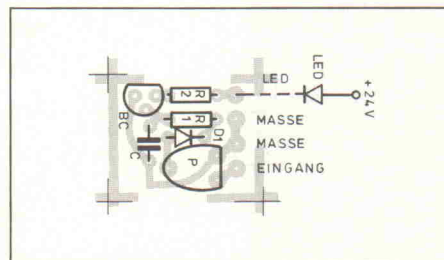


Bild 11.
Bestückungsplan Overloadanzeige

Frequenz kommen, ohne daß dies sofort bemerkt würde. Bild 10 zeigt die Schaltung.

Mit P wird der Ansprechpegel eingestellt. Wie es im Studiobereich üblich ist, will man 6 dB vor der Aussteuerungsgrenze bereits die Warnung haben. In unserem Pult muß also bei einem Pegel von +10 dBm die LED anfangen zu leuchten. Die Diode D1 hält die negativen Signalanteile vom Transistor fern. Die Zeitkonstante von R1 und C ist so bemessen, daß die LED auch bei sehr kurzen Signalspitzen lange genug leuchtet und so eine sichere optische Anzeige bietet.

Das Signal des Eingangskanals muß nun auf die beiden Summenschien links (L) und recht (R) geführt werden. Bevor wir den nächsten Baustein angehen, der diese Funktion erfüllt, muß ein weiterer Punkt besprochen werden. Jedes ordentliche Mischpult arbeitet nichtinvertierend! Mit anderen Worten, das Signal wird zwischen Eingang und Ausgang in der Phase nicht gedreht. Damit erreicht man vollkommene Kompatibilität beim Abmischen und erhöhte Störsicherheit, wenn alle Kanäle gleichphasig nichtinvertierend sind. Für einwandfreie Stereoabmischung ist es außerdem unabdingbar, daß phasenrein gearbeitet wird. Bei Stereowiedergabe wären sonst Klangverfälschungen und eine nicht mehr einwandfreie Ortbarkeit der Klangquellen die Folge. Da das vorher beschriebene Klangregelteil die Phase um 180° gedreht hat, muß das Signal, bevor es auf die Summenschien kommt, wieder zurückgedreht werden.

Der Kanalausgangsverstärker in Bild 12 arbeitet deshalb invertierend. Dies hat für den Volumen-Regler noch einen weiteren Vorteil: Wird der Volumen-Regler zurückgedreht, nimmt bei der in Bild 12 gezeigten Schaltungsart auch das Rauschen ab. Der Rauschanteil sinkt proportional zur Reglerstellung, so daß Geräusch- und Fremdspannungsabstände hoch bleiben. Weiterhin ist auch mit Potis ohne Endschalter eine hohe Ausschaltämpfung möglich, die in Studiopulten ein Muß ist.

Am Ausgang dieses Bausteins befindet sich ein Panorama-Regler. Damit kann

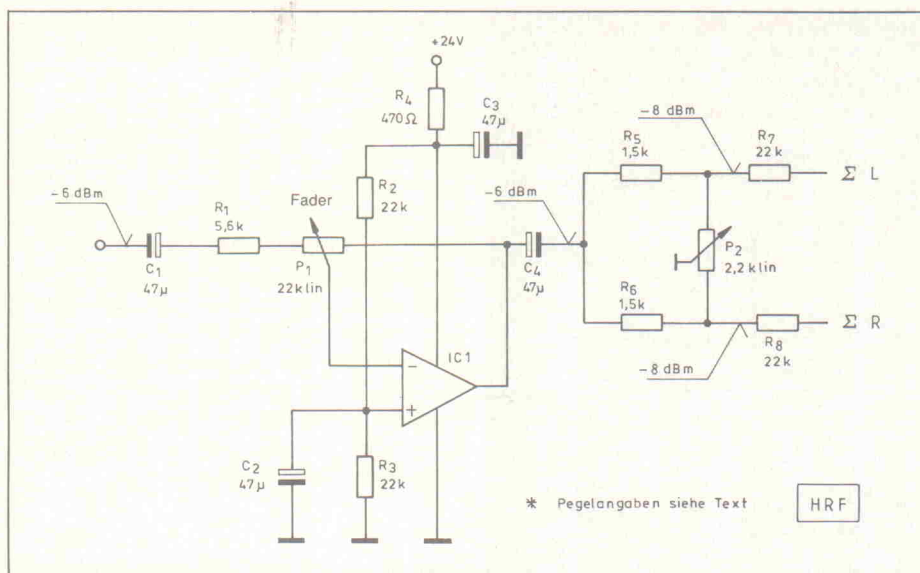


Bild 12. Schaltplan Panpot

Stückliste

— Panpot —	
R1	5,6k
R2,3	22k
R4	470R
R5,6	1k5
R7,8	22k
P1	22k
C1...C4	47µF/40V
IC1	NE 5534 S

Sonstiges
1 Sockel DIL 8
6 Lötnägel
1 Platine 40 x 48mm, Epoxy einseitig
verzinnt

das Kanalsignal stereophon beliebig zwischen links und rechts plaziert werden. Das Poti für den Panorama-Regler sollte, wie auch alle anderen, ein Poti mit Rastwerk sein. Dies hat vor allem hier den Vorteil, daß nicht nur hohe Wiederholgenauigkeit, sondern auch eine exakte, mechanische und elektrische Mittenstellung gewährle-

Datentabelle zu Bild 12

maximale Eingangsspannung	+ 7 dBm
maximale Ausgangsspannung	+ 9 dBm
Ausblenddämpfung	≥ 100 dB
Volumenregler	≥ 100 dB
Ausblenddämpfung	≥ 50 dB
Panoramaregler	20 Hz... 20 Hz
Frequenzgang	≤ ± 0,1 dB
Klirrfaktor bei U _A = + 16 dBm	≤ 0,01 %
Fremdspannung	-103 dBm

stet ist. Die Panorama-Brückenschaltung hat bei Mittenstellung von P2 eine Durchgangsdämpfung von etwa 3 dB, was bei Aufsummierung von links und rechts gehörmäßig keinen Lautstärkeverlust zur Folge hat. Die Widerstände R7 und R8 sind deshalb so bemessen, damit die Verluste über den Summenverstärker aufgeholt werden und das Signal wieder auf Normpegel gebracht wird.

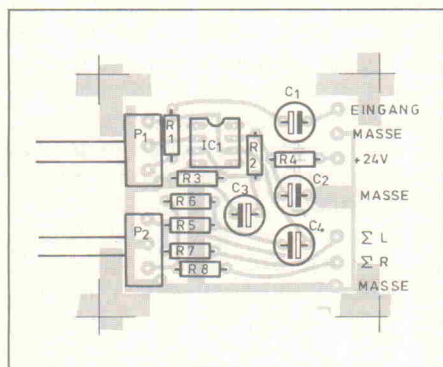


Bild 13. Bestückungsplan Panpot

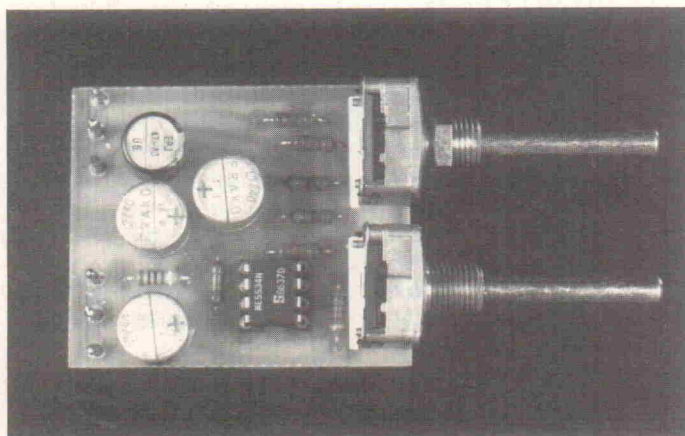


Bild 14. Foto des fertigen Panpot

In der Reihenfolge nach dem Blockschaltbild folgt nun der Summenverstärker in Null-Ohm-Technik. Der Mikrophon - bzw. Eingangsverstärker kommt in jedem Pult sehr häufig vor und bestimmt sehr stark den er-

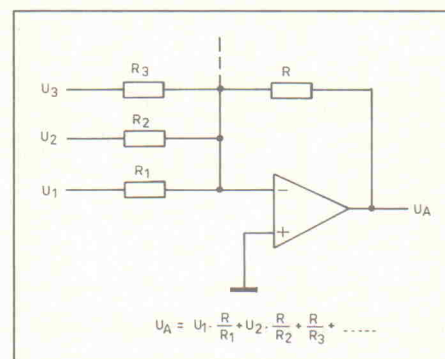


Bild 15. Prinzipschaltung des Null-Ohm-Summierverstärkers

Stückliste

— Universal VV —	
R1,2	100k
R3	470R
R4	nach Bedarf (siehe Text)
R5	100R oder nach Bedarf (siehe Text)
R6	5,6k
R7	100R
P	22k lin., 4-mm-Achse
C1...C4	47µF/40V
IC1	NE 5534 R bei Bild 24a NE 5534S bei Bild 24b

Sonstiges
6 Lötnägel
1 Platine 41 x 51mm, Epoxy, einseitig
verzinnt

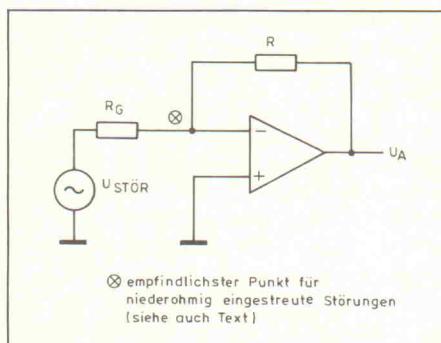


Bild 16. Prinzipschaltung zur besseren Verständlichkeit der Störimpfindlichkeit des Null-Ohm-Verstärkers

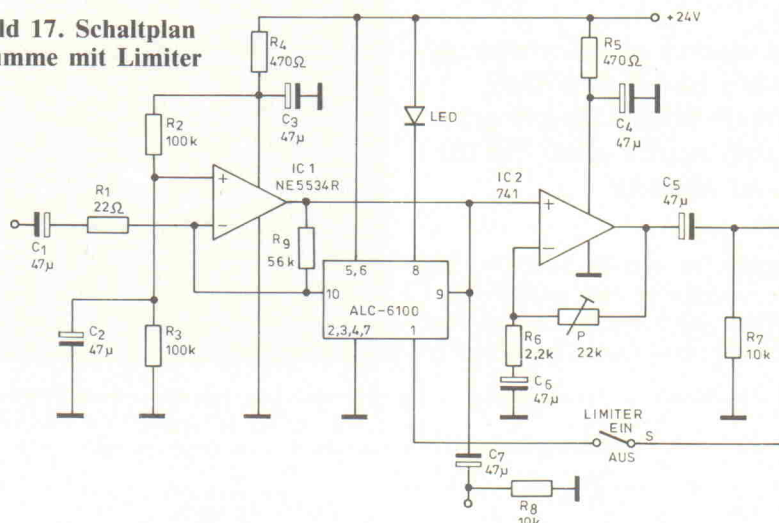
reichbaren Rauschabstand. Ein weiterer, extrem wichtiger Block ist der Verstärker, der die einzelnen Signale summiert und gegebenenfalls noch verstärken muß. Die Null-Ohm-Technik ist zwar seit Jahrzehnten bekannt, ihr muß trotzdem größte Aufmerksamkeit bei der Anwendung geschenkt werden. Dazu sind einige Betrachtungen und etwas Theorie notwendig.

In Bild 15 ist die prinzipielle Grundschaltung eines invertierenden Summierers mit der dazugehörigen Formel gezeigt. Wie man sieht, eine sehr einfache Sache. Man kann einen OP mit wenigen Bauteilen so beschalten, daß der Formel genüge getan wird, und dies funktioniert auch überwiegend recht gut. Wenn jedoch Audiosignale so gemischt werden sollen, daß hochwertige Aufnahmen das Endergebnis sind, müssen verschiedene, grundlegende Dinge dringend beachtet werden. In Bild 16 ist nochmals die invertierende Grundschaltung eines OPs zusammen mit einem Störsignale erzeugenden Generator mit Innenwiderstand dargestellt. Der mit X gekennzeichnete Punkt ist die Null-Ohm-Schiene. Vom Prinzip her müßte der Null-Ohm-Punkt in einer derartigen Schaltung eigentlich unkritisch sein. Der virtuelle Nullpunkt des invertierenden Eingangs eines OPs stellt von der Theorie her einen signalmäßigen Kurzschluß nach Masse dar. In der Realität herrschen aber andere Verhältnisse. Wie die Formel in Bild 15 schon verdeutlicht, ist der Null-Ohm-Punkt ein sehr kritischer Punkt. Wird nämlich einer der Eingangs-Entkoppelwiderstände sehr klein, nimmt die Verstärkung sehr große Werte an.

Um dieses auf Bild 16 zu übertragen: Wird eine Störspannung mit einem sehr niedrigen Generatorwiderstand R_G auf die Null-Ohm-Schiene eingespeist, genügen auch schon sehr kleine Störpegel, um am Ausgang des Summierverstärkers entsprechend hohe Störspannungen zu verursachen. Geht der Generatorwiderstand der Störquelle gegen Null, steigt die Verstärkung für Störpegel auf unendlich an. Ein kleiner Widerstand in der Null-Ohm-Leitung schafft bereits Abhilfe zusammen mit guter Leitungsführung und Abschirmung der kritischsten Punkte. Diese Hinweise sollen fürs Erste genügen. Wenn der Aufbau des Pultes besprochen wird, kommen wir im Detail nochmals auf dieses spezielle Problem zurück.

In Bild 17 ist der Schaltplan des Null-Ohm-Summenverstärkers gezeigt — zusammen mit einem Limiter. Wie bereits ganz am Anfang erwähnt, ist es vor allem in Mixern für den Live-Betrieb sehr sinnvoll, Limiter einzubauen. Die Mikrofonführung vereinfacht sich erheblich, man kann sich auf die Reportage konzentrieren und muß nicht dauernd den Aussteuerungspegel überwachen. Der Widerstand R_1 ist der besagte Begrenzungswiderstand im Null-Ohm-Verstärker. IC1 erfüllt zum einen die Funktion des Summierverstärkers, andererseits arbeitet es zusammen mit dem Regelmodul ALC-6100 als Limiter. Gerade im Summierverstärker macht sich Rauschen besonders bemerkbar. Je mehr Kanäle aufgeschaltet werden, desto

Bild 17. Schaltplan Summe mit Limiter



Datentabelle zu Bild 17

Begrenzungseinsatz	—17 dBm
Ausgangsspannung bei	
Begrenzungseinsatz	—6 dBm
Klirrfaktor	
ohne Begrenzung	$\leq 0,01 \%$
in Begrenzung	$\leq 0,3 \%$
Frequenzgang	
ohne Begrenzung	$\leq 25 \text{ Hz} \dots$
	$\leq 25 \text{ kHz}$
	—1 dB
Frequenzgang	
in Begrenzung und	$\leq 30 \text{ Hz} \dots$
$U_E = 20 \text{ dBm}$	$\leq 30 \text{ kHz}$
	$\pm 1 \text{ dB}$
Ansprech- und Regelzeit	$\leq 20 \mu\text{s}$
maximale Ausregelung	$\leq 22 \text{ dBm}$ bei
	$U_A = -3 \text{ dBm}$

Wichtiger Hinweis: Mit dem Trimpoti muß bei einer Eingangsspannung von —17 dBm die Ausgangsspannung auf —6 dBm $\pm 1 \text{ dB}$ bei 1 kHz gebracht werden. Dann ist die Limiterschaltung richtig abgeglichen.

Stückliste

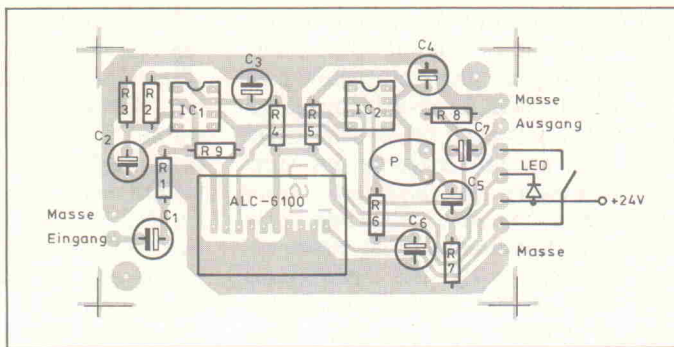
— Summe mit Limiter —

R1	22R
R2,3	100k
R4,5	470R
R6	2k2
R7,8	10k
R9	56k
P	22k Trimpoti
	liegend
C1...C7	47µF/40V
IC1	NE 5534 R
IC2	741
LED	LED 5mm rot
S	Kleinkippschalter 1 x EIN

Sonstiges

- 1 ALC-6100 Limitermodul
- 2 Sockel DIL 8
- 9 Lötnägel
- 1 Platine 51 x 84mm, Epoxy, einseitig verzinnt

Bild 18.
Bestückungsplan
Summe mit
Limiter



größer wird das Rauschen. Zusammen mit der Limiter-Funktion ist das Rauschverhalten von IC1 besonders kritisch. Je nach Regeleinsatz des Limiters tritt ein sogenanntes Rauschatmen auf, das besonders bei kritischem Programm-Material mit großer Dynamik störend wirkt.

Ein Limiter in der Summe ist zwar kein absolutes Muß, aber nach einem überfahrenen Take würde man ihn zu schätzen wissen.

Die Grundlagen und die Funktion des Limiters wurden bereits in REMIX 1 ausführlich abgehandelt, so daß hier nur auf die wesentlichen Eigenschaften

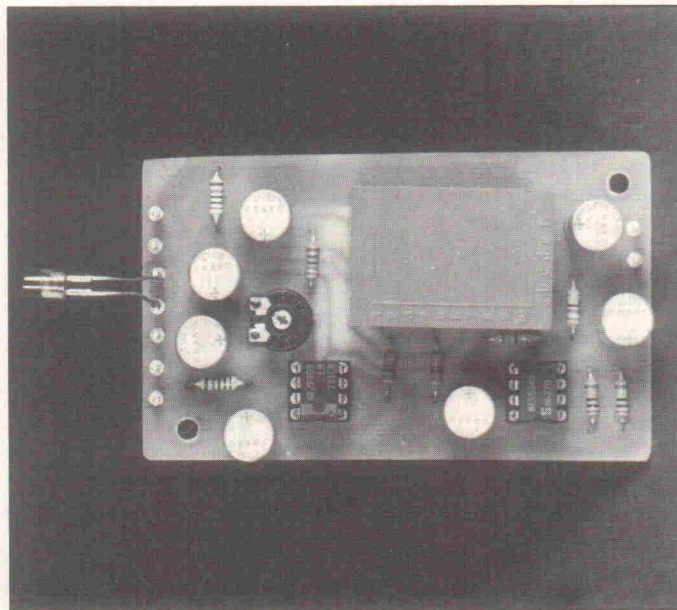


Bild 19. Foto der fertigen Summe mit Limiter

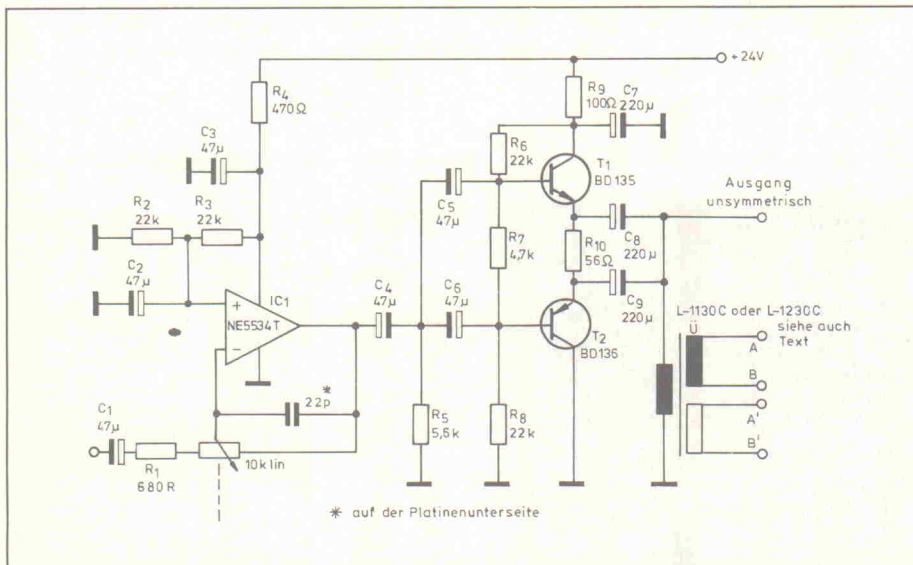


Bild 20. Schaltplan Ausgangsverstärker

eingegangen wird. Im Gegenkopplungszweig von IC1 ist das Regelmodul ALC-6100 geschaltet, das eine Weiterentwicklung des im REMIX 1 vorgestellten ALC-6000 ist. Es enthält Signalgleichrichter, Regelement und LED-Treiber. IC2 sorgt für Entkopp-

lung des NF-Signals und stellt dieses dem Regelmodul niederohmig zur Verfügung. Mit P wird so abgeglichen, daß ab etwa -7 dBm bis -6 dBm am Ausgang von IC1 der Begrenzungseinsatz erfolgt. Die LED fängt kurz vor Begrenzungseinsatz an zu leuchten und wird mit zunehmendem Signal immer heller. Wenn der Eingangspegel um 10 dB ansteigt, darf ab Begrenzungseinsatz der Ausgangspegel nur um etwa 1 dB ansteigen. Der Limiter spricht

Stückliste

— Ausgangsverstärker —
Bestückung für einen Kanal

R1	680R
R2,3	22k
R4,	470R
R5	5k6
R6	22k
R7	4k7
R8	22k
R9	100R
R10	56R
P	10k lin., 4-mm-Achse
C1...6	47µF/40V
C7...9	220µF/40V
IC1	NE 5534 T
T1	BD 135
T2	BD 136
Ü	L-1130 C von EXPERIENCE electronics

Sonstiges
1 Sockel DIL 8
8 Lötnägel
1 Platine 82 x 109mm, Epoxy, einseitig verzinnt

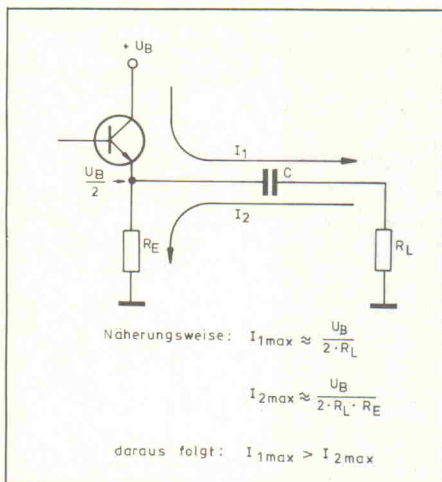


Bild 21. An diesem Prinzipschaltbild wird die Problematik eines einfachen Emitterfolgers recht deutlich.

bereits ab der ersten Signalhalbwellen an, die Ansprechzeit ist $20 \mu s$. In der Tabelle 4 sind die Daten der gesamten Einheit aufgelistet, in Bild 18 ist der Bestückungsplan, in Bild 19 ein Foto des Bausteins zu sehen.

Am Ende der Kette befindet sich der Ausgangsverstärker. Hier muß nochmals das Signal um 180° gedreht werden, da Verstärker in Null-Ohm-Technik zwangsläufig nur

als Invertierer zu realisieren sind. IC1 in Bild 20 ist als Invertierer geschaltet, der Volumen-Regler befindet sich wieder im Gegenkopplungsweig. Die Vorteile dieser Schaltungstechnik wurden bereits besprochen. Nach dem IC folgt ein Ausgangsverstärker, der das Signal sehr niederohmig an den Ausgangsübertrager weitergibt. Hier wurde eine ganz ungewöhnliche Schaltung gewählt, die sich durch hervorragende Stabilität auszeichnet. Im Prinzip sind hier je ein NPN- und ein PNP-Emitterfolger gegeneinander geschaltet. Emitterfolger zeichnen sich durch hohe Stabilität und niedrigen Klirrfaktor wegen der Totalgegenkopplung aus. Ein ein-

facher Emitterfolger hat aber leider den Nachteil, daß z.B. bei NPN-Version wie in Bild 21 gezeigt, tatsächlich nur die positive Signalhalbwellen niederohmig zur Verfügung steht. Der Transistor kann hohe Ströme an die Last abgeben, wohingegen bei der negativen Halbwellen der Emitterwiderstand R_E den Strom aufbringen muß. R_E hat nur zwangsläufig einen relativ hohen Wert, da sonst der Ruhestrom wegen der Arbeitspunkteinstellung und die Verlustleistung zu groß werden.

In der Schaltung in Bild 20 sind zwei Emitterfolger so zusammengeschaltet, daß jeder für den anderen den Emitter-

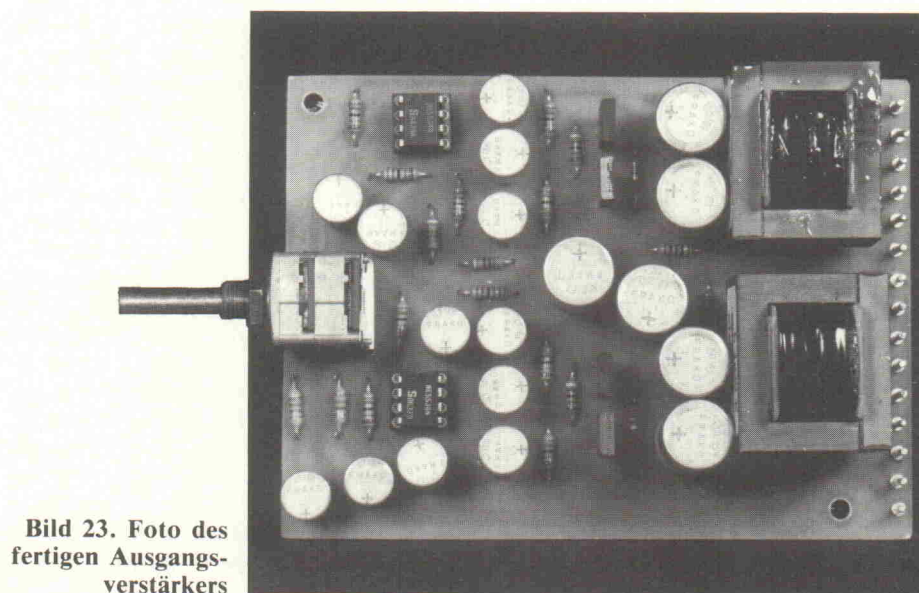
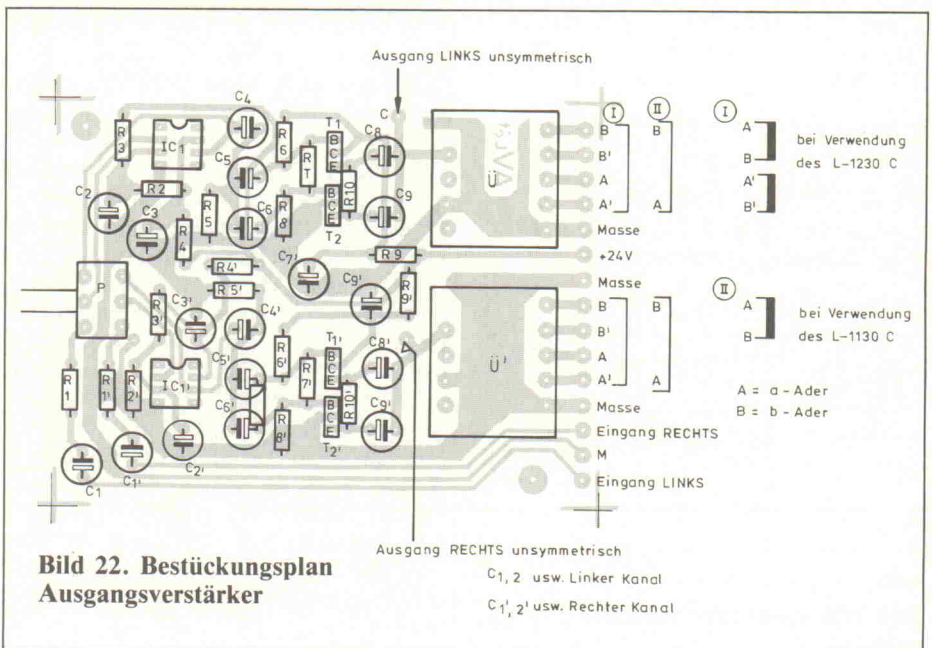


Bild 23. Foto des fertigen Ausgangsverstärkers

widerstand bildet. Wegen der komplementären Transistoren läuft der Arbeitspunkt auch bei starken Temperaturschwankungen nicht davon, der Strom bleibt konstant. Das Signal muß jeweils über zwei Kondensatoren ein- und ausgekoppelt werden. Dieses steht dann niederohmig am Ausgang zur Verfügung und kann über den spannungsangepaßten Line-Übertrager galvanisch getrennt und erdfrei symmetrisch abgenommen werden. Es sind zwei Übertragertypen möglich: ein 1:1-Line-Übertrager oder ein 1:1 + 1-Trafo. Für diese Trafos gibt es in der Bundesrepublik mehrere Quellen: Picatron und Hauffe liefern ein umfangreiches Programm für alle möglichen Pin-Belegungen und Pegel. Die exakt passenden Übertrager sind jedoch beim Autor in hervorragender

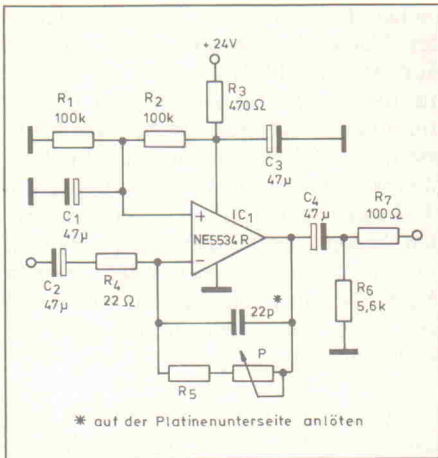


Bild 24a. Null-Ohm-Verstärker

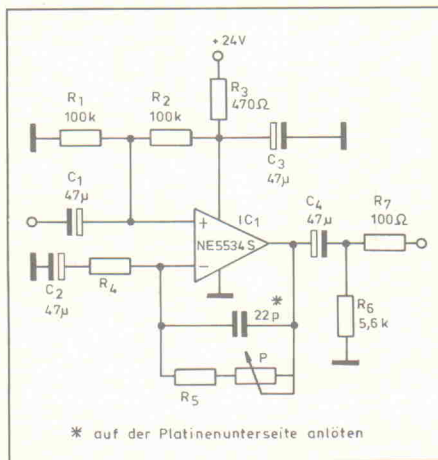


Bild 24b. nicht invertierender Vorverstärker

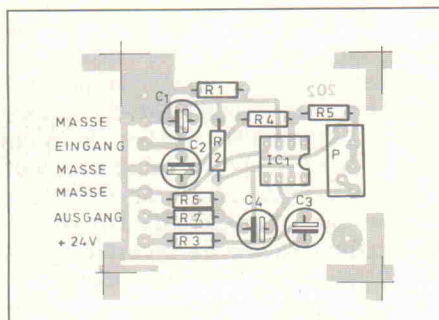


Bild 25a. Bestückungsplan als Null-Ohm-Verstärker

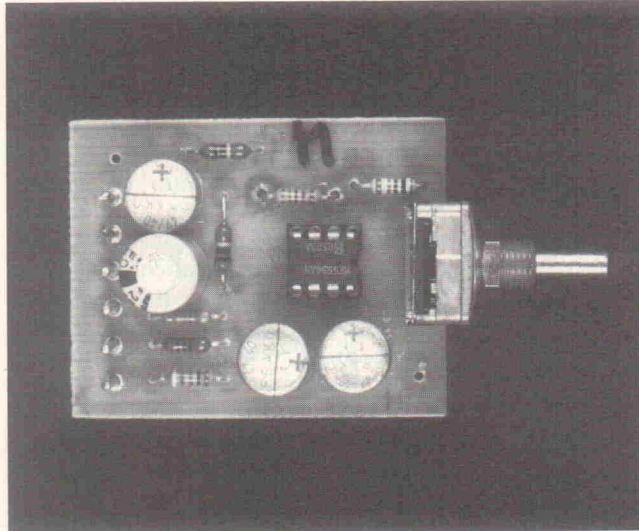


Bild 26a. Null-Ohm-Verstärker für Monitorweg

Qualität und zu nicht-öffentlich-rechtlichen Preisen erhältlich (1:1 Typ: L-1130 C/ 1:1+1-Typ: L-1230C). Wird der 1:1-Typ eingesetzt, kann bei diesem Mixer mit einem maximalen Pegel von +16 dBm gerechnet werden. Der 1:1+1-Übertrager bietet zwei Optionen mehr. Man kann seine beiden Sekundärwicklungen parallel schalten, so daß er wie der 1:1-Typ arbeitet. Man kann die Wicklungen aber auch in Serie schalten und einen Maximalpegel von +32 dBm erreichen. Er kann aber genauso als Splitübertrager verwendet werden, wobei dann zwei galvanisch getrennte, erdfrei symmetrische Signale zur Verfügung stehen. Aus dem Bestückungsplan in Bild 22 gehen die beiden Belegungsmöglichkeiten hervor.

Nun kommen wir wieder zum Signalverzweigungspunkt gleich nach dem Klangfilter zurück. Hier sind zwei Wege vorgesehen, der Monitorweg und die Hallauskopplung.

Dafür sind jeweils zwei Bausteine nötig, ein Null-Ohm-Verstärker und ein Kopfhörerverstärker. Der Schaltplan des Null-Ohm-Verstärkers ist in Bild 24a abgebildet und soweit bekannt. In Bild 24b ist eine Schaltungsvariante dargestellt. Das Layout in den Bildern 25a und b ist gleich, nur durch

Für Effekt-Summe und Kopfhörerverstärker lassen sich die gleichen Platinen verwenden.

Umbestücken der Elkos C1 und C2 kann je nach Bedarf ein Null-Ohm-Verstärker oder ein nicht invertierender Vorverstärker daraus entstehen. Im Gegenkopplungsweg kann ein Potentiometer oder ein Festwiderstand, je nach Bedarf, eingebaut werden. In Bild 26a ist die Beschaltung als Null-Ohm-Verstärker für den Monitorweg einschließlich externer Beschaltung gezeigt, in Bild 26b die für die Hallauskopplung. Der Ausgangsverstärker für den Hall kann entweder unsymmetrisch sein, wie in Bild 26b gezeigt, oder es kann der symmetrische mit Übertragerausgang nach Bild 20 verwendet werden. Mit dem unsymmetrischen Ausgangsverstärker kann direkt ein 600-Ohm-Kopfhörer angesteuert werden, da der NE 5534 Lasten bis zu 600 Ω herunter problemlos treiben kann. Der Hall wird wieder über eine Schaltung wie in Bild 12 eingekoppelt und direkt auf die Summenschienen geführt.

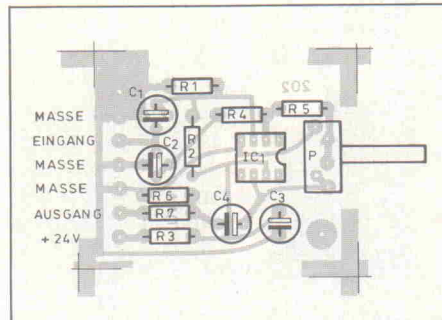
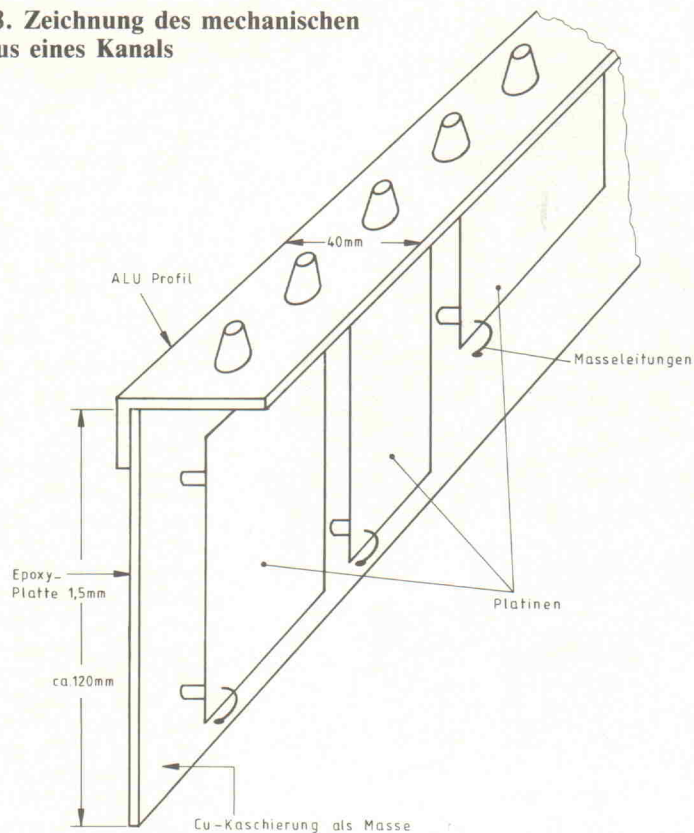


Bild 25b. Bestückungsplan als nicht invertierender Vorverstärker

Bild 28. Zeichnung des mechanischen Aufbaus eines Kanals



Null-Ohm-Summenschienen sollten nur mit abgeschirmten Leitungen verlegt werden, denn diese sind gegenüber Störungen sehr kritisch, wie bereits beschrieben. Der Schirm wird nur einseitig nahe dem Null-Ohm-Verstärker aufgelegt. Wenn für die Volumen-Regler Schiebepotis eingesetzt werden, ist ein dreiadrig abgeschirmtes Kabel notwendig. Bei der hier angewandten Schaltungstechnik sind alle drei Potipunkte bei größerem Abstand vom IC störempfindlich. Sind aber alle drei Leitungen abgeschirmt, kommen alle Vorteile dieser Schaltung voll zum Tragen.

Ein Netztrafo hat in einem hochwertigen Mischpult nichts zu suchen, egal ob er der Gattung Ringkern, MD-Kern oder Ferritkern angehört. Im Mixer selbst wird in einer Ecke nur eine Stromversorgung angebracht, deren Schaltplan in Bild 29 gezeigt ist. Hier sind sowohl Netz- wie auch Batteriebetrieb vorgesehen. In Bild 30 ist ein fertig aufgebautes Mustergerät gezeigt, welches aus den vorgestellten Bausteinen besteht. Mit diesem Kleinmixer sind schon öfters hochwertige Reportagen und Außen- aufnahmen gemacht worden. Die Vorgabe war, daß der Mixer von den Abmessungen her in eine übliche Reportageledertasche passen mußte, was durch geschickte Anordnung der Bausteine möglich war. Als Aussteuerungsmesser wurden einfache Zeigerinstrumente verwendet. Prinzipiell kann jeder Aussteuerungsmesser eingebaut werden, die Größe und Genauigkeit hängt vom vorgesehenen Einsatzfall ab. Geeignete Schaltungen wurden schon öfters in elrad vorgestellt.

Damit sind alle nötigen Bausteine besprochen, die zum Bau eines einfachen, aber durchaus hochwertigen Mischpultes notwendig sind. Ausbaumöglichkeiten gibt es genug und diese sind meistens nur durch die vorhandenen Finanzen begrenzt. Die alleinige Beschreibung der Schaltungen und Platinen genügt keinesfalls für den erfolgreichen Nachbau. Wie so oft hängt vor allem auch hier die Funktionsfähigkeit des Endprodukts vom richtigen mechanischen Aufbau ab. Deshalb sollen zum Schluß noch einige wichtige Hinweise angefügt werden.

Da die vorgestellten Bausteine vielseitig verwendbar sind, macht es wenig Sinn, fertige Mechaniken zu beschreiben. Jeder kann sich mit diesen Schaltungen sein spezielles Mischpult mit Erfolg zusammenstellen, wenn einige wichtige Aufbauregeln beachtet werden. In Bild 28 ist der prinzipielle Aufbau gezeigt, wobei sich einige Grundmaße an die professionelle Studiotechnik anlehnen. Grundsätzlich werden nur Potis mit 4-mm-Achse und Rastwerk verwendet, so daß enger Aufbau

möglich ist. Wenn der Aluwinkel 40 mm Frontplattenbreite bietet, ist dies bereits eine in der Studiotechnik weit verbreitete Normgröße. Aluprofile mit diesen Abmessungen sind als Meterware im einschlägigen Handel erhältlich. Wie in Bild 20 gezeigt, wird an den Winkel eine 1,5 mm starke, einseitig kupferkaschierte Epoxyplatte angeschraubt. Die Platte dient als Träger der Einzelplatinen und gleichzeitig als Masse und Abschirmung. Gute Abschirmung ist vor allem beim Mikrofonverstärker notwendig! Die Platinen bekommen Halt durch die Potibefestigungen an der Frontplatte. Die Masseleitung jeder Platine wird am besten mit versilbertem Kupferdraht mit etwa 1,5 mm Stärke direkt auf die Kupferkaschierung gelegt. Dies sorgt nicht nur für die beste Masseverbindung, sondern stützt die Platinen zusätzlich ab. Bei einigen Typen sind außerdem Bohrungen für Abstandsbolzen vorgesehen.

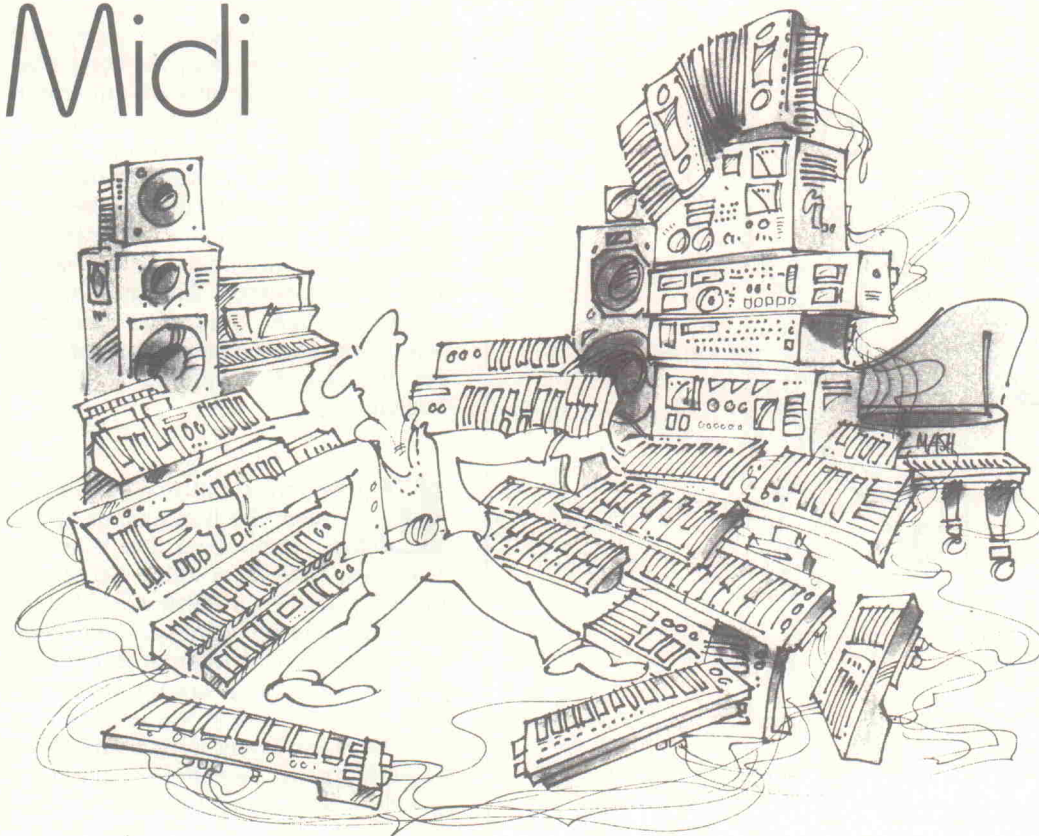
Unkritische und sehr kurze Signalleitungen und die Leitung für +24 V werden direkt durchgeschleift. Die

Literaturhinweise

Aus technischen Gründen konnten die Platinen-Layouts für den Mixer nicht mit abgedruckt werden. Interessierte Leser können sie mit einem selbstadressierten und freigemachten Umschlag kostenlos unter dem Stichwort „Layouts Remix 2“ beim Verlag anfordern.

- „Zahlenspiele“, Grundlagenartikel über Studiomischpulte in Elrad Sonderheft REMIX 1
- „Dynamik an der Kette“, Grundlagenartikel über Limiter in Elrad Sonderheft REMIX 1
- „Limiter L 6000“, Bauanleitung eines Studiolimters in Elrad Sonderheft REMIX 1

Midi



Gregor Zielinsky

Ein Zauberwort geistert seit rund sieben Jahren durch die Welt der Musikelektroniker und Synthesizisten. Ein Zauberwort, das selbst vor Kaffeemaschinen und Wasserorgeln nicht haltmacht. Midi heißt dieses Wort. Altehrwürdige Flügel werden zu Midi-Master-Keyboards, Computer zu MIDI-Mehrkanalmaschinen. Midi hat die Welt des professionellen Recordings in (finanziell) greifbare Nähe gerückt. Spielen muß man allerdings noch selbst. Doch für den, der's kann, stellt MIDI eine fantastische Möglichkeit dar, Dinge zu verwirklichen, die früher gar nicht, oder nur unter sehr hohem Aufwand möglich waren. Doch zunächst: Was ist MIDI überhaupt und was bedeutet es eigentlich?

MIDI steht für Musical Instruments Digital-Interface. Aha, da ham wir's ja. Digital! Mußte ja kommen. Wie schön war es doch noch zu Zeiten der alten Analog-Synthesizer, die man mit ein paar Strippen untereinander koppeln konnte. Stimmt! Aber genau da weht der Wind ja her. Denn als 1980 die ersten polyphonen Synthesizer auf den Markt kamen, war es mit deren Verkopplung untereinander vorbei. Sechs oder gar acht Stimmen über analoge Wege miteinander zu verbinden, ist denn auch ein Riesenaufwand, benötigt man doch pro Stimme mindestens zwei Kabel (Gate und Control Voltage), um die 'Daten' zu übertragen. So führten denn die ersten polyphonen Synthesizer ein trostloses Einzelleben, zunächst sogar ohne Speichermöglichkeit ihrer Klangprogramme. Es war ein Kreuz!

E gab allerdings eine Ausnahme. Dies war die PS 3000-er Serie von Korg. Dies waren sogar vollpolypho-

ne Synthesizer, also nicht nur sechs- oder achtschimmige, die alle Möglichkeiten der analogen Verkopplung boten. Die Geräte waren natürlich entsprechend teuer und umständlich zu bedienen. Bis dann 1982 führende Hersteller von Synthesizern ein Einsehen hatten (wohl auch aus finanztechnischen Gründen), sich zusammensetzten und eine Normschnittstelle entwickelten. Midi hatte das Licht der Welt erblickt. Bei dem Baby handelte es sich um eine acht Bit 'lange' serielle Computerschnittstelle mit einer Übertragungsrate von rund 31 k Baud (31000 Bit pro Sekunde). Diese Rate, die — wie man unschwer erkennt — nicht allzu schnell ist, macht dem Baby, das in den vergangenen fünf Jahren rasant aufgewachsen ist, manchmal etwas zu schaffen, wenn es um die Übertragung großer Datenmengen bei Midi-Mehrkanalprogrammen geht. Aber dazu später mehr.

Um diese Datenmengen zu reduzieren, hat man sich jedoch

ein recht praktisches Übertragungsformat einfallen lassen. Es werden nämlich nur Daten übertragen, wenn sich etwas ändert! Es gibt also z.B. 'einen Note on'- und einen 'Note off'-Befehl. Solange die Taste gedrückt bleibt, passiert nichts auf der Datenleitung. Wie sich manche erinnern, ist dies bei den analogen Synthesizern anders. Hier bleibt der Gate-Impuls und die Controlvoltage solange liegen, bis die Taste wieder losgelassen wird. Dann gibt es selbstverständlich eine Information über die Tonhöhe. Die Midi-Bandbreite umfaßt 128 Töne von C-2 bis G-8 (amerikanische Bezeichnungsweise). Es wurden weiterhin die Daten über die Anschlagdynamik 'Velocity' aufgenommen, denn inzwischen waren die Synthesizer auch anschlagdynamisch geworden. Zum reinen Spielen reicht dies schon. Doch moderne Technik liefert halt mehr, als man im Moment braucht und siehe da, hinterher werden auch noch Programm-Changes, Controller-Daten über Pitch-Wheel, Modulationsrad, Pedale und was man sonst noch so braucht, mit übertragen.

Wo lassen sich Midi-Daten nun überall sinnvoll einsetzen, bzw. welche Geräte außer Synthesizern reagieren eigentlich auf Midi-Befehle? Midi läßt sich überall da einsetzen, wo es um eine zentrale bzw. zeitgenaue Steuerung von (musik-) elektronischen Instrumenten geht. So gibt es inzwischen eine Menge von Geräten, vornehmlich für den Studio- und Bühnenbereich, die einen Midianschluß besitzen.

Hier ein kurzer Überblick:
Synthesizer/Expander,
Mischpulte,
Effekt- und Hallgeräte, Filter,
Lichtanlagen,
Midi-Masterkeyboards,
Midi-Aufnahmeprogramme,
Midi-Daten-Dump-Programme.

Bei Mischpulten, Effektgeräten und Hallanlagen kommen da-

Remix 2

bei i.a. lediglich die Programm-Changes zum Tragen. Auf einen Change-Befehl hin schaltet sich also ein neues Programm am Hallgerät ein, bzw. die Mischpuleinstellung ändert sich. Auf diese Weise sind computergesteuerte Abmischungen nicht allein mehr den großen, teuren Pulten vorbehalten. Auch auf der Bühne lassen sich gerade computergestützte Änderungen äußerst sinnvoll einsetzen, da hier die Zeit meist knapp ist.

Interessant für Programmierfreaks sind auch die Daten-Dump-Programme, mit denen es möglich ist, Synthesizer-Sounddaten im Computer zu verändern, zu speichern und zurück in den Synthesizer zu senden. Gerade schwierig zu programmierenden Synthesizern (wie dem DX 7) kommt dies entgegen. Andere Synthesizer wollen sich überhaupt nicht selber programmieren lassen (FB 01, TX 7). Für diejenigen, die wirklich mit ihrem Synthesizer klanglich kreativ arbeiten wollen, sind solche Programme von sehr großem Nutzen.

Wo lassen sich nun Midi-Daten überall sinnvoll einsetzen?

Manche dieser Programme stellen z.B. Hüllkurven optisch dar und tragen zum Begreifen dessen, was da eigentlich im Synthesizer passiert, in großem Maße bei. Außerdem kann man bei den meisten Programmen die Veränderungen 'Realtime' im Synthesizer hören.

Man findet hinten am Midi-Gerät im allgemeinen drei bekannt aussehende Buchsen. Und die Buchsen sehen nicht nur aus wie DIN-Buchsen, es sind auch welche (von der Bauart), nur natürlich ganz anders belegt und auf keinen Fall mit der Stereoanlage oder ähnlichen Gerä-

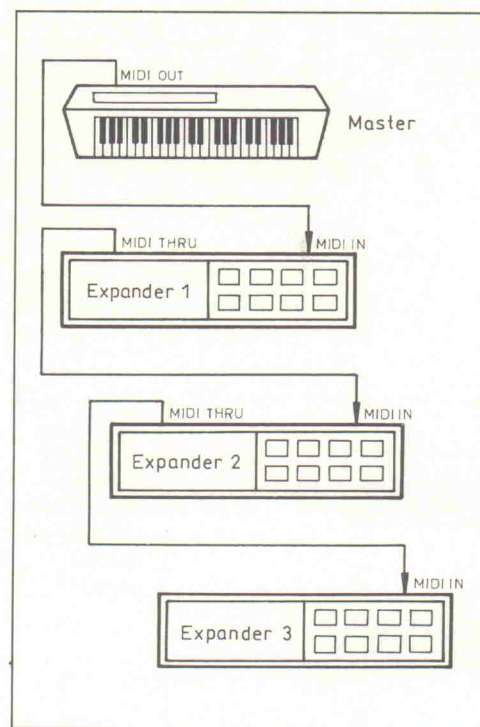


Bild 1. Die klassische 'Kettschaltung': nicht immer zu empfehlen.

um ein einziges Midi-Master-keyboard 'scharn' (Bild 1). Hier haben wir ein Masterkeyboard, das drei weitere Expander steuert. Vom Masterkeyboard können dabei verschiedene Programmkonfigurationen der Expander aufgerufen werden. Die Anzahl dieser sogenannten Presets geht dabei normalerweise bis 128. Wenn das Keyboard über einen oder mehrere Splitpoints verfügt, können so z.B. die Expander auf verschiedenen Midi-Kanälen angesprochen werden. Dann kann es aber u.U. bereits auf dem Keyboard und auch mit den zur Verfügung stehenden Fingern eng werden, so daß sich z.B. eine Konfiguration nach Bild 2 empfiehlt. Hier ist ein zusätzlicher (Hardware) Sequencer mit im Spiel, in dem Dinge vorher abgespeichert werden können, die dann bei der Aufnahme oder beim Live-spiel mit ablaufen und so das Keyboard entlasten.

ten zu verkoppeln!! Midi-In und -Out erklärt sich eigentlich von allein; hier gehen die Daten in den Synthie hinein bzw. aus ihm heraus. Auch Expander haben meist einen Midi-Out, da sie ihre Klangdaten an einen anderen Synthesizer oder einen Computer weitergeben können.

Leider nicht bei allen Geräten vorhanden ist der sogenannte Midi-Through-Ausgang. Er gibt die Daten, die am Midi-In anliegen einfach weiter, so daß mehrere Synthesizer oder andere Midi-Geräte hintereinander gehängt werden können (Bild 3). Es ist jedoch etwas Vorsicht geboten. Da Midi nicht die allerschnellste Schnittstelle ist, können Geräte, die am Ende diese Kette hängen, unter Umständen hinterherhinken, weil die Daten dort einfach zu spät ankommen. Hier bietet sich eine Midi-Through Box an, an der es einen Midi-In und mehrere Midi-Out gibt. Eine Bauanleitung in elrad 9/87 bietet genau dies: einmal Midi-In und viermal Midi-Out.

Das Midi-Masterkeyboard ist schlichtweg gesagt eine Tastatur ohne eigene Klangerzeugung, dafür

aber mit einer großen Zahl an Midi-Schaltmöglichkeiten ausgestattet. Mit wievielen ist natürlich von Gerät zu Gerät verschieden. Ein komplettes Midi-Set-up kann sich theoretisch

Die einfachste Grundkonfiguration ist die in Bild 3. Hier steuert ein Masterkeyboard einen Expander. Es macht quasi keinen Unterschied, ob die Ge-

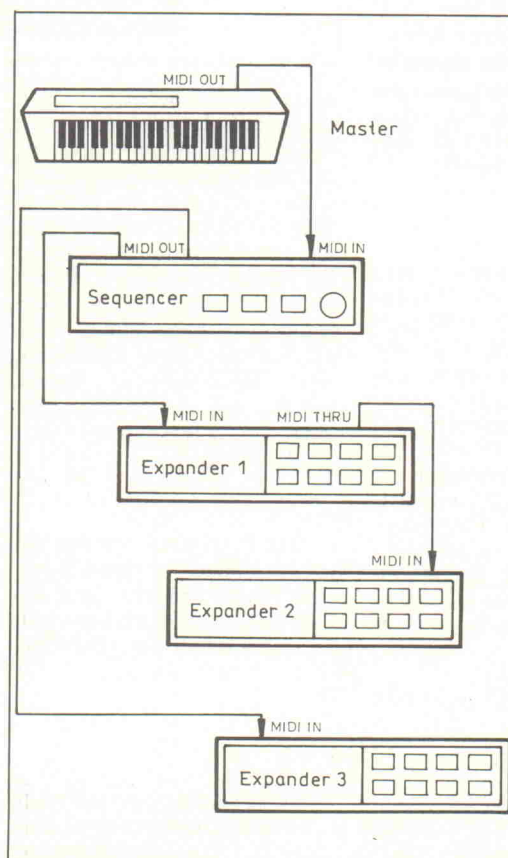


Bild 2. Wenn's auf dem Keyboard eng wird, hilft ein Sequencer.

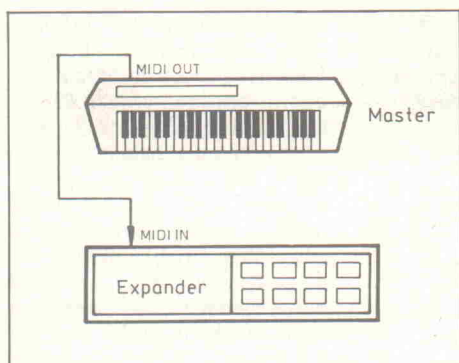


Bild 3. Kopplung von Masterkeyboard und Expander.

räte vereint in einem Gehäuse sind oder nicht. Als Masterkeyboard kann im übrigen natürlich immer auch ein normaler Synthesizer mit eigener Tonerzeugung dienen. Hierbei muß man lediglich Abstriche in den Möglichkeiten der Presetumschaltung und eventuell bei der Klaviertastatur selber machen.

Eine besonders für Bühnenanwendungen interessante Variante stellt noch Bild 4 dar. Hier steuern zwei Midi-Keyboards/Synthesizer einen Expander. Dies kann bei speziellen, teuren Expandern sinnvoll sein. Hierzu ist ein Midi-Mixer notwendig, der zwei Midi-In zu einem Midi-Out 'mischt'. Solche Mischungen lassen sich jedoch nicht durch ein normales Mischpult oder durch zwei zusammengelötete Kabel erreichen. Es ist, wie gesagt, ein spezielles Gerät erforderlich.

Hat man mehrere Synthesizer bzw. Expander zu versorgen, macht es Sinn, daß nicht alle auf einmal losjubelieren, nur weil irgend jemand auf irgendeinem Keyboard irgendeine Taste gedrückt hat. Es geht also darum, MIDI-Information zu kanalisieren; mit anderen Worten: Verschiedene Synthesizer bzw. sogar verschiedene Sounds auf einem Synthesizer sollen getrennt über die Midi-Kanäle ansteuerbar sein.

So unterscheiden wir prinzipiell drei MIDI-Modes:

1. Der Omni-Mode. Im Omni-Mode werden keine Kanalinformationen empfangen. Hier

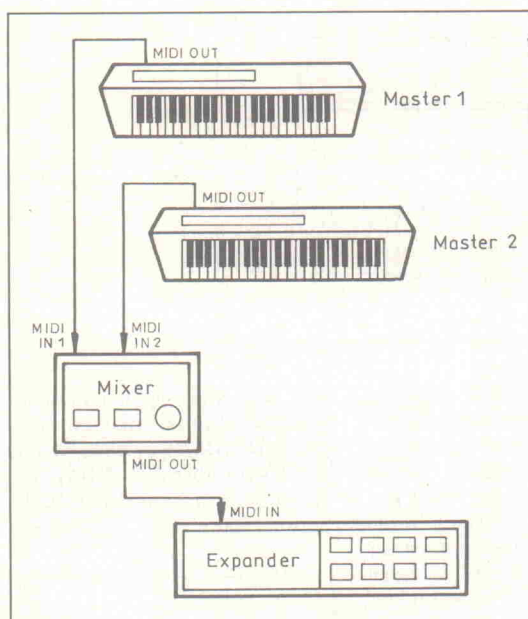


Bild 4. Midi-Signale verschiedener Keyboards können miteinander gemischt werden.

ist es also tatsächlich so, daß ein Synthesizer/Expander auf jede MIDI-Information reagiert, egal auf welchem Kanal sie gesendet wird. Um ein größeres Midi-Set-Up aufzubauen, sollten keine Synthesizer verwendet werden, die nur in diesem Mode arbeiten! Da es solche heute nicht mehr gibt, sollten Sie höchstens beim Erwerb älterer MIDI-Synthesizer darauf achten, daß das Gerät auch über den sogenannten Poly-Mode verfügt.

2. Der Poly-Mode. In ihm arbeiten die meisten Synthesizer. Poly-Mode bedeutet, daß ein Synthesizer erkennen kann, auf welchem Kanal eine Informa-

tion gesendet wird. Er fühlt sich also persönlich angesprochen. Auf die Art und Weise können mehrere Synthesizer/Expander in einem System zusammenarbeiten, und alle können verschiedene Noten/Akkorde oder (Drum-Computer) Rhythmen spielen.

Man stelle sich vor, die Bass-Drum eines Drum-Computers

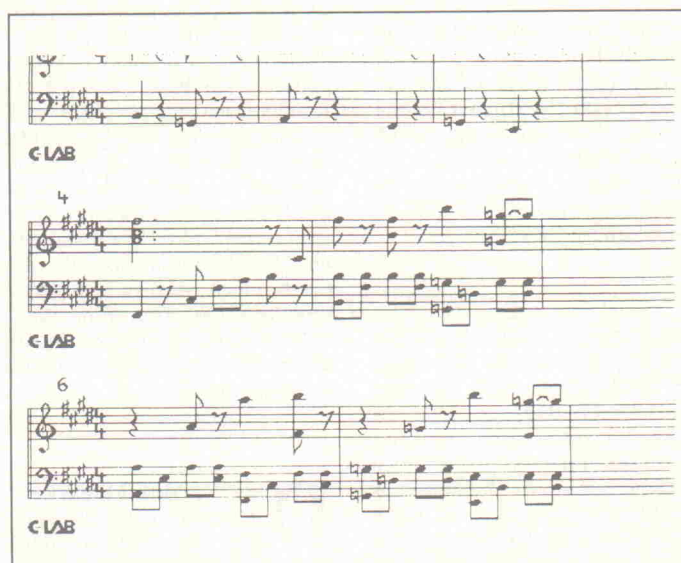
kommt jeder Expander seinen Kanal, und keiner stört den anderen.

3. Der Mono-Mode. In diesem Mode empfangen nur Synthesizer, die fähig sind, verschiedene Sounds zur gleichen Zeit zu erzeugen. Um es deutlich zu sagen: nicht mehrere Stimmen, denn alle Synthesizer sind heute polyphon, sondern verschiedene Sounds parallel. Sollen diese Stimmen über getrennte Kanäle angesprochen werden, setzt man den Synthesizer in den Mono-Mode und ordnet jedem Sound einen Midi-Kanal zu. Da im Mono-Mode aber nur genau pro Kanal eine Stimme gespielt werden kann, ist dieser Mode ziemlich umständlich zu handhaben. Stelle man sich zudem vor, man arbeite im Mono-Mode mit einem Sampler, so müßte man ein Sample auf einem Kanal dauernd 'rauf und 'runtergäßen, was vielleicht ein gewünschter Effekt sein mag, der Klangtreue aber nicht unbedingt zugute kommt. Um diesen Nachteilen beizukommen, gibt es zwei weitere Modes:

Der Multi-Mode arbeitet prinzipiell wie der Mono-Mode, nur daß man in ihm jedem Kanal eine bestimmte Anzahl von Stimmen zuordnen kann. Also z.B. Kanal 1: Bass - eine Stimme, Kanal 2: Streicher - fünf Stimmen, Kanal 3: Lead-Sound - eine Stimme, etc.

Speziell dem Sound-Sampler entgegen kommt der Super-

entspräche einem C1 und die Snare einem D1 auf einem Keyboard, und irgendein Expander (der nur im Omni-Mode arbeitet) spielt dauernd diese Töne mit! Dies kann im Poly-Mode verhindert werden. Da be-



Auch das geht mit Midi: Notenschreibmaschine über Matrixdrucker.

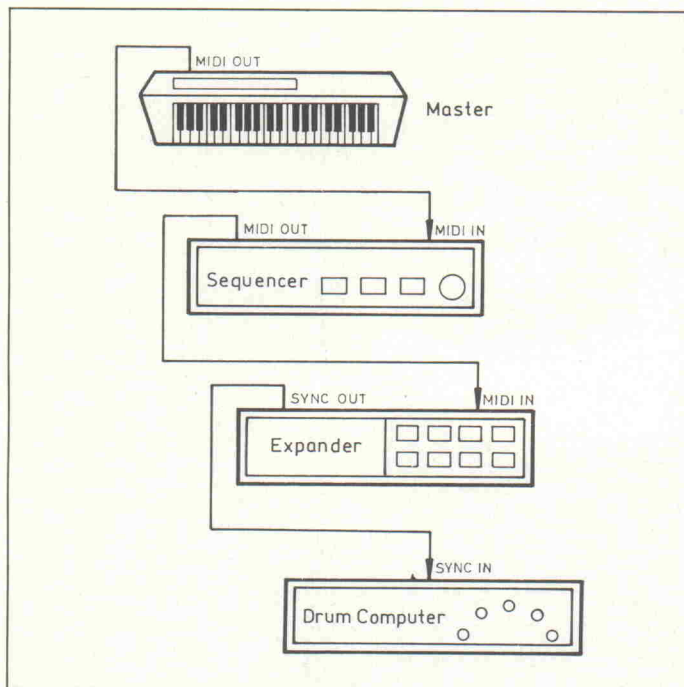


Bild 5. Über das Sync-Signal kann ein Drum-Computer angesteuert werden.

rät kämen. So programmiert man z.B. den Drum-Computer ganz für sich und hängt ihn nur als Slave an den Mastersequenzer an (Bild 5).

mode, so genannt von der Firma Emax-Systems für ihren Emax-Sampler. Dieser Mode erlaubt es, auf jedes Preset zuzugreifen. Ein Preset ist eine Kombination aus vielen Samples, die zusammen auf der Tastatur liegen. Kommt man im Poly-Mode nur jeweils an ein Preset heran und im Mono-Mode nur immer an ein Sample pro Kanal, läßt sich in diesem Mode auf alle zur Verfügung stehenden Samplekonfigurationen zugreifen, was ein außerordentlich flexibles und unbeschwertes Arbeiten ermöglicht.

Midi erkennt und sendet ein sogenanntes Sync-Signal. So kann z.B. ein Sequenzer einen anderen mit starten und genau im Timing halten (Master/Slave). Das gleiche gilt für einen oder mehrere Drum-Machines. Solch eine Verkopplung macht z.B. Sinn, wenn ein Sequenzer überlastet ist oder die ganze Midi-Leitung überlastet wäre, wenn alle Daten aus einem Ge-

Nach diesen sehr allgemein gehaltenen Erklärungen zum Thema Midi wäre es eigentlich an der Zeit, am direkten, praktischen Fall zu erproben, was mit dieser Technik so alles möglich ist. Hier reicht die denkbare 'Anwendungsbandbreite' von der Kombination Synthesizer-Masterkeyboard bis zur '24-Spur-Tonbandmaschine'. Jeder dieser Anwendungsfälle ist aber recht komplex und würde einen Einstieg in das zum Programm gehörende Handbuch voraussetzen.

Aus diesen Gründen will und kann unser Artikel keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben. Er soll vielmehr etwas Geschmack gemacht haben auf die weite Midi-Welt. Man braucht auch keine Angst zu haben sich beispielsweise von dem Medium 'Computer' beherrschen zu lassen, sondern sollte es selber beherrschen können und zwar möglichst kreativ.

Nun denn.
Midi Midi!

Co-Axial Studio-Monitore von FANE

Towards Perfection

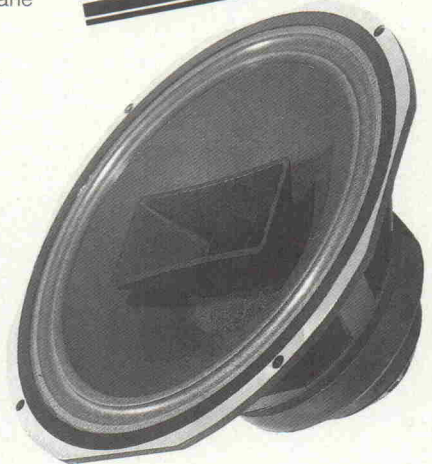
CX 12 und CX 15
Co-Ax Studio Monitore
12" und 15" mit weich aufgehängter Membrane
MD 2050 Treiber mit 60 x 40 CD Horn.

Anwendungsbereich:
Hi-Power Hi-Fi,
Studiomonitore,
Kompaktsystemen
und überall dort,
wo ein Source-Point
Full-Range Sound
der Spitzenklasse
gewünscht wird.

Daten	12"	15"
Belastbarkeit	150 W	150 W
Frequenz- bereich	ab 40 Hz bis 20 KHz	ab 32 Hz bis 20 KHz
Schalldruck	97 dB	99 dB

Studio Monitor Bass
ist auch ohne Treiber
erhältlich.

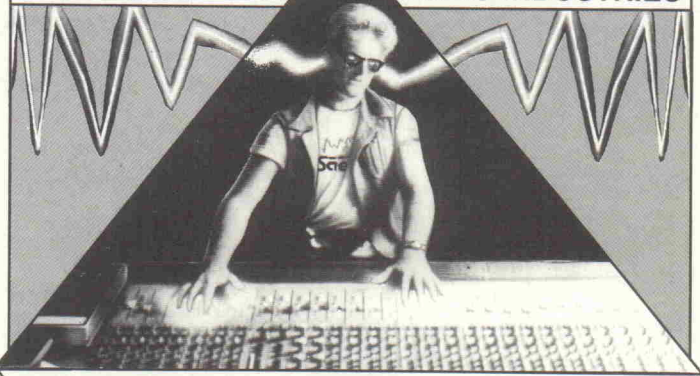
Für weitere Informationen
und technische Details
über Lautsprecher und
Treiber der Fane Studio-
Crescendo- und Classic-
Serie fordern Sie bitte
Informations an.



ADAM HALL GmbH

6390 Usingen 1
Gewerbegebiet Süd
Tel.: 0 60 81 / 1 60 31
Telex 418 061

CAREERS IN THE MUSIC AND AUDIO INDUSTRIES



DIPLOM

Industriell anerkannt. Intensive praktische und theoretische Ausbildung in eigenen Mehrspur-Produktionsstudios.

GRÖSSTES AUSBILDUNGSINSTITUT

International ausgedehntes Netz von Übungsstudios und theoretischem Unterricht für Studio-, Film- und Rundfunk-sound.

JOB AUSSICHTEN

Enger Kontakt zur Industrie. Erfolgreichen Studenten stehen wir hilfreich beiseite.

PROFESSIONAL AUDIO EDUCATION

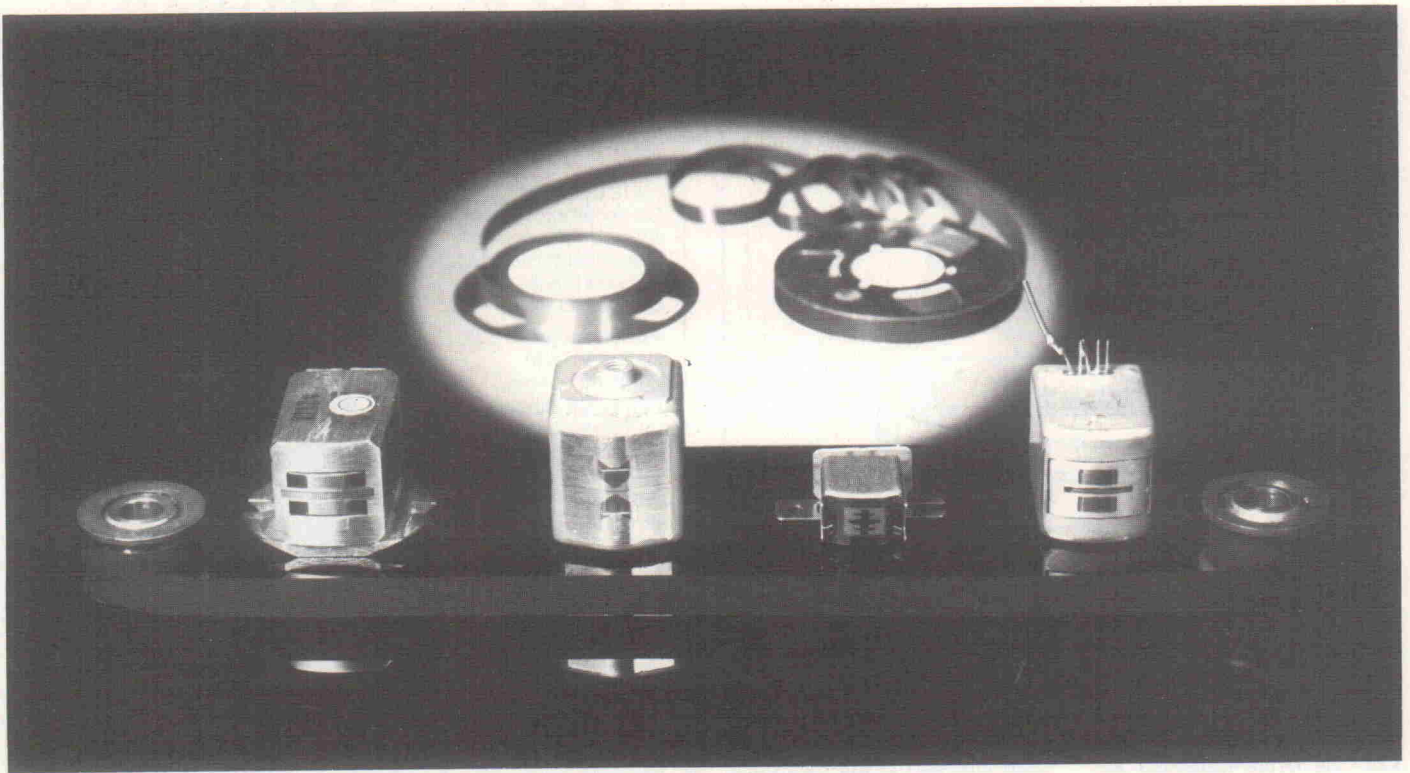
15 SCHOOLS WORLDWIDE



WIEN
Mayerhofgasse 6
A-1040 Wien
(02 22) 65 27 18

MÜNCHEN
Weißburgerstr. 19
8000 München 80
(089) 48 71 45
Fax (089) 48 28 80

FRANKFURT
Taubenstr. 44
6000 Frankfurt/M. 1
(069) 23 61 79



Einmessen von Tonbandmaschinen -

Die Voraussetzung für professionelles Arbeiten im Home-Recording-Studio

G. Zielinsky

Das Einmessen von Tonbandgeräten, seien es 2-Spur Stereo-Mastermaschinen bzw. Mehrkanalmaschinen, gehört eher zu den unbeliebten und gemiedenen Tätigkeiten im (eigenen) Studio. Während die meßtechnische Justage der Maschinen in professionellen Studios im wahrsten Sinne des Wortes an der Tagesordnung ist, weil hier jeder Kunde mit den optimalen Leistungen bedient werden will und muß, gehören die Meßübungen im Home-Recording-Studio leider zu den seltenen Wartungsarbeiten. Und dies deshalb, weil die Kenntnisse bzw. die richtigen Anweisungen und vor allen Dingen die Geräte (vermeintlich) fehlen. Hier soll nun gezeigt werden, wie man auch mit normalerweise vorhandenen Mitteln die Maschinen auf Vordermann bringen kann.

Nun mag der eine oder der andere vielleicht fragen, wieso denn einmessen, meine Revox läuft schon seit Jahren hervorragend. Wirklich!? Das Einmessen der Geräte erfüllt mehrere Zwecke.

○Die Klangqualität.

Schlecht eingemessene Maschinen verlieren die Präsenz im Klang. Speziell Instrumente wie Bass-Drum, Snare, Gesang und auch extrem brillante Klänge z.B. aus FM-Synthesizern (DX7 etc.) können ihren Druck und ihre Lebendigkeit durch eine schlecht eingemessene Maschine verlieren. Bei den häufig

benutzten Fostex-Mehrkanalmaschinen, die mit sehr schmalen Spurbreiten arbeiten, ist das regelmäßige Einmessen unerlässlich, da diese Geräte schon durch ihre schmalen Spuren einen gewissen Qualitätsverlust mit sich bringen. Eine gut eingemessene Fostex mit richtig justiertem Rauschunterdrückungssystem hingegen ist durchaus in der Lage, sehr gute Ergebnisse zu liefern. Für die Mastermaschine liegt es auf der Hand, daß die Wiedergabe optimal sein soll, denn z.B. dichte Synthesizer-Arrangements, die Vor-Band noch ganz gut klingen, sind dann bei Hinter-Band breiig und unpräzise.

○Die Kompatibilität.

Sollen Bänder nicht nur auf einer einzigen Maschine aufgenommen und wiedergegeben werden, sondern auf verschiedenen Maschinen im Laufe eines Produktionsprozesses laufen, wird die Einigung auf eine Normierung unerlässlich. Soll gar ein Mutterband zur Plattenüberspielung gelangen, sind genaue technische Angaben über die Art der Aufnahme (Geschwindigkeit, Entzerrung) sowie die zusätzliche Aufnahme von Meßtönen notwendig. Das Einhalten der Einmeßkurven ist dabei selbstverständlich.

Fein 'raus dabei sind auch die Benutzer von Digital-Prozessoren nicht ganz. Zwar brauchen die glücklichen Besitzer einer digitalen Mastermaschine ihre Geräte nicht einzumessen, trotzdem gibt es so viele Möglichkeiten, das Digitalsignal auf das Videoband zu packen, daß es auch hier einiges an Kompatibilitätsproblemen gibt. Welche Werte gilt es nun einzumessen? Zunächst der Gesamtpegel der Maschine. Es ist selbstverständlich, daß ein Tonbandgerät bei Wiedergabe das gleiche an Pegel abgeben muß, was es auch während der Aufnahme angeboten bekam. Auf die spezielle Problematik der Pegelverhältnisse wird gleich noch eingegangen.

Dann muß der Kopfspalt (auch Azimuth genannt) der Tonköpfe eingestellt werden. Hierbei geht es darum, daß der Kopf genau senkrecht zum Band stehen muß. Wird ein Band mit einem anderen Azimuth wiedergegeben, als mit dem, mit dem es aufgenommen wurde, kommt es zu Höheneinbrüchen und räumlichen Veränderungen (Bild 1). Weiterhin muß der Frequenzgang justiert werden. Auch hierbei gilt, daß das Gerät über Band möglichst einen linearen Frequenzgang haben muß. Intern wird das Signal jedoch anders verarbeitet. Auch hierzu später mehr. Auf der Aufnahmeseite muß weiterhin noch die Vor-Magnetisierung, auch Bias genannt, eingestellt werden. Dies ist die kniffligste Arbeit — aber zum Erreichen eines klaren, druckvollen Klanges vom Analog-Band sehr wichtig.

Remix 2

Welche Geräte benötigt man nun, um eine Einmeß-Arie sicher zu überstehen? Das wichtigste ist ein verlässliches, frequenzlineares Spannungs- sprich Pegelmeßgerät. Hiermit können im Grunde sämtliche Einstellungen überprüft und vorgenommen werden. Die sauberste Lösung hierbei ist die, einen Pegelmessers am Mischpult zu haben. Dort kann man sofort feststellen, was aus dem Pult herausgeht und was zurückkommt. Die VU-Meter an den Tonbandgeräten sind meist zu grob und eignen sich bestenfalls zur Einstellung des Grundpegels. Wer ein Peakmeter im Pult eingebaut hat, stelle dieses nun auf die Funktion 'Peakme-

nem im Pegel konstanten Sinuston jedoch wirkt sich dieser Lead so aus, daß das VU-Meter zu viel anzeigt. Dieser Lead müßte im Servicemanual ihres Gerätes angegeben sein. Sie können natürlich auch ein normales Spannungsmeßgerät verwenden, welches dann auf Wechselspannung eingestellt werden muß. Gute Geräte dieser Art mit einer zusätzlichen, geeichten dB-Skala eignen sich zum Einmessen ganz hervorragend.

Ebenfalls wichtig ist ein schmaler, isolierter Schraubendreher. Am besten eignet sich ein Schraubendreher, welcher komplett aus Plastik gefertigt ist (gibt's in jedem Elektronik-

Schlecht eingemessene Maschinen verlieren die Präsenz im Klang.

Durcheinander kommen. Der gängige Studiopegel in deutschen Ländern und Europa beträgt +6 dBm bezogen auf Vollaussteuerung. Dies entspricht 1,55 Volt eines Sinustones, wenn am Peakmeter des Mischpultes 0 dB angezeigt wird. Bei einem VU-Meter muß der entsprechende 'Lead' subtrahiert werden. Die ältere Norm bezieht sich auf 0 dBm,

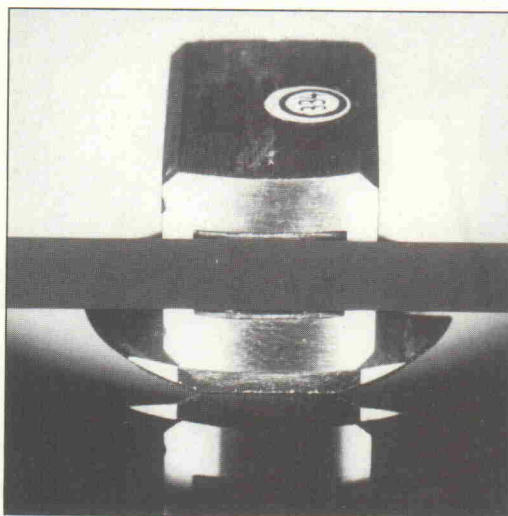


Bild 1a. Hier steht der Kopfspalt genau senkrecht: Voraussetzung für einwandfreie Höhenwiedergabe.

ter'. In dieser Stellung werden die Effektivwerte gemessen, d.h.: die wirklichen Spannungsverhältnisse. Wer mit einem VU-Meters auskommen muß, sollte wissen, wieviel Vorlauf (Lead) dieses VU-Meter hat: Da diese Zeigerinstrumente selbst eine gewisse Trägheit haben, werden sie vom Hersteller so eingestellt, daß sie gewissermaßen mehr anzeigen, als eigentlich an Spannung anliegt. Bei normalem Musik- oder Sprachprogramm kompensiert dieser Lead die Trägheit. Bei ei-

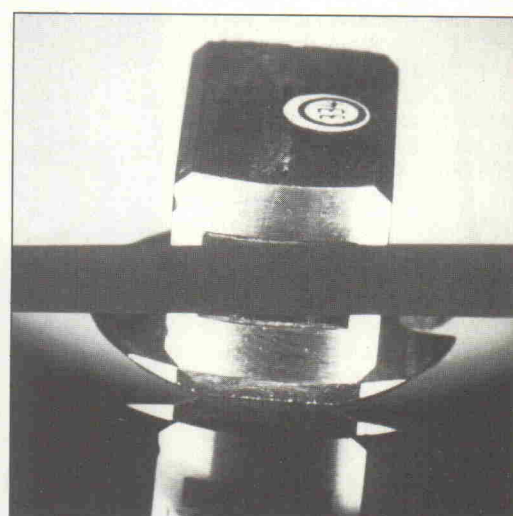


Bild 1b. Bei einer solchen Schiefstellung (hier absichtlich übertrieben) sind die Bänder nicht mehr gerätekompattibel.

geschäfts). Bei herkömmlichen Metallschraubendrehern kann es nämlich geschehen, daß die Hand am Schraubendreher das körpereigene Potential mit auf die Einmeßpotis überträgt und es so zu falschen Ergebnissen kommt. Man kann dies dadurch überprüfen, indem man den Schraubendreher in das Poti steckt, die Hand auf den Schraubendreher legt und die Hand wieder zurücknimmt. Meist kommt es dann zu einer Veränderung der gemessenen Spannung. Falls Sie im Übrigen ein Oszilloskop zur Hand haben, kann das einige Arbeiten sehr vereinfachen.

Nun einige Worte zu den Pegelverhältnissen. Diese müssen vorher genau abgeklärt sein. Ansonsten kann es später zu einem heillosen

was 0,775 Volt bei Vollaussteuerung bedeutet. Im Normalfall erscheinen jedoch besagte 1,55 Volt am Ausgang eines Mischpultes bei einer Anzeige von 0 dB am Peakmeter. Stellen Sie also zunächst fest, wie die Spannungsverhältnisse an Ihrem Mischpult sind. Derjenige Pegel, den das Mischpult von sich gibt, muß auch hinterher wieder aus der Maschine herauskommen!! An dieser Stelle läßt es sich nun nicht vermeiden, das Reizwort 'Meßband' in den Mund zu nehmen.

Um die Pegelverhältnisse auf dem Tonband zu normieren, benötigt man ein Meßband, welches leider ziemlich teuer ist. Für Viertelzoll-Bänder liegen die Preise um drei- bis fünfhundert Mark. Bei Mehrspurgeräten gehen die Preise in die Tausende. Meßbänder werden mit sehr hohem Aufwand und einer großen Genauigkeit gefertigt und rechtefertigen so ihren Preis.

Nicht jeder hat nun solch' ein Band zur Verfügung oder will es sich anschaffen. Wollen oder müssen Sie Bänder auch auf oder von anderen Maschinen abspielen, benötigen Sie solch ein Band. Aber vielleicht können Sie sich ja von jemandem einen Pegelton und Meßtöne für den Frequenzgang überspielen. Sollten Sie hier absolut keine 'Beziehungen' haben, lassen Sie den gesamten Wiedergabeteil unangetastet und messen 'über Band' die Aufnahme-seite ein. Wenn Sie sich ein Meßband besorgen wollen, achten Sie darauf, daß es das richtige ist! Man unterscheidet zunächst nach Geschwindigkeit (19,5 cm/s oder 38 cm/s). Wichtig ist jedoch auch die Spurlage ihres Gerätes. Normale Heimgeräte, auch eine Standard- A77, arbeiten mit etwas schmalen Spuren als Profi-geräte. Auch die PR 99 von Revox/Studer wird standardmäßig mit Heimköpfen ausgeliefert. Profiköpfe erkennt man sofort an ihren in 'Schmetterlingsform' angeordneten Spulen (Bild 2). Außerdem unterscheidet man bei der Frequenzentzerrung zwischen NAB und IEC (CCIR). Geräteintern werden die Pegel zu hohen Frequenzen hin angehoben. Dies geschieht bei NAB eher als bei der IEC Norm. Im Normalfall können Sie davon ausgehen, daß ein Heimgerät mit NAB arbeitet, während ein Profigerät nach IEC entzerrt ist. Dies muß jedoch nicht unbedingt so sein, da gerade in den USA auch auf dem Profisektor meist mit NAB gearbeitet wird und so auch die amerikanischen Maschinen entsprechend ausgestattet sind.

Wie bei Mischpulten, gibt es auch bei Tonbandgeräten zwei unterschiedliche Nennpegel. Diese Pegel werden abgeleitet

vom sogenannten 'magnetischen Fluß', in Nano-Weber gemessen. Die heute übliche Magnetisierung entspricht 520 nWb, während die frühere Magnetisierung von 310 nWb aber durchaus noch anzutreffen ist. Die Magnetisierung mit 520 nWb entspricht ganz einfach einem höheren Aufsprechpegel und zwar um 4dB! Mit der Verbesserung des Bandmaterials war es möglich, diesen Schritt zu gehen, was natürlich einen entsprechend verbesserten Rauschabstand bringt. Sie sollten ihr (Zweispur-) Gerät

tung und den Unterlagen zum Meßband hervor. Beginnen wir also nun mit dem Vorhaben, den Maschinen das letzte an Klangqualität abzurufen.

Zunächst wird selbstverständlich die Wiedergabe eingemessen. Lauschen Sie den wohltonenden Klängen der Ansagefee und beachten Sie, ob es sich um ein mit 310 nWb oder mit 520 nWb bespieltes Band handelt und stellen Sie den Ausgangspegel an den Wiedergabepegel-Potis Ih-

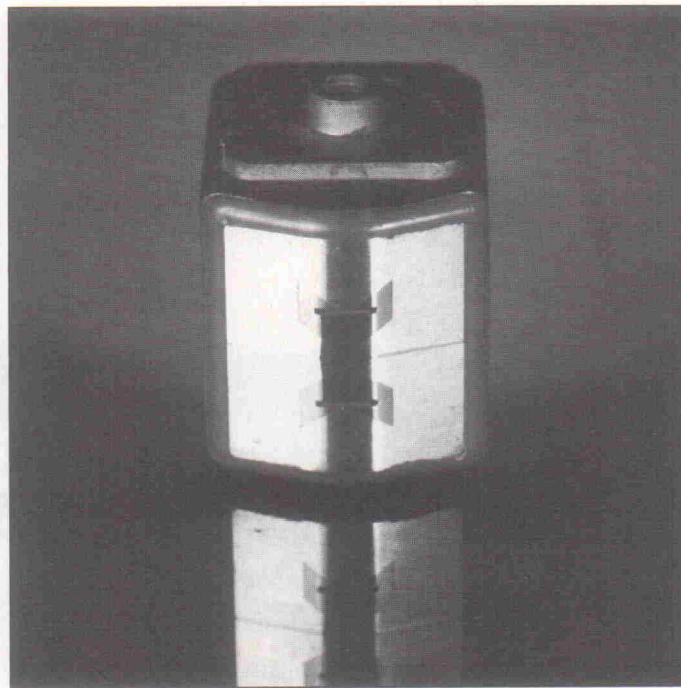


Bild 2. Professioneller Schmetterlingskopf aus einer Telefunken-Master-Maschine.

ruhig auf diesen Pegel einmessen. Bei Verwendung von gutem Bandmaterial haben Sie immer noch genügend Reserve (Headroom). Doch, wenn wunder'ts, fast alle Meßbänder beziehen sich noch auf die alte 310- nWb-Norm. Dies wird am Beginn des Meßbandes von einer reizend klingenden, jungen Dame (Achtung, wie alt ist das Meßband?) mitgeteilt. Bei der Einstellung des Pegels müssen Sie also in diesem Falle wiedergabeseitig 4dB abziehen, um hinterher den richtigen Pegel aufs Band zu sprechen. Bei Mehrkanalmaschinen gibt es spezielle Meßbänder. Insbesondere Geräte, die mit engen Spuren arbeiten, bringen natürlich einen weitaus geringeren Pegel auf das Band. Die Pegel gehen dann aus der Bedienungsanlei-

res Gerätes entsprechend ein. Bei 310 nWb also 4 dB weniger als es der Vollaussteuerung entspricht. Dies bedeutet bei einem Übergabepegel am Mischpult von 1,55 Volt also: $+6 \text{ dBm} - 4 \text{ dBm} = +2 \text{ dBm}$. Stimmt überhaupt nicht? Klar, Sie haben auch vergessen, die Tonköpfe zu reinigen. Und wenn Sie schon dabei sind, sollten Sie auch alle Rollen und Teile reinigen, mit denen das Band in Berührung kommt, da dies zur Laufruhe entscheidend

beitragen soll, wie man aus gewöhnlich gut informierten Kreisen gehört haben will. Also, nun nochmal. Spielen Sie ruhig etwas mit den Potis herum, um ein Gefühl für deren Reaktion zu erhalten. Nun kommen wir zur Einstellung des Spaltes. Wenn ein Zweistrahloszilloskop vorhanden ist, geben Sie die beiden Kanäle des Tonbandgerätes auf die beiden Eingänge des Scopes und stellen dieses auf XY-Betrieb. Steht der Kopf korrekt, dürfen Sie nur einen 45°-Strich sehen. Je nach fehlerhafter Einstellung des Kopfes ergibt sich jedoch ein leichtes Oval bis hin zu einem Kreis im Extremfall. Stellen Sie nun den Kopf mit Hilfe der seitlich angebrachten Schraube senkrecht, so daß sich möglichst ein schmaler Strich ergibt. Die Grundeinstellung findet mit 1 kHz statt und kann zur Feineinstellung mit 10 kHz wiederholt werden. Die Grundeinstellung muß in jedem Falle mit 1 kHz gemacht werden, da es bei 10 kHz durch die zehnmal kürzere Wellenlänge eher möglich ist, auf ein Nebenmaximum zu geraten. Haben Sie kein Oszilloskop zur Verfügung, arbeiten Sie einfach nach der Pegelmethode. Die beiden Kanäle vom Tonband werden auf ihr Pult zum Abhören geschaltet und das Pult bzw. die Abhöreinheit auf Mono gestellt. Die Spalteinstellung ist dann korrekt, wenn der größte Pegel hörbar ist. Gleiches läßt sich auch meßtechnisch machen. Nach der Einstellung des Spaltes wird nochmals der Pegel kontrolliert und eventuell nachjustiert. Hierauf folgt nun die Einstellung des Frequenz-

Die meisten Geräte haben lediglich einen Regler zur Höhenentzerrung, der ab ungefähr 2 - 4 kHz eingreift. Hiermit können also die Pegel zu den oberen Frequenzen hin justiert werden. Im unteren Frequenzbereich werden Sie eine leichte Anhebung im Bereich 125 - 300 Hz feststellen. Hierbei handelt es sich um die sogenannte Kopfspiegelresonanz, die man bei jedem Gerät findet und die daher keinen Grund zur Beunruhigung darstellt. Stellen Sie die Höhenwiedergabe im Zweifelsfall eher etwas niedriger ein

Der optimale Punkt für die Biaseinstellung liegt nun ungefähr 2—3 dB rechts hinter dem Hauptmaximum.

und kompensieren Sie dies hinterher mit der Aufnahmeentzerrung. Es ist besser, eher etwas mehr Höhen auf das Band zu spielen, als umgekehrt. Abschließend wird noch einmal der Pegel kontrolliert. Das war's!

Wiedergabeseitig, wohl-gemerkt. Zum Einjustieren der Aufnahme benutzen Sie nun bitte ein neues, unbespieltes Band derjenigen Sorte, die Sie auch später im Normal-Betrieb benutzen wollen. Profis unterscheiden gar nach Chargennummern (also nach verschiedenen Produktionen derselben Bandtype), die sich jedesmal leicht voneinander unterscheiden können. Nun wird ebenso wie bei Wiedergabe der Pegel bei 0dB und der Spalt mit 1 kHz und 10 kHz eingestellt. Diesmal müssen natürlich die Potis der Aufnahmeseite bzw. die Schraube des Sprechkopfes benutzt werden! Beim Einstellen des Frequenzganges bei der Wiedergabe werden Sie festgestellt haben, daß der Pegel -10 dB oder gar -20 dB betrug. Dies deshalb, weil Bänder hohe Frequenzen ab 10 kHz bei Vollpegel kaum verkraften. Solche Signale tauchen in normalen Musik- oder Sprachaufnahmen auch nicht auf. Deshalb geht man auf einen niedrigeren Pegel, bei dem sich das Gerät nun einigermaßen linear verhalten sollte. Als Frequenzgenerator können Sie (falls es nichts anderes gibt) auch einen Synthesizer verwenden, dessen Frequenzgang zu hohen Frequenzen hin jedoch vorher auch überprüft werden soll. Versuchen Sie nun, wie bei der Wiedergabeeinstellung den Frequenzgang mit den entsprechenden Potis zu glätten. Sollte dies nicht gelingen, hat sich mit großer Sicherheit die Vormagnetisierung (Bias) extrem verstellt. Bevor Sie dort herangehen, reinigen Sie bitte nochmals die Köpfe.

Bei der Vormagnetisierung handelt es sich um eine hohe Frequenz, üblicherweise zwischen 50 kHz und 150 kHz, die mit auf das Band 'gesprochen' wird. Dieser, einst durch Zufall entdeckte Effekt, verbessert das Klangverhalten des Bandes extrem, will aber genau eingestellt sein. Diese Einstellung beeinflusst sowohl das Frequenzverhalten des Tonbandgerätes nach oben hin, wie auch den 'Druck' und die Klarheit der Aufnahme. Zur Einstellung der Bias benötigen wir nun einen Sinuston von ungefähr 10 kHz, der mit -10 dB auf das Band aufgeprochen wird. Wenden Sie sich nun vertrauensvoll Bild 3 zu. Hier sehen Sie, wie der Pegel von links kommend einem Maximum entgegenstrebt. Nehmen Sie also nun die 10 kHz mit -10 dB auf und beobachten Sie den Wiedergabepiegel. Drehen Sie nun den Biasregler gegen den Uhrzeigersinn ganz nach links

auf kleinste Lautstärke und drehen Sie ihn von da langsam auf das Maximum zu. Wenn Sie zu weit nach rechts driften, gelangen Sie auf ein Nebenmaximum, das zu vollkommen falschen klanglichen Ergebnissen führt. Der optimale Punkt für die Biaseinstellung liegt nun ungefähr 2 - 3 dB rechts hinter dem Hauptmaximum. Der genaue Punkt ist bei jeder Bandsorte anders, wird aber bei Profibändern mit eben einem solchen Diagramm angegeben, die z.B. bei BASF oder Agfa erhältlich sind. Rein akustisch kann man diesen Punkt als Rausch- oder Klirrrminimum wahrnehmen. Da bei modernen Bändern diese beiden Minima an derselben Stelle liegen, sollte man sich vom Gehör her auf das Rauschminimum konzentrieren, da dies leichter wahrnehmbar ist. Nach diesem ersten Versuch, die Bias einzustellen, muß sofort der Frequenzgang erneut kontrolliert

zu kompensieren. Wenn also beispielsweise einer Spur nicht der genügend große Pegel abzugewinnen ist, ziehen Sie den entsprechenden Wiedergabepiegel hoch. Anderfalls laufen Sie Gefahr die Spur zu übersteuern!! Damit ist unsere Einmeß-Arie eigentlich beendet. Sollte inzwischen der Morgen grauen, wundern Sie sich nicht. Beim ersten Mal dauert halt alles etwas länger, gell?

Nun noch einige abschließende Worte zu der Zeichnung ihrer Bänder für den Fall, daß Sie diese z.B. zu Überspielungen weitergeben. Nennen Sie die Geschwindigkeit, die Entzerrung (NAB oder IEC), Mono oder Stereo und die Magnetisierung (310 nWb oder 520 nWb). Von diesen Nennpegeln abweichende Aussteuerungen sollten als 'Spitzenwerte über Nennpegel' vermerkt werden.

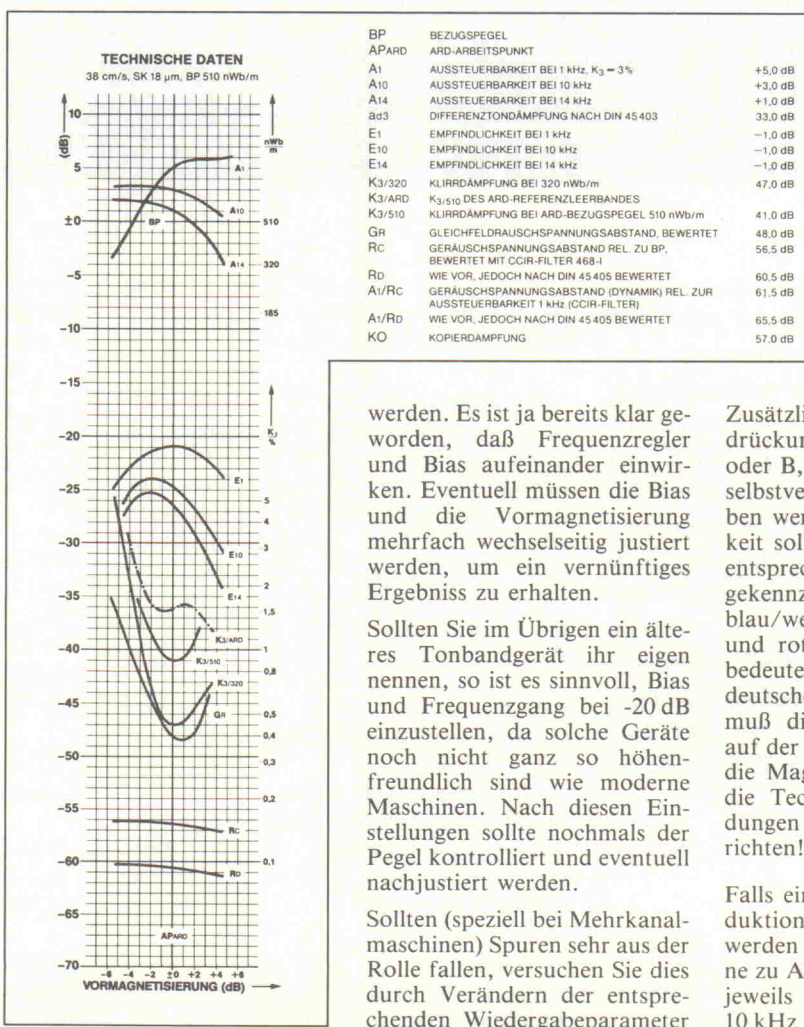


Bild 3. Arbeitskennlinien des BASF-Bandes Typ Master 911. Die im Text genannten Kurven sind E10 und E14.

werden. Es ist ja bereits klar geworden, daß Frequenzregler und Bias aufeinander einwirken. Eventuell müssen die Bias und die Vormagnetisierung mehrfach wechselseitig justiert werden, um ein vernünftiges Ergebnis zu erhalten.

Sollten Sie im Übrigen ein älteres Tonbandgerät ihr eigen nennen, so ist es sinnvoll, Bias und Frequenzgang bei -20 dB einzustellen, da solche Geräte noch nicht ganz so höhenfreundlich sind wie moderne Maschinen. Nach diesen Einstellungen sollte nochmals der Pegel kontrolliert und eventuell nachjustiert werden.

Sollten (speziell bei Mehrkanalmaschinen) Spuren sehr aus der Rolle fallen, versuchen Sie dies durch Verändern der entsprechenden Wiedergabeparameter

Zusätzliche Rauschunterdrückungssysteme (Dolby A oder B, Telcom, DBX) müssen selbstverständlich auch angegeben werden. Die Geschwindigkeit sollte zusätzlich durch ein entsprechendes Vorspannband gekennzeichnet sein, wobei blau/weiß 19,5 cm/s Stereo und rot/weiß 38 cm/s Stereo bedeutet. Bei Bändern für die deutschen Rundfunkanstalten muß die farbliche Kodierung auf der Seite sein, auf der auch die Magnetschicht ist, da sich die Techniker/innen bei Sendungen ausschließlich danach richten!!

Falls ein Band zur Plattenproduktion auf Matrize überspielt werden soll, sind einige Meßtöne zu Anfang recht hilfreich — jeweils 30sec lang 1 kHz und 10 kHz reichen hier völlig.

CCMI-Synthesizer

Computer Controlled Musical Instrument

Ulrich Vietzen

Die Frage, ob analoge oder digitale Synthesizer besser klingen, wird noch in 2000 Jahren die Streitfrage aller Musiker sein. Unser Selbstbau-Synthesizer verbindet die beiden Konzepte miteinander. Ein Mikroprozessor übernimmt alle Verwaltungstätigkeit und sorgt für eine stabile Tonhöhe. Die Tonerzeugung und die Tonverarbeitung bleibt analog. Das Ergebnis sind stimmstabile, warme Analogklänge, die kein Digitalsystem zu bieten hat. Hier kann und soll nicht auf die Klangfindung eingegangen werden. Dies würde den Rahmen dieser Schrift erheblich sprengen.

Nachfolgend nun eine Zeichen- und Begriffserklärung. Sie ist für die ganze Bauanleitung verbindlich.

○Parameter. Hiermit ist ein dem Spieler zugängliches Bedienungselement gemeint. Da es jedoch eine digitale (Preset) und eine analoge (Potis) Bedienungsmöglichkeit gibt, ist für beide ein Wort: 'PARA' gültig. Der Inhalt eines 'PARA' wird in (%) angegeben. Beispiel: Statt Poti Cutoff auf 1/2 oder Digitalwert auf 50 wird nur PARA cutoff 50 geschrieben.

○Wert, Value.
Inhalt des Parameters in Prozent.

○Keyboard, Key Manual, Taste.
Taste gedrückt kann heißen Taste ein, Taste gedrückt, keyon. Taste losgelassen kann heißen: Taste aus, Taste losgelassen oder keyoff.

○Pedal.
In dieser Bauanleitung ist immer ein Fußtaster gemeint (Schalter).

○Preset.
Klangspeichereinheit. Hier ist immer die elektronische Baugruppe gemeint.

○Kanal oder Voice.
Hier eine Synthesizerstimme. Sie besteht aus 2 DCOs, Subosc, Noise, VCF, VCA und 2 ADSRs.

○polyphon.
Unser Synthesizer hat 6 Voices (Stimmen), die gleichzeitig erklingen können. Er ist deswegen sechsstimmig.

○Board.
Hier Platine

○Connector.
Steckverbinder

○Panel, Frontplatte.
Kann digital (Preset) oder analog mit Potentiometern sein.

○Sound.
Bestimmter eingestellter Klang, welcher entweder momentan erklingt oder

irgendwo im Speicher des Presets abgelegt wurde oder mit Potis auf der Frontplatte eingestellt wird.

○Adresse.

Platz oder Nummer eines Sounds im Speicher des Presets.

○Software.

Betriebsprogramm des Rechners, gespeichert in einem Eprom.

○Gate.

Kennwort für keyon = +5 V und keyoff = 0 V.

Zeigt also an, ob irgendeine Taste gedrückt ist.

○Expander.

Selbständige Synthesizeinheit ohne Keyboard. Wird über MIDI angesteuert.

○MIDI.

Musical Instruments Digital Interface. Serielle Datenschnittstelle für elektronische Musikinstrumente. Genormt.

○C1.

Ist die C-Taste ganz links auf dem Keyboard. Im Gegensatz dazu ist C0 der tiefste spielbare Ton.

○A3.

Ist das A in der 3. Oktave bei 'nor' Stimmung und zugleich der Kamerton A mit 440 Hz.

Es folgt nun eine Beschreibung der Bedienungselemente auf der Frontplatte. Da diese Bedienungselemente natürlich sehr eng mit den Funktionsgruppen des Synthesizers zusammenhängen, werden die Funktionsgruppen kurz beschrieben. Wiederum sei darauf hingewiesen, daß auf musikalische Belange nur soweit eingegangen wird, wie es die technische Beschreibung erfordert. Manche Namen und Bedeutungen sind nur für diesen Synthesizer zutreffend, also nicht allgemeingültig. Sie können in anderen technischen Beschreibungen andere Namen haben.

○DCO, Digital Controlled Oscillator.

Erzeugt aus Rechteckschwingungen, die der Rechner und seine Peripherie generieren, verschiedene Wellenformen.

○Sägezahn, Sägezahn 1 + 2.

Da ein Kanal zwei DCOs besitzt, sind zwei Sägezahnwellen vorhanden.

○Rechteck (Puls), Rechteck 1 + 2. Rechteckwellen, deren Puls - Pausenverhältnis einstellbar ist. Der Suboszillator leitet von Rechteck 1 eine Rechteckwelle ab, deren Frequenz eine Oktav tiefer liegt.

○Tune-Potis.

Tune bedeutet bei diesem Synthesizer Feinstimmung (2 Potis auf der Frontplatte). Jeder der beiden Oszillatoren eines Kanals kann somit ungefähr einen Halbton auf oder ab gestimmt werden.

○Oktav up, nor, down.

Mit diesen drei Tasten kann die Gesamtstimmung in Oktavschritten verändert werden.

○Tune.

Mit dieser Taste kann die Gesamtstimmung in Halbtonschritten eingestellt werden. Dies geschieht durch gleichzeitiges Drücken der Tune-Taste und einer Taste auf dem Keyboard. Gleichzeitig in welcher Oktavlage die Taste gedrückt wurde, wird immer nur der gedrückte Halbton als gültig angenommen. Die gültige Stimmung kann auf der LED-Anzeige des CPU-Controllers abgelesen werden.

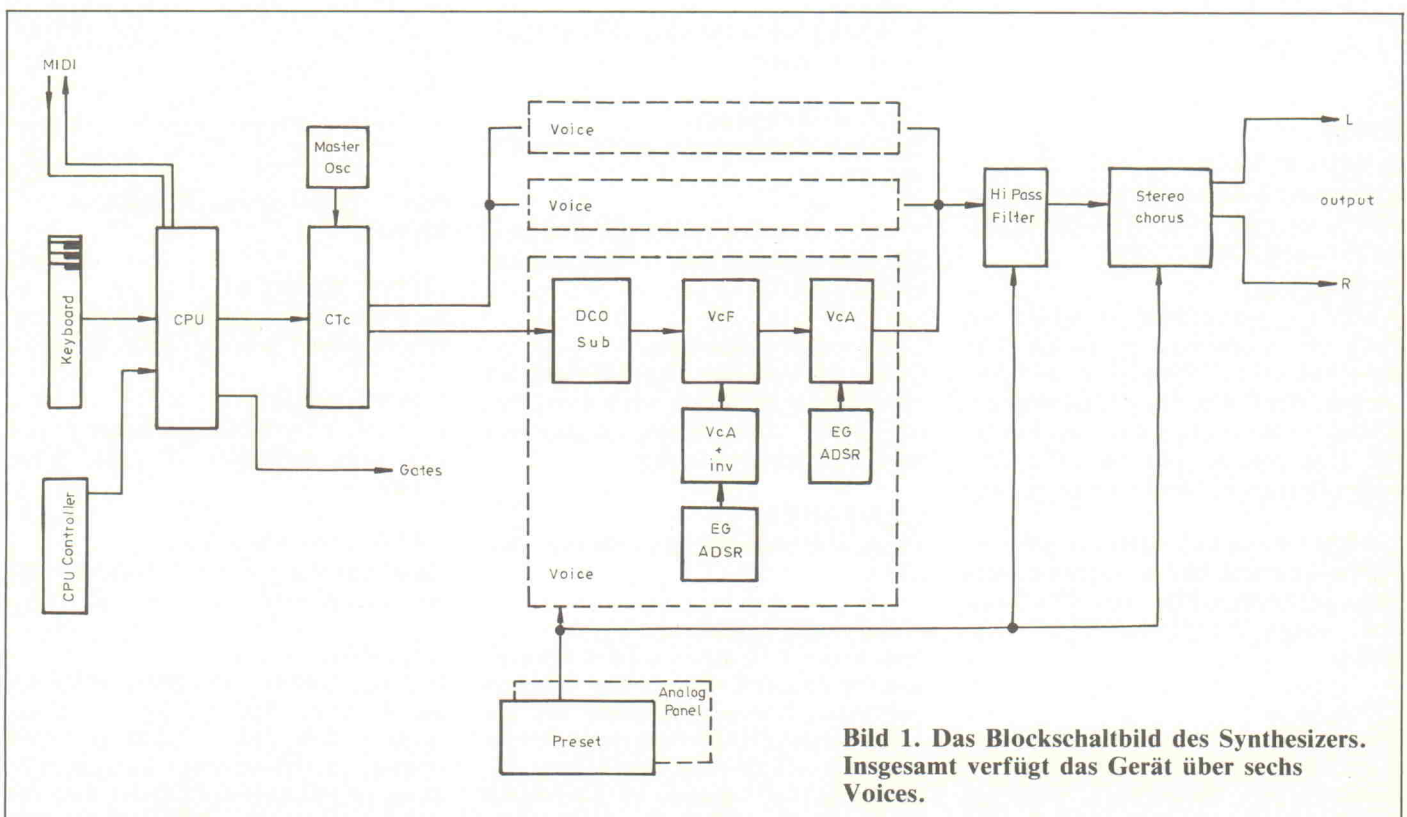


Bild 1. Das Blockschaltbild des Synthesizers. Insgesamt verfügt das Gerät über sechs Voices.

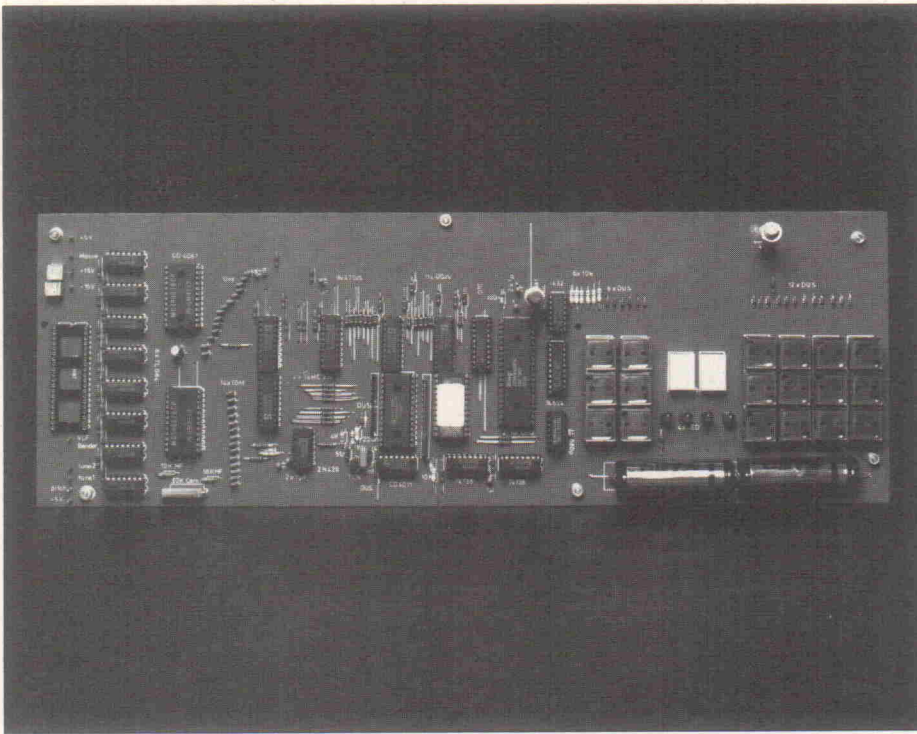


Bild 2. Die fertig bestückte Preset-Platine. Rechts das noch unbeschriftete Tastenfeld.

○Hold.

Keyon und Holdtaste wird den angeschlagenen Ton oder Akkord solange halten, bis eine weitere Betätigung einer Keyboardtaste erfolgt.

○Hold-Pedal.

Wenn ein Haltepedal installiert ist, kann der momentan gedrückte Ton oder Akkord mit Pedaldruck gehalten werden. Bei Lösen des Pedals wird der Akkord oder Ton sofort abklingen. Die Hold-Pedal-Taste am CPU-Controller ist dem Pedal parallelgeschaltet.

○PWM, Pulswidth Modulation. Pulsbreitenmodulation. Hiermit läßt sich in Abhängigkeit vom PW-Mode das Impuls-Pausenverhältnis einstellen.

○PW-Mode.

Je nach Zustand erfolgt die PWM entweder durch den LFO oder manuell. Die Tiefe der Modulation wird mit PWM eingestellt.

○FM, Frequency-Modulation.

Musikalisch auch Vibrato. Durch den LFO findet hier eine Verstimmung der Oszillatoren statt. Mit FM kann der Hub eingestellt werden.

○Noise.

Hier kann ein 'weißes Rauschen' zugemischt werden.

○Cutoff Frequency.

Stellt die Eckfrequenz des Tiefpaßfilters ein.

○VCF, Voltage Controlled Filter. Spannungsgesteuertes Tiefpaßfilter mit 24 dB/Okt.

○Resonance, Resonanz.

Oder auch Güte des Tiefpaßfilters. Im oberen Einstellbereich wird das Filter oszillieren. Dies kann musikalisch durchaus benutzt werden.

○LFO MOD.

Tiefpaßfiltermodulation durch den LFO.

○Envelope, Hüllkurve.

Durch die Hüllkurve wird der dynamische Verlauf eines Tones bzw. Klanges bestimmt. Unser Synthesizer hat für jeden Kanal zwei Hüllkurvengeneratoren (EGs = Envelope-Generators). Einer ist für den Verlauf der Lautstärke zuständig, der andere für die Modula-

tion des Filters. Beide Generatoren sind typische ADSR-Generatoren und vollkommen identisch.

○A, Attack.

Anstieg oder Einschwingphase eines Klanges. Die Zeit, die ein Klang braucht, um zu seiner maximalen Lautstärke zu gelangen.

○D, Decay.

Abfall; die Zeit, die ein Klang benötigt, um von der maximalen Lautstärke auf ein gleichmäßig anhaltendes Level zu gelangen.

○S, Sustain.

Betrag dieses gleichmäßig anhaltenden Levels, welcher nach Ablauf der Decay-Zeit beibehalten wird.

○R, Release.

Ausklang bzw. Ausklingphase eines Klanges. Die Zeit, die ein Klang benötigt, um vom Sustain-Level zum Level 0 zu gelangen. Level 0 bedeutet Stille.

Am besten kann man sich den Verlauf einer Hüllkurve in der folgenden Graphik deutlich machen. Wichtig ist, daß nur ADR Zeiten sind, Sustain ist immer ein Level zwischen minimalem und maximalem Betrag der Hüllkurve.

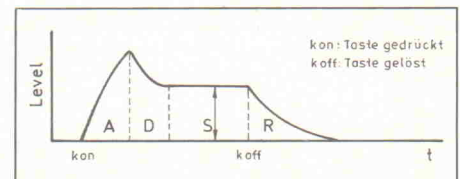


Bild 3. Eine typische ADSR-Einstellung.

○ENV, Envelope.

Gibt die Spannung des Filterhüllkurvengenerators auf das Tiefpaßfilter.

○POL, Polarity.

Gibt der Filterhüllkurve einen positiven oder negativen Verlauf gegen 0 Volt.

○HIP, High-Pass-Filter.

Hochpaßfilter welches für alle Kanäle gleichzeitig wirkt.

○Key-Track.

Hiermit wird die Steuerung des Tiefpaßfilters in Abhängigkeit vom gespielten Ton gesetzt. Dies hat zwei Gründe: Bei akustischen Instrumenten ist es ein Phänomen, daß der Ton mit zunehmender Tonhöhe heller wird.

MG			DCO's			FILTER's			AMPLIFIER			CHORUS		
00	RATE	0-99	05	SAW 1	0-99	14	CUTOFF	0-99	25	A	0-99	29	RATE	0-99
01	A	0-99	06	SAW 2	0-99	15	RESONANCE	0-99	26	D	0-99	30	MOD	0-99
02	D	0-99	07	PULSE 1	0-99	16	LFO MOD	0-99	27	S	0-99	31	MIX	0-99
03	S	0-99	08	PULSE 2	0-99	17	ENVELOPE	0-99	28	R	0-99			
04	R	0-99	09	SUB	0-99	18	ENV POL	0-1						
			10	FM	0-99	19	A	0-99						
			11	PWM	0-99	20	D	0-99						
			12	PW MODE	0-1	21	S	0-99						
			13	NOISE	0-99	22	R	0-99						
						23	HIP	0-99						
						24	KEYTRACK	0-99						

Daher würde der Klang eines Tones bei zunehmender Tonhöhe dumpf werden. Bei überhöhter Resonanz kann mit Keyboard-Track das Filter melodios mitgespielt werden.

○Chorus.

Der Chorus ist eine Einheit zur nachträglichen Bearbeitung des Klanges. Er ist stereophon, d.h. am NF-Ausgang des Synthesizers stehen zwei verschiedene Signale zur Verfügung. Der Stereochorus entfaltet seine volle Wirkung also nur bei Zweikanalwiedergabe. Die musikalische Wirkung kann am besten mit dem Factoryprogramm 02 demonstriert werden. Folgende 3 Parameter können den Chorus beeinflussen:

- 1. Modulation-Speed
Modulationsgeschwindigkeit des Chorus.
- 2. Modulation
Modulationstiefe.
- 3. Mix
Hinzufügen des Chorusausgangssignals zum Originalsignal.
- Vol.
Ausgangslautstärke Stereo.

○MG, Modulationsgenerator.

Auch Low Frequency Oscillator (LFO). Bei unserem Synthesizer ein Dreiecksgenerator mit einem Frequenzbereich von einigen Milli-Hertz bis zu einigen Hertz. Quelle der FM und Filtermodulation.

Die Parameter des MGs sind:

- Speed, Frequenzeinstellung.
Bei Inhalt 0 bleibt der Generator stehen.

Remix 2

○ADSR des MGs.

Ist der Hüllkurvengenerator für die Dreieckswelle des LFO. Er hat einen Mono-Trigger, d.h. gleichgültig wieviele Keyboardtasten gedrückt sind, wird der Hüllkurvengenerator nur einmal ausgelöst.

○Bender oder 'Pitchbender'.

Joystick oder Modulationsräder am linken Keyboardende. X-Richtung = Tonhöhen verändern, Y-Richtung = Filter öffnen oder schließen. Das Ganze dient der Belebung des Spiels.

○Editmap.

Hier kann man die Nummern der einzelnen Parameter im Presetbetrieb entnehmen, ferner den Inhalt des Parameters und den 'Drehbereich'; sollte auf die Frontplatte geklebt werden.

○Factory Sounds.

Vorprogrammierte und vom Spieler nicht löschbare Sounds im ROM des Presets.

○MIDI-Select.

Schaltet die COUNT-Taste ein und die Tune-Anzeige auf MIDI-Kanalnummer um. Der MIDI-Kanal wird nach dem Einschalten stets 1 sein.

Bild 4. Die Editmap sollte in leicht vergrößerter Form auf die Frontplatte des Presets geklebt werden.

○Count.

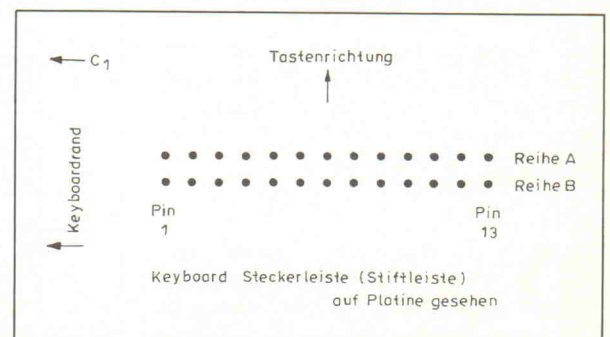
Zählt den MIDI-Kanal aufwärts durch. Um mit einer einstelligen Anzeige auszukommen, heißen die Kanäle 1-16 hier 1... 9, a... g. Nach g folgt wieder 1. Die Anzeige erscheint blinkend. Mit MIDI-Select kommt man wieder in die Tuneanzeige.

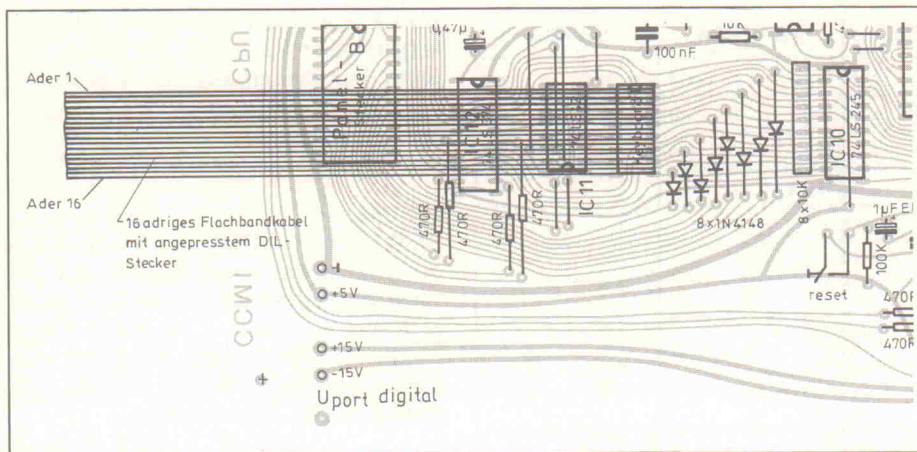
Als Software wird der Inhalt der Eproms bezeichnet, also das Programm, auf welches der Rechner auf dem CPU-Board und auf der Presetplatine zugreift. Dieses Programm kann sich in zwei verschiedenen Epromtypen (2716 oder 2732) befinden. Man achte deswegen beim Bestücken auf die sogenannten Software-Identifizierungsbrücken.

Die ADSR-Hüllkurve bestimmt den dynamischen Verlauf eines Tastenanschlags.

Der Rechner und seine Peripherie können eine Tastatur (Manual, Keyboard) mit max. 5 Oktaven ansteuern (61 Tasten). Die Tasten sind zu einer 8-Bit-Matrix zusammengefaßt. So kann man alle Tasten mit nur 16 Leitungen verdrahten. Zum Keyboard führt also ein 16-adriges Flachbandkabel, welches auf einer Seite einen 16-Pin-Dil-Stecker für den Anschluß auf dem

Bild 5. Die Steckerbelegung der F.A.T.A.R.-Tastatur





CPU-Board hat und auf der anderen Seite auf dem Keyboard verlötet wird. Die genaue Belegung der Matrix findet man im Schaltbild. Hier sei nur die Lötanleitung für ein 5 Oktaven-Key-board von der italienischen Firma F.A.T.A.R. gegeben.

Man legt das Keyboard so vor sich hin, daß man auf die Kontaktträgerplatine sieht. Die Tasten zeigen von einem weg, links ist C1. 10 cm vom linken Platinenrand sieht man einen Steckverbinder (Bild 5). Hier wird das Flachbandkabel verlötet. Man trennt nun die einzelnen Adern des vom Keyboard-Connector des CPU-Boards kommenden Kabels auf etwa 10 cm auf. Die Adern werden fortlaufend durchnummeriert (Bild 6).

Man lötet nun die einzelnen Adern laut Bild 7 an die Stiftleiste und vergißt nicht, ein kleines Stück Isolierschlauch über die Lötstelle zu ziehen (Bild 8).

Das Flachbandkabel kann aus Stabilitätsgründen auf die Kontaktträgerplatine geklebt werden. Man erhält so eine wirksame Zugentlastung. Man nehme dazu ein paar Tropfen Sekundenklebstoff. Vorher sollte man Kabel und Platine mit Schleifpapier anrauen.

Die Kontakttätigkeit kann bei dem F.A.T.A.R.-Manual für jede Taste fein justiert werden. Der Kontakt sollte etwa auf halbem Tastenweg schalten.

Da der Synthesizer nicht unbedingt mit der Presetplatine betrieben werden muß, befinden sich einige Bedientasten auf einer

Bild 6. Anschluß der Tastatur auf der CPU-Platine.

Ader	Pin	Ader	Pin
1	B10	9	B6
2	B2	10	A7
3	B9	11	B5
4	B1	12	A9
5	B8	13	B4
6	A3	14	A12
7	B7	15	B3
8	A5	16	A1

Bild 7. Verbindungsplan zwischen Keyboard und CPU-Platine.

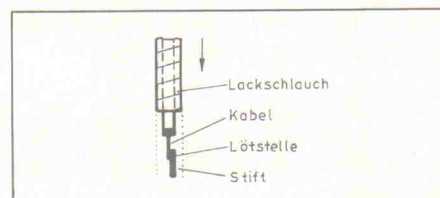


Bild 8. Anschluß am Stecker des Keyboards.

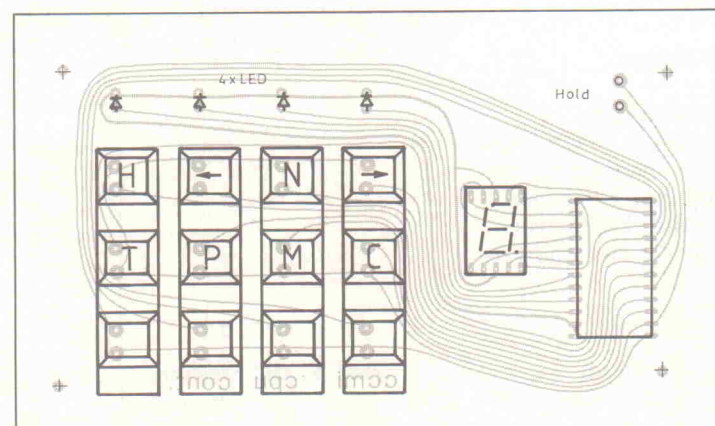


Bild 9. Bestückungsplan für den CPU-Controller. Die untere Tastenreihe ist frei legbar.

separaten Platine — dem CPU-Controller. Hier werden die Stimmung, Keyboardhilfen und der MIDI-Kanal eingestellt. Ferner befinden sich auf der Platine eine 7-Segment-LED-Anzeige, welche die momentane Stimmung des Synthesizers anzeigt, und 4 LEDs, welche den Zustand einiger Tasten angeben (Bild 9).

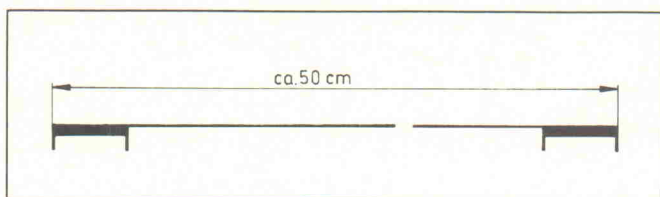
○—>. Eine Oktav nach oben.

○N. Normaler Spielbereich mit Kammerton in der dritten Oktave. Stellt sich beim Einschalten von selbst ein.

○<—. Eine Oktav nach unten.

Die Tasten in der unteren Reihe sind nicht belegt. Die Belegung kann aus dem Schaltbild ersehen werden. Hier kann der Benutzer eigene Funktionen programmieren. Die Matrixabfrage ist im Programmlisting dokumentiert.

Der Aufbau des Controllers sollte keine Schwierigkeiten bereiten. Falls unter den Tasten kleine Rasterzäpfchen sind, so entfernt man diese mit einem feinen Seitenschneider. Der Stecker des Flachbandverbindungskabels muß wegen der Bauhöhe direkt auf die Platine gelötet werden. Es ist also keine Fassung zu verwenden. Die Anschlußbeine der 4 LEDs sollten auf der Platine nur 'festgehaftet' und nicht abgeschnitten werden, da man sie beim Einbau in das Gehäuse so in der Höhe anpaßt, daß sie gerade mit der Kuppe durch die Frontplatte sehen. Erst danach können sie gekürzt werden. Die Anschlußdrähte für das Holdpedal



**Bild 10. Steckver-
binder zwischen
CPU und Control-
lerplatine.**

sollte man erst nach Komplett einbau ins Gehäuse direkt auf der Lötseite anlöten.

Das Flachbandverbindungskabel vom CPU-Board zum Controller ist in Bild 10 zu sehen.

Jedes mit MIDI ausgestattete Gerät besitzt gewöhnlicherweise einen Sender und einen Empfänger für MIDI-Signale. Es handelt sich hierbei um serielle Schnittstellen, das heißt, die zu übertragenden Informationen werden in ihre Bestandteile zerlegt und nacheinander übertragen. Dies hat den Vorteil, daß ganz normale, abgeschirmte Kabel (5polig DIN) verwendet werden können. Die Übertragungsrate beträgt 31,25 kB. Unser Synthesizer kann also einen anderen Synthesizer oder Expander ansteuern oder er kann von einem fremden Synthesizer angesteuert (d.h. gespielt) werden.

Wir senden und empfangen im sogenannten OMNI OFF / POLY-Modus folgende Informationen: Tonhöhe, Ton ein, Ton aus, Dynamik null und Dynamik 64d (40h).

Wir senden und empfangen keinerlei Spielhilfsdaten und Exklusivdaten. Unser Synthi hat zwei MIDI- Ausgänge und einen -Eingang.

MIDI kann auf 16 Kanälen empfangen und senden. Hier ist die Sendekanal-Nummer auch gleichzeitig die Empfangskanal-Nummer. Drückt man die MIDI-Select-Taste am CPU-Controller, so schaltet die Tune-Anzeige in eine blinkende MIDI-Kanalanzeige um. Mit der Count-Taste können die Kanäle durchgezählt werden (1-9 und a-g). Nach der Anzeige g wird wieder 1 angezeigt. Die Kanalnummer wird nach dem Einschalten stets 1 sein. Sie kann nicht abgespeichert werden. Durch

Bild 11. Die drei Betriebsspannungen können mit entsprechenden LEDs kontrolliert werden.

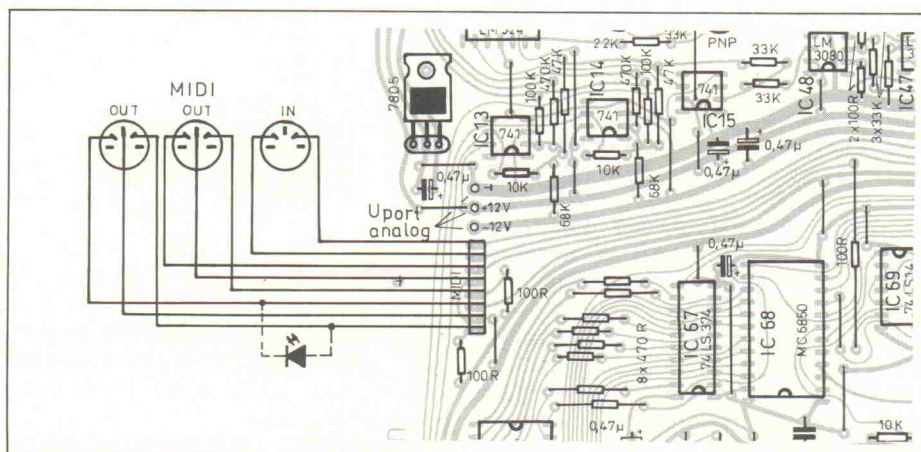
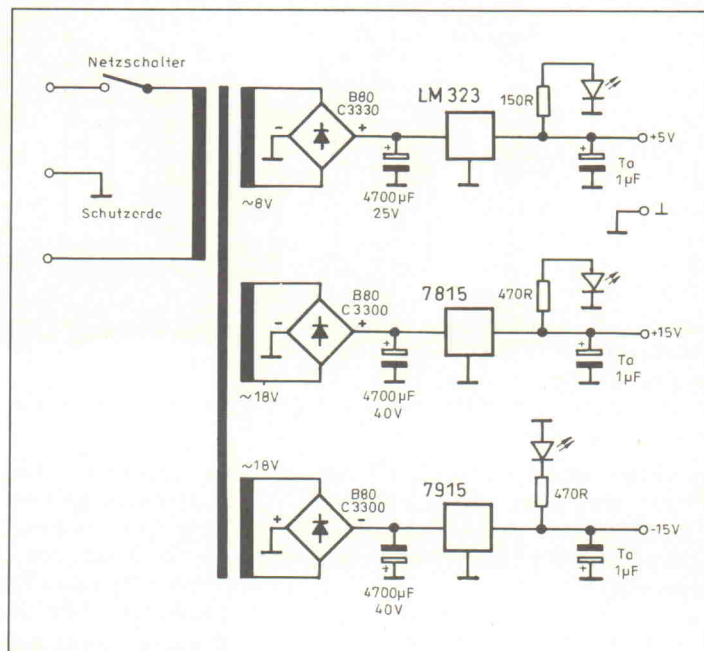
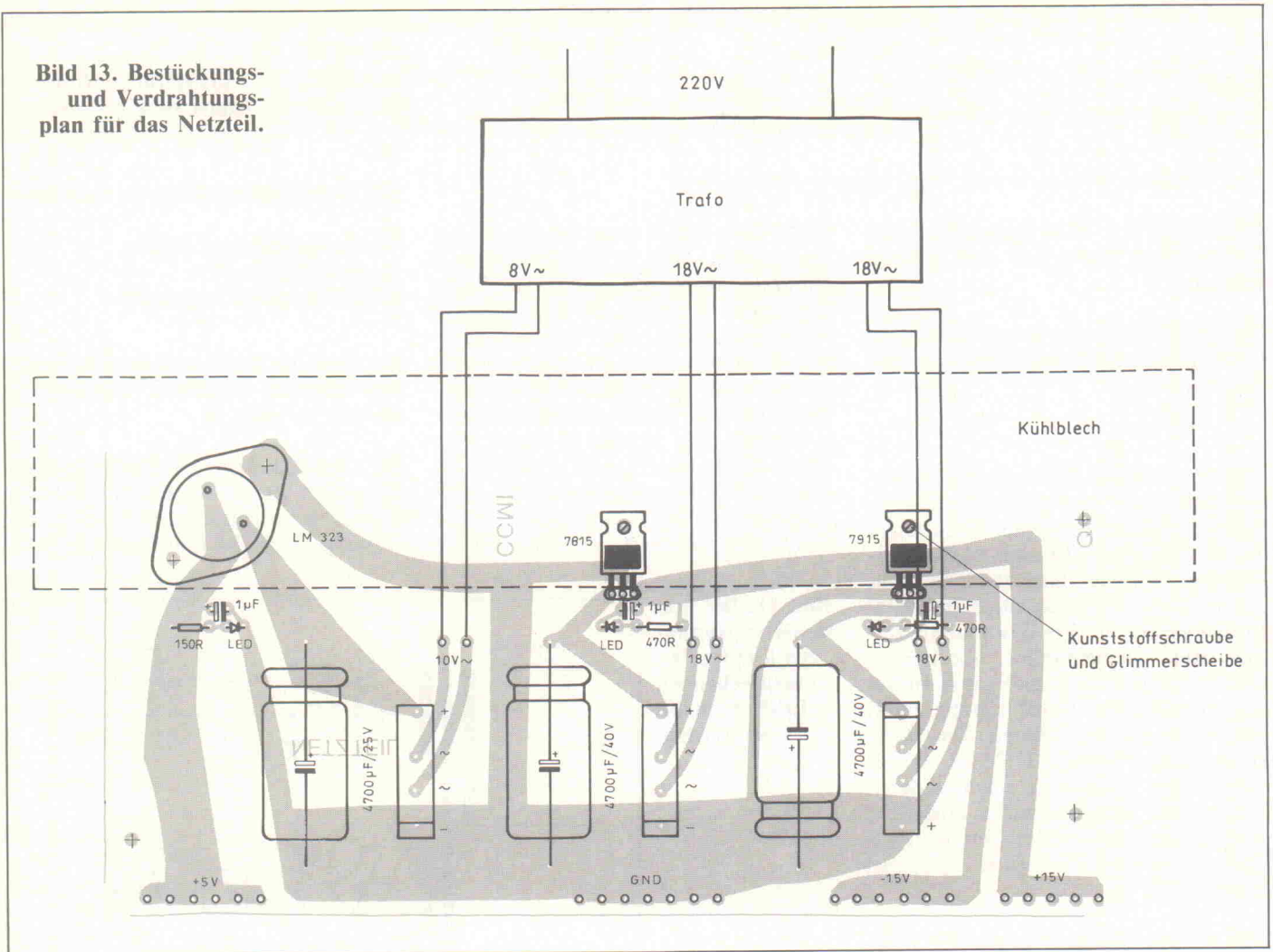


Bild 12. Die Belegung der Midi-Buchsen.

Bild 13. Bestückungs- und Verdrahtungsplan für das Netzteil.



se sollten verdreht und nicht länger als 50 cm sein. Das abgeschirmte DIN-Überspielkabel von Gerät zu Gerät sollte eine Länge von 10 m nicht überschreiten.

Der Festspannungsregler 7915 muß mit einer Glimmerscheibe vom Kühlblech isoliert werden.

Das Netzteil stellt drei Gleichspannungen bereit. Da die Tonhöhenenerzeugung des Synthesizers digital ist, reicht die Genauigkeit von Festspannungsreglern aus. Das Netzteil benötigt einen Transformator mit zwei 18 V-Wicklungen und einer 8..10 V-Wicklung. Jeder Wechselspannungseingang hat seinen

Gleichrichter und Sieb-Elko. Die Spannungsregler-ICs sind auf ein Kühlblech montiert. Dieser Kühlwinkel wird an das Metallgehäuse des Synthesizers geschraubt. Zwischen die Blechteile sollte man Wärmeleitpaste streichen. Nach jedem Spannungsregler folgen noch eine optische Anzeige mit einer LED und ein kleiner Tantalelko zur Unterdrückung von Schwingungen.

Der Aufbau sollte keine Schwierigkeiten machen. Der Kühlkörper wird deckungsgleich mit den 3,5 mm-Schraublöchern auf die Platine geschraubt. Danach werden die Spannungsregler-ICs eingesetzt (Wärmeleitpaste nicht vergessen!). Unter den 7915 gehört eine Glimmerscheibe; ferner muß er mit einer Kunststoffschraube ans Kühlblech geschraubt werden. Vor Inbetriebnahme nochmals mit einem Ohmmeter die Isolation des 7915 vom Kühlblech prüfen.

Stückliste

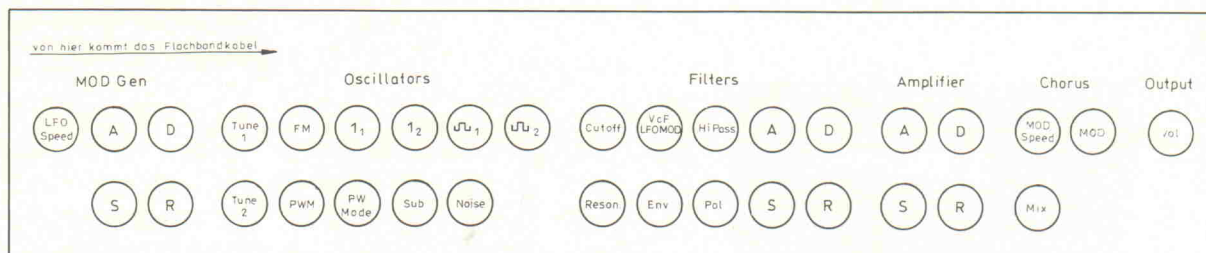
— Netzteil—

- 1 Transformator prim 220 V/sek 2 x 18 V/1 x 8-10 V
- 3 Gleichrichter B 40 C 3300/5000
- 2 Elkos 4700 µF / 40 V
- 2 Elkos 4700 µF / 25 V
- 3 Tantalelkos 1 µF / 35 V
- 2 Widerstände 470 R
- 1 Widerstand 150 R
- 1 LM 323
- 1 7815
- 1 7915
- 3 LED 5 mm rot
- 1 Kunststoffschraube M3
- 1 Glimmerscheibe To 220
- 31 Lötstäbe 1 mm rund
- 1 Kühlwinkel

ACHTUNG: BEI INBETRIEBNAHME DES NETZTEILES KOMMT MAN MIT DEM LICHTNETZ IN BERÜHRUNG.

****VORSICHT MIT 220 V!!!!!!!!!!!!!!**

Bild 14. Sinnvolle Anordnung der Bedienelemente bei einem Analogpanel.



Die Vorteile einer mit Potis bestückten Frontplatte sind ein sehr komfortabler und vor allem schneller Zugriff auf alle Parameter des Synthesizers. Die Abstufung eines Potis ist praktisch unendlich fein. So kann man unter Umständen Feinheiten mit Potis erarbeiten, die beim digitalen Bedienen nicht möglich sind. Außerdem hat man die komplette Einstellung auf einen Blick vor sich. Dies ist für experimentelles Arbeiten mit Klängen unbedingt nötig. Der Nachteil ist die fehlende Speichermöglichkeit der gefundenen Einstellungen.

Wenn man also kein Preset besitzt oder benutzen will, muß man die Frontplatte (Panel) mit Potis und Schaltern bestücken. Links sollte die Platine des CPU-Controllers angebracht werden. Eine sinnvolle Anordnung der Bedienelemente gibt der 'Lageplan Panel'. Für die Potis kann man jeden Wert zwischen 5 und 100 k verwenden. Für die Schalter genügen Typen mit 1xUm.

Die Verbindung vom CPU-Board zu den Bedienelementen wird mit einem ca. 120 cm langen 40poligen Flachbandkabel hergestellt. Ein Ende wird mit einem 40-Pin-DIL-Stecker versehen, das andere wird ungefähr auf 60 cm in einzelne Adern aufgetrennt. Die Adern werden von 1 - 40 durchnummeriert. Dies wird in Bild 15 deutlich.

Man verbindet nun die Potis mit den einzelnen Adern. Die Enden der Widerstandsbahnen und die Ruhepunkte der Schalter verbindet man mit +5 V (Ader 26) und Masse (Ader 16) wie die Skizze zeigt. Die Zungen der Schalter und die Schleifer der Potis verbindet man wie in der Tabelle angegeben. Wenn NC (No Connection) steht, so kann man diese Ader abschneiden. Das (oder die) Lautstärkepoti(s) verdrahtet man wie im Kapitel 'NF-Aus-

gang' beschrieben. Eine wirksame Zugenlastung erhält man durch Ankleben des noch nicht aufgetrennten Flachbandkabels mit Sekundenklebstoff an die Rückseite der Frontplatte.

Für beide Bender-Potis gilt die gleiche Anschlußbelegung wie für alle Potis. Diese Potis sind auch als Joystick denkbar. Sie können für den Anfang auch einfach weggelassen werden.

Den schnellsten Zugriff auf alle Sounds bietet die Klangspeicherung. Der Preset ist völlig digital aufgebaut, und kann 235

Sounds (Klänge) speichern. Hiervon befinden sich 35 im ROM. Diese Klänge sind nicht vom Spieler löschar. Es sind die sogenannten Factory-Sounds. Die Factory-Sounds können aber ins RAM, also in den vom Spieler veränderbaren Speicherbereich z.B. als Grundlage übernommen und weiterbearbeitet werden. Selbstverständlich können die Factory-Sounds auch direkt angewählt werden. Sie bieten eine Palette der möglichen Klänge, die mit diesem Synthesizer erzeugt werden können. Die restlichen 200 Speicherplätze können vom Spieler frei programmiert werden. Die eingestellten oder besser: erstellten Klänge bleiben

Tabelle

Ader Ziel

- 1 Resonance
- 2 ENV
- 3 Rechteck 1
- 4 Sägezahn 1
- 5 Rechteck 2
- 6 Sägezahn 2
- 7 Sub
- 8 Filter S
- 9 Filter A
- 10 Filter D
- 11 Filter R
- 12 Amplifier A
- 13 Amplifier D
- 14 Amplifier S
- 15 Amplifier R
- 16 Masse
- 17 LFO (MG) Speed
- 18 NC
- 19 Noise
- 20 Polarity (Schalter)

- 21 Chorus Modulation Speed
- 22 NC
- 23 Chorus Modulation
- 24 PW-Mode (Schalter)
- 25 Chorus Mix
- 26 +5 V-Spannungsversorgung der Frontplattelemente
- 27 Hi-Pass-Filter
- 28 Pitch-Bender-Poti
- 29 MG R
- 30 Tune 1
- 31 MG D
- 32 Tune 2
- 33 MG A
- 34 Tracking
- 35 MG S
- 36 FM
- 37 PWM
- 38 VCF LFO MOD
- 39 VCF Bender
- 40 Cut off

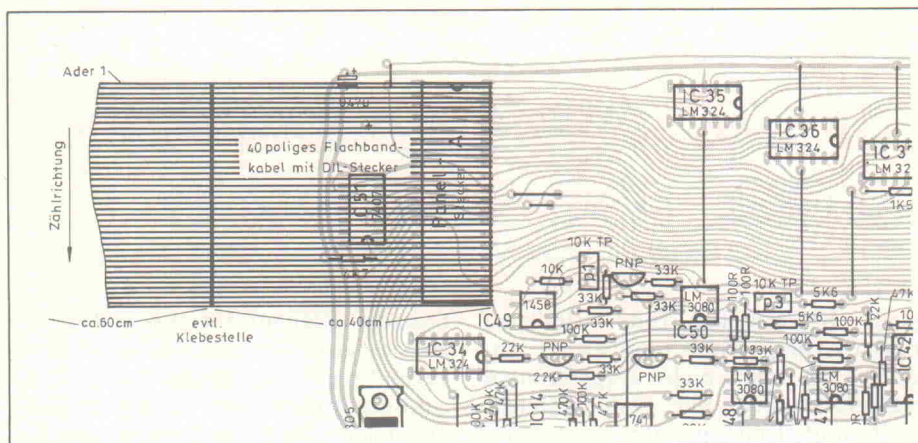


Bild 16. Verdrahtung der Potis und Schalter auf dem Analogpanel.

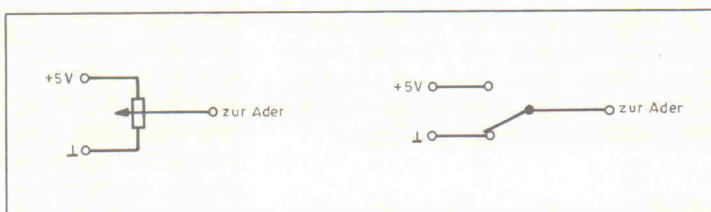


Bild 17. Verbindungskabel zwischen Panel und CPU.

auch nach Abschalten des Netzschalters durch eine Batteriepufferung erhalten.

Mit Hilfe umfangreicher Editiermöglichkeiten können alle 235 Sounds variiert oder vollkommen verändert werden. Jede Veränderung der Parameter wird im Display angezeigt. Während des Erstellens oder während des Veränderns von schon vorhandenen Sounds lassen sich diese mit der 'PARK' oder 'COMPARE' Taste jederzeit mit dem Original oder beliebigen anderen Sounds vergleichen, bevor endgültig eingeschrieben wird. Als weitere Besonderheit lassen sich beliebig lange Soundgruppen zusammenstellen und an irgendeiner Stelle im RAM abspeichern. Diese Soundgruppen können beim Spiel auf der Bühne mit einem Fußtaster blitzschnell abgerufen werden.

Der Preset arbeitet in zwei verschiedenen Betriebsarten: Spielbetrieb und Editierbetrieb. Der jeweilige Zustand wird von den Leuchtdioden unterhalb der 7-Segmentanzeige angezeigt.

Spielbetrieb: Der Preset verwaltet zwei Gruppen von Sounds: die Factory-Sounds und die vom Spieler erstellten Sounds. Mit dem Bankzeiger und dem Soundzeiger kann man aus diesen Sounds auswählen. Der Bankzeiger wird mit der Banktaste (*) weitergeschaltet. Angezeigt wird die jeweilige Bank mit der ROM-LED oder den zwei Ram-LEDs, den zwei Dezimalpunkten der 7-Segment-Anzeige. Der Soundzeiger wird mit der 10er-Tastatur auf die jeweilige Soundnummer gerichtet. Die Nummern wären 0...99 für den RAM-Bereich und

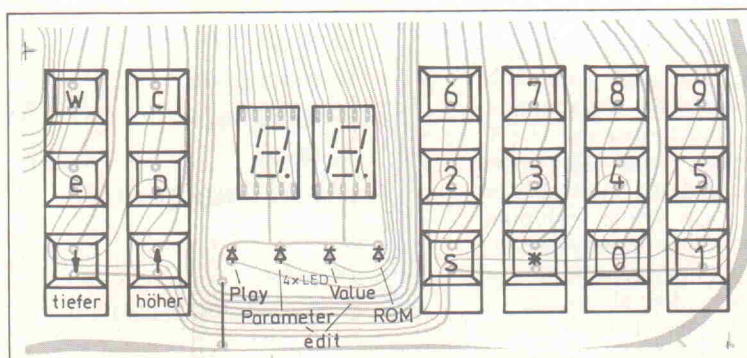


Bild 18. Bedienelemente des Digitalpresets.

Bild 15. Anschluß des Analog- oder Digitalpanels auf der CPU-Platine.

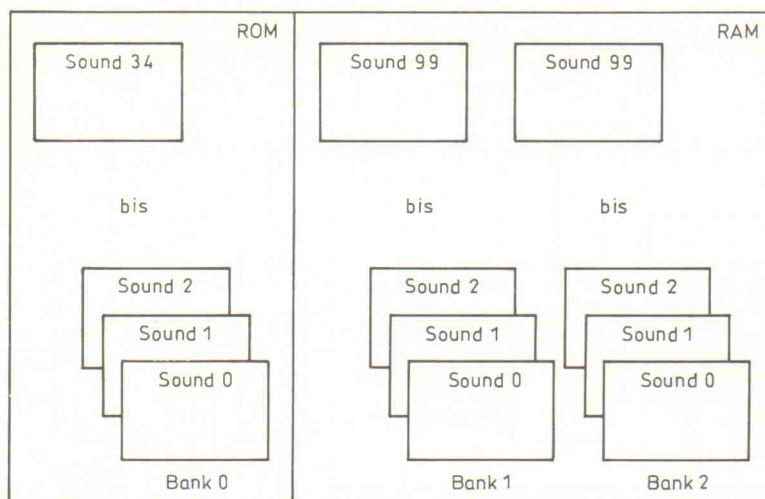
0...34 im ROM-Bereich. Zusätzlich leuchtet die 'PLAY'-LED auf. Sie zeigt an, daß der Preset im Spielbetrieb arbeitet. Beim Eingeben auf der 10er-Tastatur erscheint die eingegebene Ziffer auf der Anzeige als Einer, die alten Einer werden an die Zehnerstelle gerückt. Somit erfolgt die Eingabe wie vom Taschenrechner her gewohnt. Falsche Eingaben lassen sich einfach überschreiben.

Die Steptaste, gleichbedeutend mit dem Step-Pedal, erhöht bei Druck die angezeigte Soundnummer um 1. Hiermit lassen sich besonders schnell Sounds anwählen.

Editierbetrieb: Der Editierbetrieb bietet bei wenig Bedienelementen vielfältige Möglichkeiten. Der Editierbetrieb ist durch das Leuchten der 'Parameter'-LED oder der 'Value'(Wert)-LED erkennbar.

Zum Editieren (dies bedeutet hier: bearbeiten oder verändern eines Klages) besitzt der Preset eine besondere Seite im Arbeitsspeicher, welche als 'Schmierzettel' benutzt wird. Soll ein Sound bearbeitet werden, so muß er zuerst auf diesen Schmierzettel geschrieben werden. Die Tasten 'Edit' und 'Park' schalten den Preset in den Editierbetrieb. Jetzt läßt sich mit der 10er-Tastatur ein Parameter (Nummer 0...31) anwählen. Mit 'Up' oder 'Down' (Pfeile) läßt sich nun sofort der Inhalt des Parameters verändern. Man beachte, daß alle höheren Parameternummern als 31 zu der Anzeige EF (Eingabefehler) führen. Jede Veränderung kann sofort gehört werden,

Bild 19.
Zwischen
den Spei-
cherbänken
kann mit der
*-Taste hin-
und herge-
schaltet
werden.



denn im Editierbetrieb wird der 'Schmierzettel' sofort an den Synthesizer ausgegeben.

Das Zurückschalten in den Spielbetrieb erfolgt mit den Tasten 'Write' oder 'Compare'. Hierbei ist zu beachten, daß mit 'Park' und 'Compare' ohne Datenübertragung zwischen den Seiten umgeschaltet wird. So kann man das Ergebnis vergleichen. Bei 'Park' und 'Write' werden die Sounddaten mit übertragen und alte Daten überschrieben.

○Soundauswahl.

Während des Spielbetriebs, angezeigt durch die 'Play'-LED, kann ein belie-

biger Sound von 00...99 aufgerufen werden. Die gültige Soundnummer erscheint unmittelbar nach Eingabe auf der 10er-Tastatur im Display. Wird das Step-Pedal oder die in ihrer Funktion gleiche Taste 'Step' betätigt, so erhöht sich die angezeigte Soundnummer um 1. Dies dient zum besonders schnellen Soundwechsel während des Spiels. Ist die Nummer 99 ausgewählt, so folgt darauf wieder die Nummer 0, so daß die gewählte Bank nicht verlassen wird. Die Bank kann mit der Banktaste '*' weitergeschaltet werden. Durch einmaliges Drücken wird die nächste Bank in der Reihenfolge ROM, RAM 1, RAM 2 ausgewählt. Ist RAM 2 ausgewählt, so folgt darauf wie-

der das ROM. Ist das ROM ausgewählt, wird dies durch die ROM-LED angezeigt. Die RAM-Bänke werden durch Aufleuchten der Dezimalpunkte in den 7-Segment-Anzeigen angezeigt. Der Dezimalpunkt in der Zehnerstelle bedeutet RAM 1, der Punkt in der Einerstelle RAM 2.

○Ändern des Speicherplatzes.

Der Preset bietet die Möglichkeit, einen bereits bestehenden Sound geändert oder unverändert auf eine andere Soundnummer der gleichen oder einer anderen Bank zu legen. Auch Factory-Sounds lassen sich so kopieren. Dies eröffnet die Möglichkeit, mit dem Step-Fußtaster nacheinander auf beliebige Einstellungen zuzugreifen, indem man diese zuvor als Gruppe hintereinandergelegt hat.

Der dazu nötige Vorgang ist folgender:

○Im Spielbetrieb wird die Quellnummer eingestellt.

○Man betätigt zuerst die Taste 'Edit' und danach die Taste 'Compare'. Man befindet sich immer noch im Spielbetrieb. Wurde die gleiche Taste mehrmals betätigt, so erscheint die Anzeige 'EF' im Display.

○Jetzt wird die Zielnummer eingetippt. Es empfiehlt sich jetzt zu überprüfen, ob die ausgewählte Zielnummer auch leer ist oder überschrieben werden kann.

○Man drückt jetzt die Taste 'Park' und danach die Taste 'Write'. Man achte auf die gewählte Bank, denn ins ROM kann nichts geschrieben werden. Die Daten der Quellnummer wurden jetzt zur Zielnummer kopiert. Die ehemaligen Daten der Zielnummer wurden durch Überschreiben gelöscht und sind unwiederbringlich verloren. Die Daten der Quellnummer hingegen existieren nach wie vor. Will man die Daten der Zielnummer auch erhalten, so muß man diese zuvor auf dem beschriebenen Wege in eine noch leere Nummer kopieren.

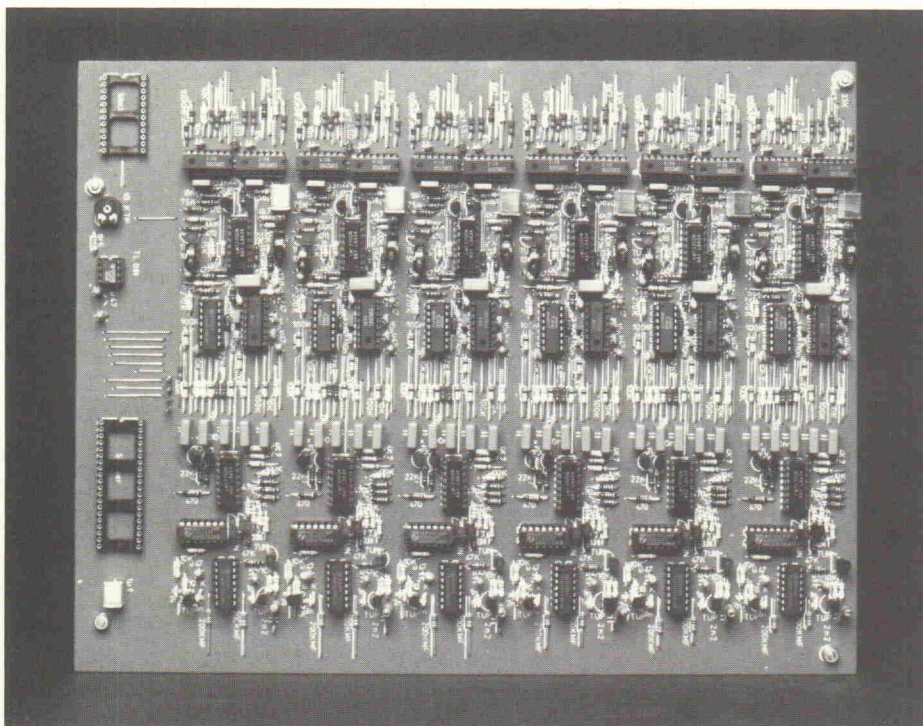


Bild 20. Auf der Voice-Platine sind sechs komplette Stimmen enthalten.

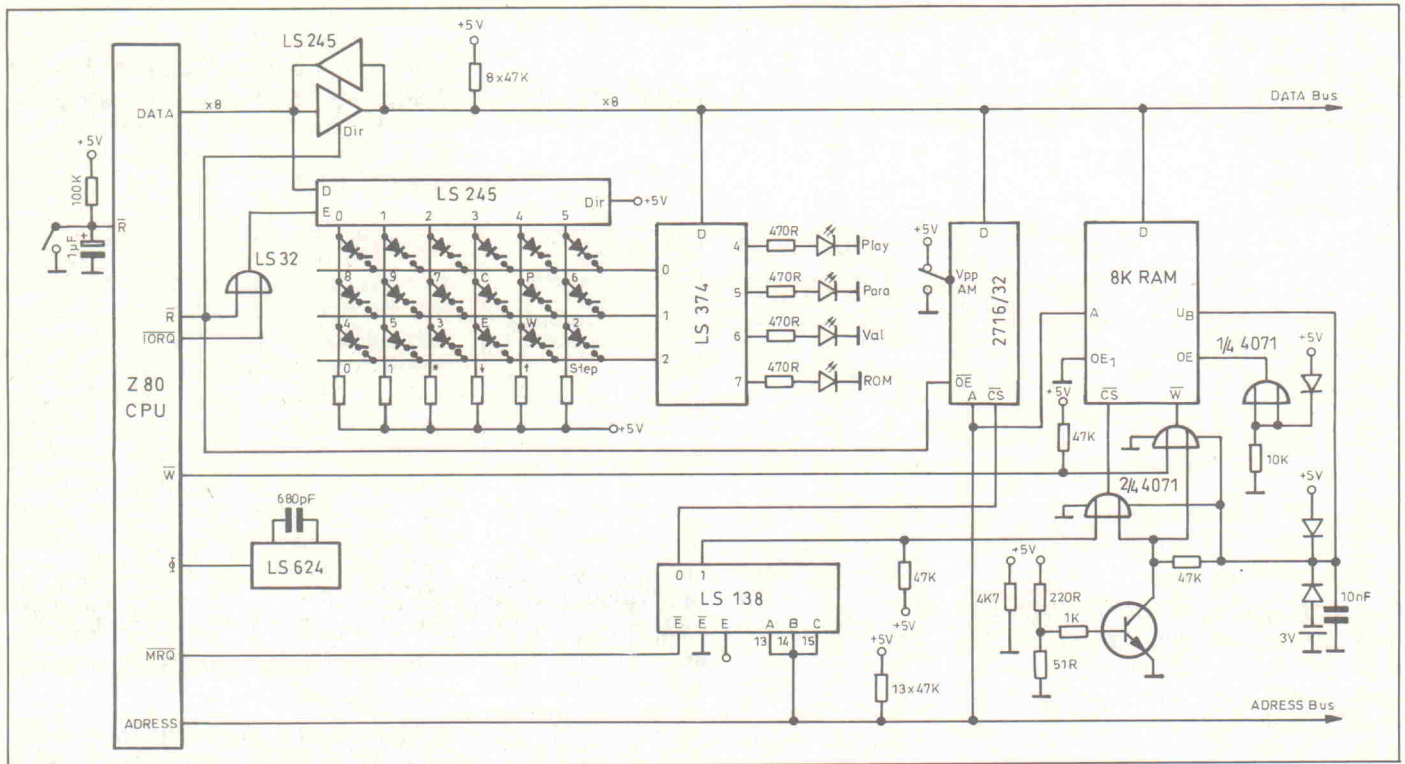


Bild 21. CPU-Schaltung auf dem Digital-Panel.

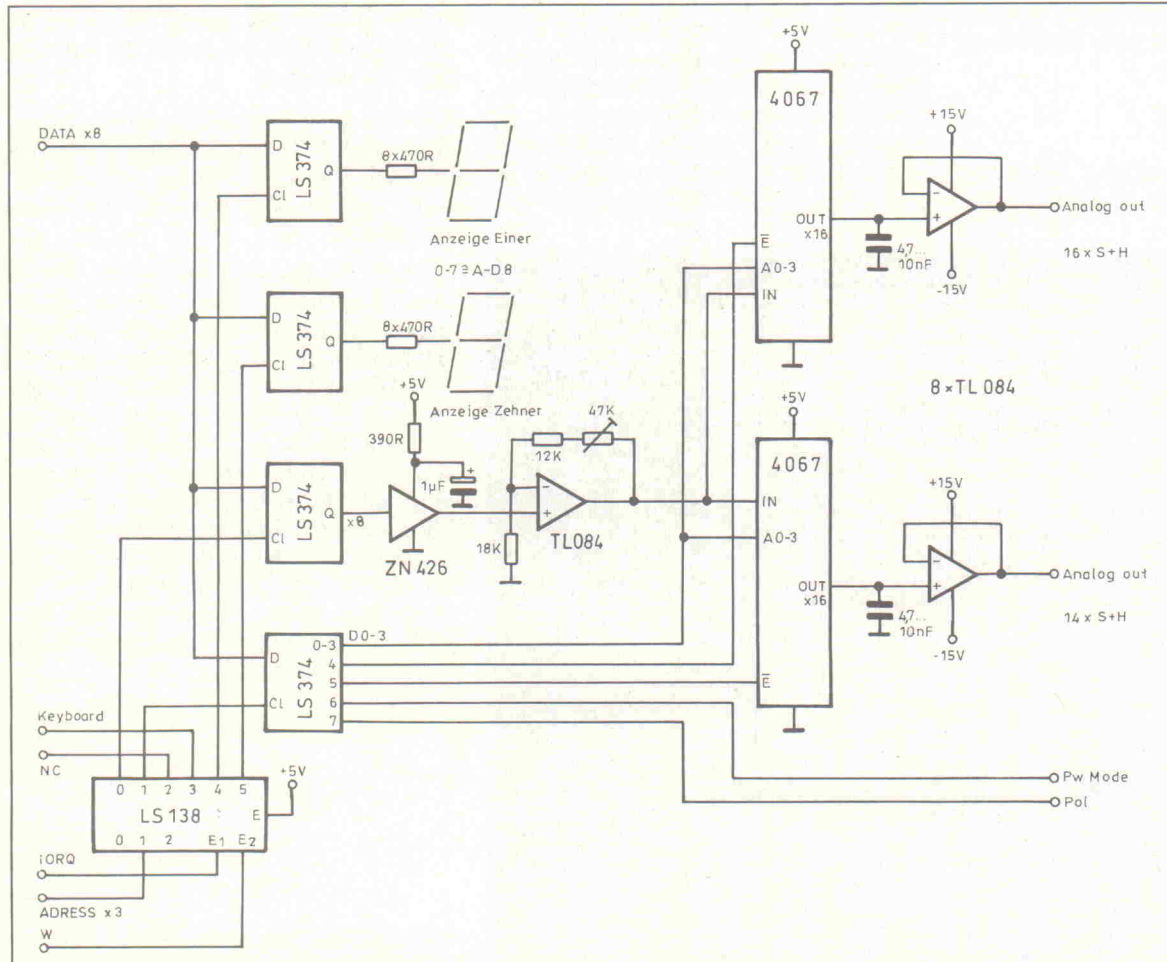


Bild 22. DA-Wandler auf dem Digital-Panel.

Stückliste —Presetplatine—

Widerstände

- 1 220 R
- 1 390 R
- 20 470 R
- 1 51 R
- 1 1 k
- 1 4,7 k
- 7 10 k
- 1 12 k, Metallfilm
- 1 18 k, Metallfilm
- 24 47 k od. Arrays
- 1 100 k
- 1 Spindeltrimmer 50 k

Kondensatoren

- 6 Tantaler 0,47 - 2,2 μ F /16 V
- 1 Elko 1 μ F
- 1 Kerko 680 pF
- 1 MKT 10 nF/7,5 mm Raster
- 2 MKT 680 nF
- 30 Kerkos 10 nF, RM 2,5

Halbleiter

- 1 BC 447
- 21 Universaldioden 1 N 4148 oä.
- 2 7-Segmentanzeigen rot DIS 1306, od. HD 1133 od. TIL 702 od. DL 500
- 4 LED 5 mm rot
- 1 Static RAM 8kx8 z.B. 6264 LP od. uPD 4364L
- 1 LS 624 oder 324
- 1 LS 32
- 2 LS 245
- 5 LS 374
- 2 LS 138
- 1 4071 CMOS Gatter
- 2 4067 CMOS Multiplexer
- 1 Z 80 A CPU
- 1 ZN 426
- 8 TL 084
- 1 EPROM 'Preset'

Verschiedenes

- 1 Taster für Reset
- 18 Taster mit Aufdruck
- 2 Batteriehalter Mignon
- 13 Lötnägel, 1 mm
- 2 m Schaltdraht für Brücken

IC-Fassungen

- 12 14-Pin
- 2 16-Pin
- 7 20-Pin
- 3 24-Pin
- 1 28-Pin
- 2 40-Pin

- 1 Flachbandkabel 40pol mit 2 40-Pin-DIL-Steckern

○ Editieren.

○ Drücken der Taste Edit. Die Parameter-LED leuchtet jetzt.

○ Man gibt die Parameternummer, welche man bearbeiten möchte, auf der 10er-Tastatur ein. Diese Parameternummer kann man aus der 'Edit-map' entnehmen. Die Parameternummer wird unmittelbar im Display angezeigt.

○ Durch Drücken der Tasten 'up' und 'down' (Pfeile) wird der Inhalt (Wert) des Parameters angezeigt und gleichzeitig verändert. Man erkennt an der 'Value'-LED, daß das Display einen Inhalt anzeigt. Die up- und down-Tasten verfügen über eine automatische Wiederhol-Funktion (Autorepeat), welche bei längerem Tastendruck immer schneller wird. Hiermit ist eine genaue Feineinstellen sowie ein schnelles Überstreichen größerer Werte möglich. Bei Betätigung der Taste Bank (*) wird der Inhalt auf 00 gesetzt, jedoch ohne angezeigt zu werden. Bei nochmaligem Betätigen des up- oder down-Tasters wird dieser Vorgang jedoch deutlich.

Wenn man jetzt einen weiteren Parameter bearbeiten will, tippt man einfach die neue Parameternummer ein. Die Value-LED erlischt und die Parameter-LED leuchtet wieder. Die Bearbeitung erfolgt jetzt wie beschrieben.

○ Sind alle Werte eingestellt oder verändert, so kann der Sound mit dem Original, falls vorhanden, verglichen werden. Man drückt die Taste 'Compare'. Mit der Taste 'Park' kann wieder auf den editierten Sound zurückgeschaltet werden, um gegebenenfalls weitere Änderungen durchzuführen.

○ Durch Drücken der Taste 'Write' wird der editierte Sound in die Nummer eingeschrieben, welche zuletzt im Spielbetrieb eingestellt wurde.

Die Parameternummer und die Soundnummer werden im Speicher abgelegt, auch wenn sie nicht immer im Display

angezeigt werden können. Man erhält so bei Rückkehr vom Spielbetrieb in den Editierbetrieb immer die Parameternummer an der man zuletzt 'gedreht' hat.

Will man nur den Inhalt eines Parameters sehen, so drückt man je einmal 'up' und 'down' und der Inhalt erscheint unverändert im Display.

Während des Einstellens kann das Klangerlebnis jederzeit gehört und mit dem Originalklang (bei Änderung) verglichen werden:

Bedienungselemente des Presets:

- 0...9 Zehnertastatur
- W Write
- C Compare
- E Edit
- P Park
- Pfeil ab Inhalt (Wert, Value) nach oben zählen
- Pfeil ab Inhalt nach unten zählen
- S Step
- * Bankweitschaltung und im Editbetrieb Value 00

Beim Aufbau der Presetplatine sind einige Besonderheiten zu beachten. Zuerst müssen die Befestigungslöcher für den Batteriehalter angezeichnet und gebohrt werden. Dazu legt man die Batteriehalter (wie auf dem Bestückungsdruck zu sehen ist) aneinander; mit einem Stift zeichnet man die Befestigungslöcher auf die Platine durch. Die Löcher werden mit einem 3,5 mm Bohrer gebohrt. Danach bestückt man alle Drahtbrücken. Man

Mit dem Preset-Editor kann man eigene Klänge entwerfen, bestehende Klänge abändern oder die Factory-Sounds den eigenen Bedürfnissen anpassen.

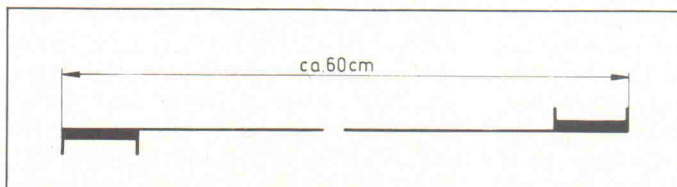
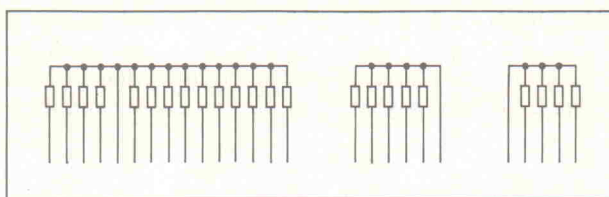


Bild 23. Steckverbinder zwischen Digitalpreset und CPU-Platine.

Bild 24. Die Widerstand-Arrays der Preset-Platine: 23-mal 47 k



achte auf die Software-Identifizierungsbrücke wie im Bestückungsplan bezeichnet. Brücke x bei Eprom 2716 und Brücke y bei Eprom 2732.

Außer den Tasten können nun alle Bauteile bestückt werden. Es sollten keine ICs eingesetzt werden. Die Tasten können an der Unterseite kleine Zäpfchen haben. Diese muß man vor dem Einsetzen mit dem Seitenschneider entfernen. Der Reset-Taster ist nur für Prüfungszwecke vorhanden. Er kann nach erfolgreicher Inbetriebnahme wieder ausgelötet werden. Jetzt muß noch der Batteriehalter auf die Lötseite der Platine geschraubt und verlötet werden. Die Widerstands-Arrays muß man sich nach Bild 24 aus 47 k-Widerständen selbst herstellen.

Keine ICs einstecken, Betriebsspannungen anlegen, leuchten alle Netzteil-LEDs noch? Spannung abschalten und alle ICs, bis auf die beiden Multiplexer 4067, einstecken. Das EPROM muß mit dem Namen Preset beschriftet sein. Batterie anschließen. Einschalten und 'Write', 'Edit', '1', und '7' drücken. Die Anzeige zeigt jetzt 17 und die Parameter-LED leuchtet. Jetzt 'up' oder 'down' drücken. Die Anzeige zählt jetzt herauf oder herunter und die Value-LED leuchtet. Mit dem Oszilloskop wird jetzt an Pin 1 eines Multiplexers gemessen. Da es sich hier um ein sehr komplexes Signalgemisch handelt, muß man unter Umständen mit dem Triggerlevel des Oszis spielen, bis man ein stehendes Bild erhält. Deutlich wird man bei drücken von up oder down einen Ausschnitt des Signals sich rauf oder runter bewegen sehen. Die höchste Amplitude, die so ein Ausschnitt erreichen darf, sind 4,5 V bei Anzeige '99'. Da die Multiplexer 4067 nur mit einer Betriebsspannung von +5 V arbeiten, darf die Eingangsspannung diesen Betrag nicht überschreiten. Man stellt jetzt also 99 ein. Der Bildausschnitt, den wir bisher beobachtet hatten, wird jetzt mit dem Spin-

deltrimmer auf 4,5 V eingestellt. Abschalten.

Einsetzen der beiden Multiplexer-ICs. Einschalten und 'Write' 'Edit', '1' und '7' drücken. Die Parameter-LED leuchtet jetzt wieder. An der Steckverbinderfassung Pin 1 kann jetzt eine Gleichspannung in Abhängigkeit von den up- oder down-Tasten gemessen werden. Die maximale Spannung bei Anzeige 99 sollte jetzt mit dem Spindeltrimmer auf 4,8 V eingestellt werden.

Die Batterien (2 Mignonzellen) sollten jährlich gewechselt werden. Der Wechsel darf nur bei eingeschaltetem Netz vorgenommen werden, weil sonst der Inhalt des RAMs gelöscht wird. Das Datum des Wechsels notiert man im Inneren des Gehäuses. Es sollten nur Batterien allererster Qualität Verwendung finden, da eine auslaufende Batterie die darunterliegenden Platinen unbrauchbar macht.

Grundlage des hier beschriebenen Synthesizer-Systems ist einmal die digitale Frequenzerzeugung und die subtraktive Synthese des Klanges.

'Grundmaterial' des Tones ist dabei die Tonhöhe. Sie wird nicht wie bei analogen Synthesizern mit frei schwingenden Oszillatoren (VCOs) erzeugt, sondern durch einen 16-Bit-Teiler aus einer sehr hohen Mutterfrequenz. Dies gewährleistet eine genaue Einhaltung der temperierten Stimmung. Um einer gewissen Sterilität auszuweichen, sind pro Stimme in diesem Synthesizer zwei solche Teilersysteme installiert.

Ein weiterer Grundbaustein eines Tones ist sein Klang. Dieser setzt sich aus der Oberwellenstruktur und der Lautheit zusammen. Erzeugt wird also eine obertonreiche Grundwelle von der mit Filtern (gleich welcher Art) die Obertöne langsam in ihrer Amplitude abgeschwächt werden. Daher der Name subtraktiv, man zieht einfach aus einem Angebot an Obertönen einige ab, um auf diese Weise eine neue Schwin-

gung zu konstruieren. Der Lautheitsverlauf wird dem Klang durch einen einstellbaren Verstärker gegeben. Angesteuert wird dieser Verstärker durch einen Konturgenerator. Das klassische Synthesizer-Konzept beruht auf diesen drei Grundmodulen: Oszillator, Filter, Verstärker. Die Stimme (Voice, Kanal) stellt also die analoge Weiterverarbeitung des vom CTC (Counter-Timer-Circuit) 8253 kommenden Rechtecksignals dar.

Beschreibung der Sägezahnauflbereitung am Beispiel von 'Oszillator 1': Das ankommende Rechtecksignal wird über $2n2/10\text{ k}$ differenziert und steuert T2 auf. T2 schließt die Gegenkopplungsstrecke um OP 1 und C3 kurz. Somit wird C3, welcher vorher über R 35 geladen wurde, schlagartig entladen. Am Ausgang von OP 1 steht ein negativer Sägezahn zur Verfügung. Die fallende Amplitude bei steigender Eingangsfrequenz (Tiefpassverhalten) wird durch eine der Eingangsfrequenz proportionalen Nachführspannung (KOV) ausgeglichen. Die KOV wird über R 35 eingekoppelt. Mit OTA 1 kann die Sägezahnwelle stufenlos in den Signalweg eingemischt werden. R 13 ist der zugehörige Addierwiderstand des Signaladdierers um OP 5.

Die Rechteckauflbereitung: Das Rechtecksignal wird in OP 2 aus dem Sägezahnsignal gewonnen. Dieser Komparator stellt eine in der Pulsweite (PW) einstellbare Rechteckwelle mit einer Amplitude von 30 Vss zur Verfügung. Die Pulsweite hängt von der Spannung am +Eingang des Komparators ab (PWCV). Über T4 läßt sich die Amplitude des Rechtecksignals stufenlos einstellen. R 17 addiert die Rechteckwelle in den Signalweg.

Der Suboszillator ist nur ein D-Flip-Flop, welches die Eingangsfrequenz durch zwei teilt. Mit T1 kann diese Rechteckwelle, welche eine Oktave tiefer erklingt, in den Signalweg eingefügt werden. Über R 33 wird eine Rauschspannung addiert. Der Ausgang vom Addierer OP 5 speist das Filter SSM 2044. Dieses IC beinhaltet ein komplettes, spannungsgesteuertes 24 dB-Tiefpaßfilter. Über R 39 kann die Resonanz (Güte) gesteuert werden. Um OP 7 ist der Steuerspannungsaddierer für das Filter aufgebaut. Mit Pa wird der Offset des Filters abgeglichen. Um eine gleichbleibende Filtercharak-

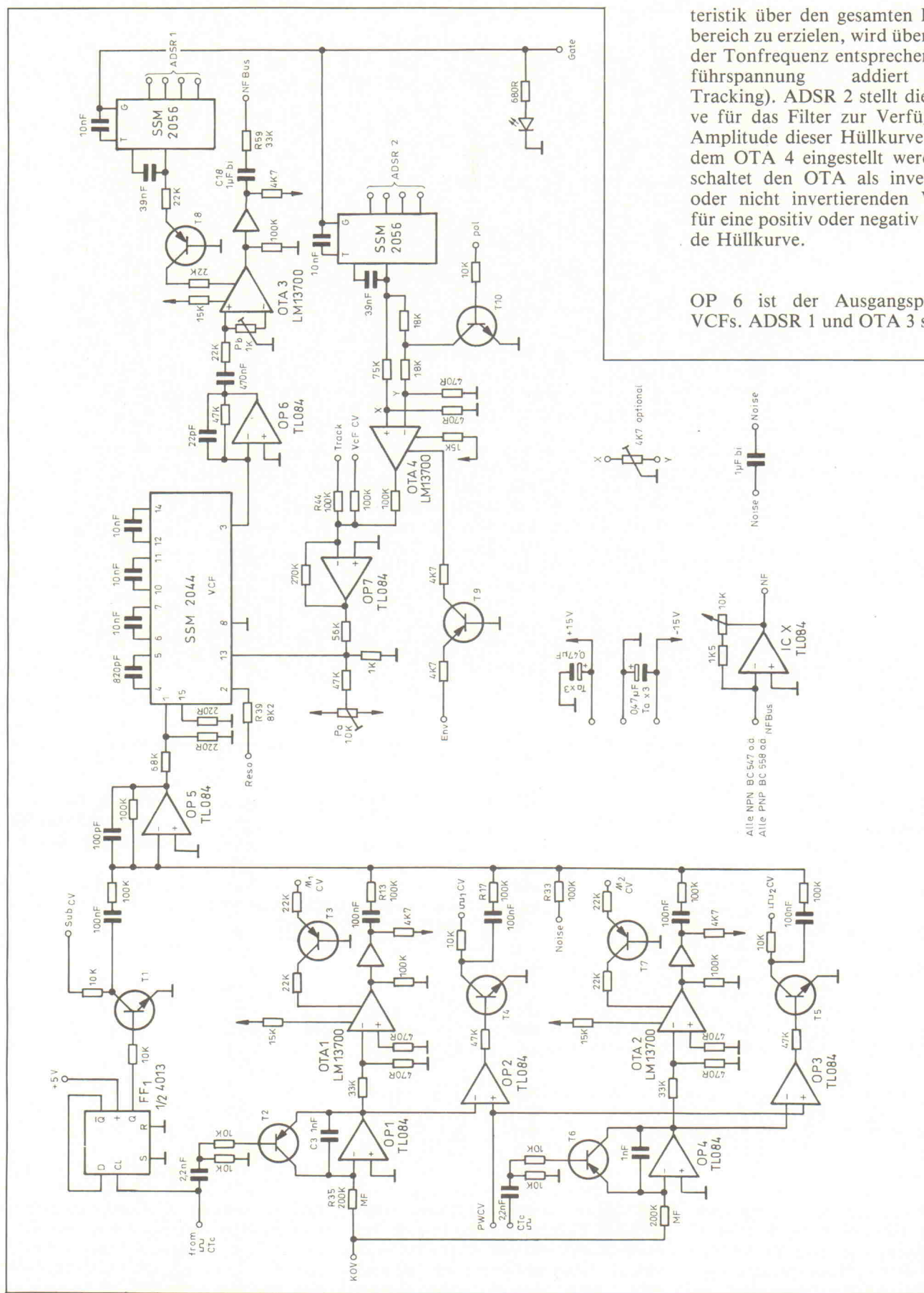
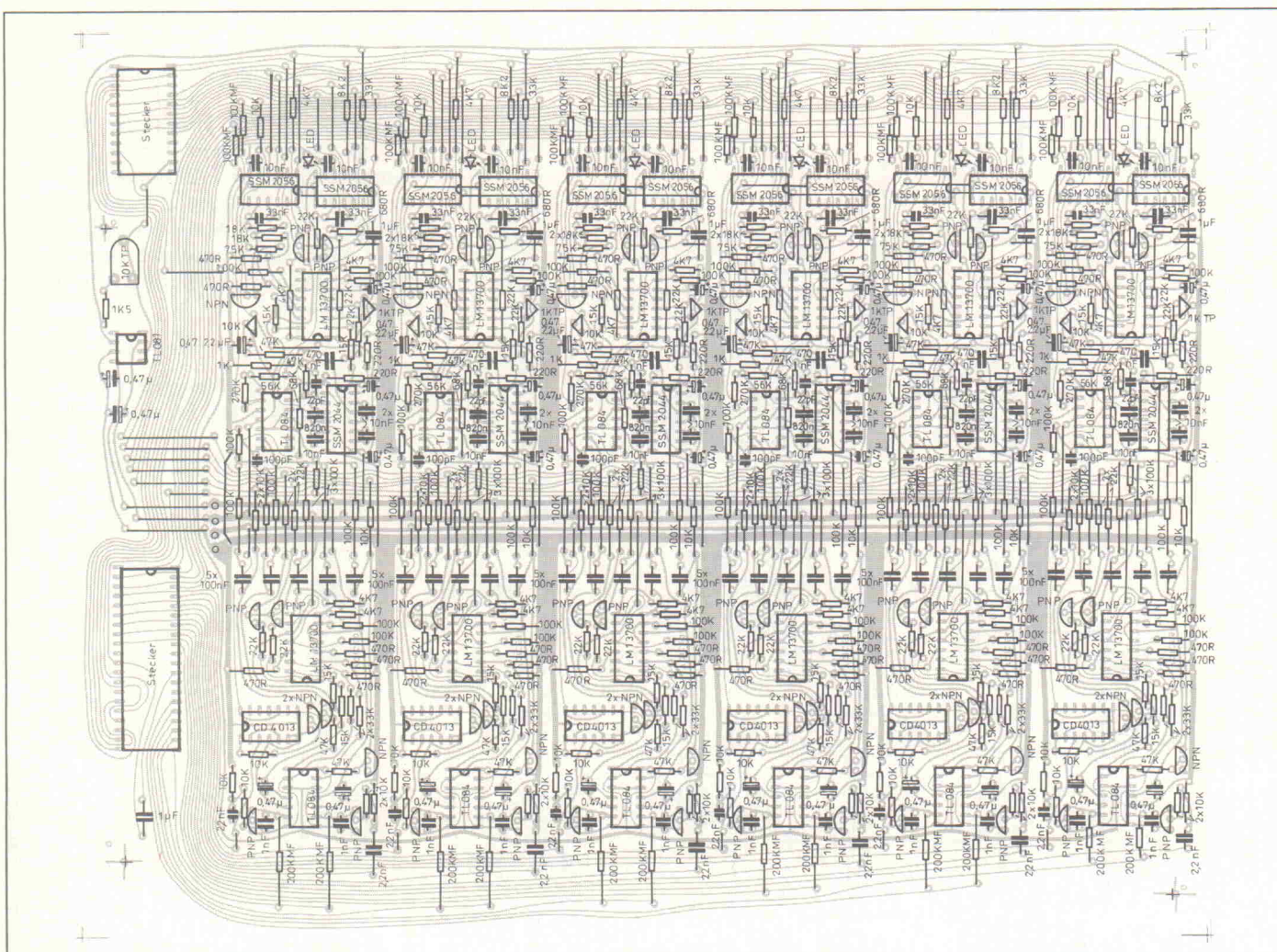


Bild 25. Schaltung für eine Voice. Insgesamt stehen sechs Stimmen zur Verfügung.



Stückliste

—Voiceboard—

Widerstände

12	220 R	
36	470 R	
6	680 R	
6	1 k	
1	1k5	
30	4k7	
6	8k2	
54	10 k	
24	15 k	
12	18 k	
42	22 k	
18	33 k	
24	47 k	
6	56 k	
6	68 k	
6	75 k	
12	100 k	Metallfilm 1%
66	100 k	

6 270 k
12 200 k, Metallfilm 1%

Kondensatoren

6 Kerkos 22 pF
6 Kerkos 100 pF
6 Kerkos 820 pF
12 Kerkos 1 nF
12 Kerkos 2n2
30 Kerkos 10 nF
12 MKT 33 n, RM 7,5 mm
30 MKT 100 n, RM 7,5 m
6 MKT 470 n, RM 7,5 m
7 MKT 1μ, RM 10 mm
38 Tantalajelos 0.47-2.2 μF/16 V

Verschiedenes

1 IC-Fassung 8 Pin
30 IC-Fassungen 14Pin
18 IC-Fassungen 18Pin

1 IC-Fassung 24Pin
1 IC-Fassung 40Pin
4 Lötnägel 1 mm rund
2,5 m Draht für Brücken

Potis

6 Trimpotus klein stehend 1 k
6 Trimpotus klein stehend 10 k
1 Trimpoti klein liegend 10 k

Halbleiter

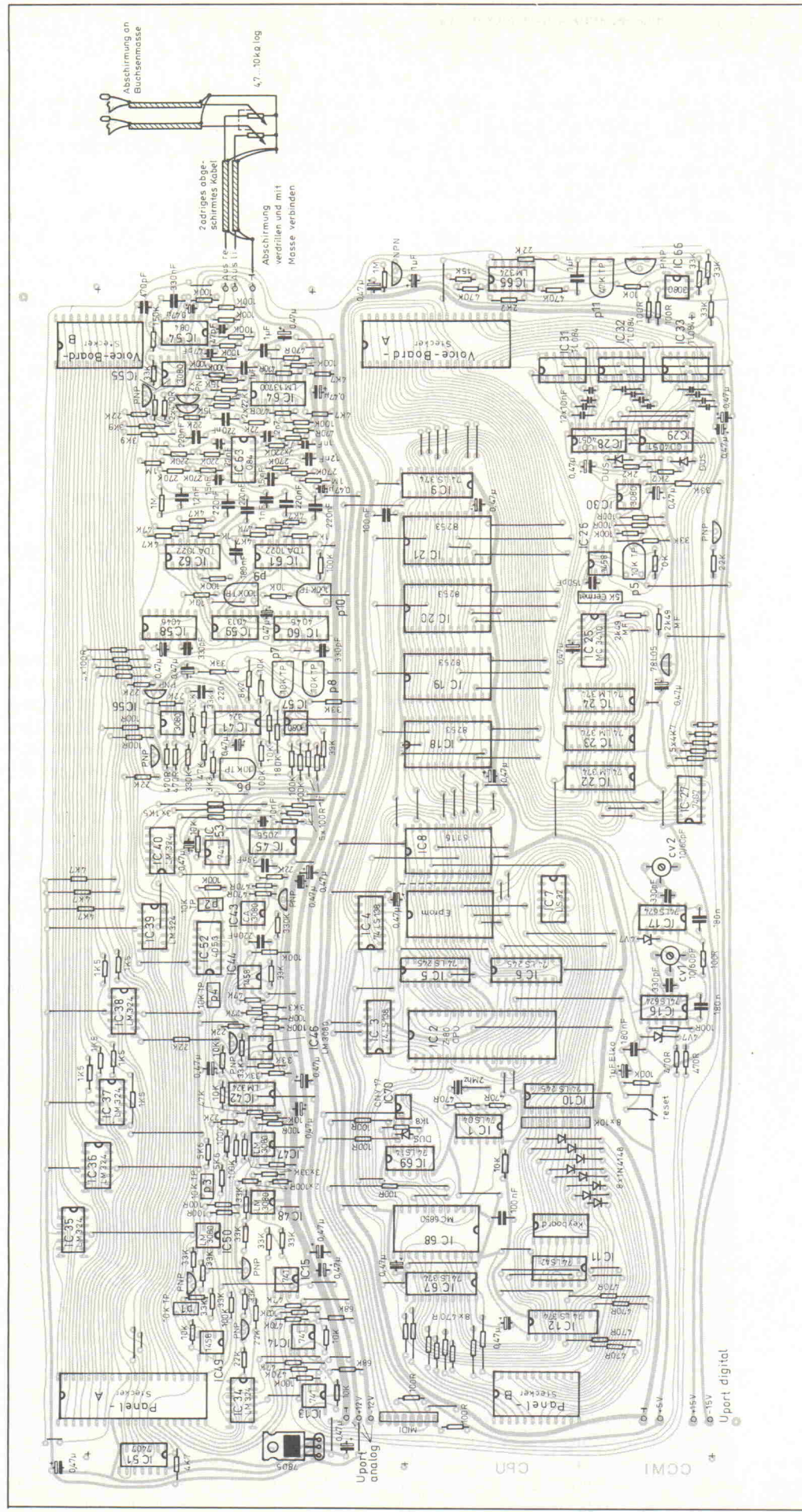
24 Transistoren BC 547 o.ä.
36 Transistoren BC 557 o.ä.
6 LEDs rot 3 mm
12 TL 084
12 LM 13700
6 CMOS 4013
12 SSM 2056
6 SSM 2044
1 TL 081

**Bild 26. Be-
stückungsplan für
das Voice-Board.**

spannungsgesteuerten Verstärker (VCA) dar. Über C18 und R 59 wird dessen Ausgangssignal an den NF-Bus gegeben. Der Offsetabgleich des OTA 3 wird an Pb durchgeführt.

Man sieht es auf den ersten Blick nicht: Die Platine Voiceboard hat über 2000 Lötstellen! Deswegen ein paar Hinweise zum Aufbau. Es sollte selbstverständ-

lich ein Lötkolben mit dünner Spitze und mäßiger Leistung verwendet werden. Alle ICs sind in Fassungen einzusetzen, welche vor der Einmeßprozedur natürlich noch nicht in die Fassun-



Stückliste —CPU-Board—

Widerstände

- 29 100 R
- 24 470 R
- 2 1 k
- 9 1,5 k
- 1 1,8 k
- 3 2,2 k
- 2 3,3 k
- 2 3,9 k
- 15 4,7 k
- 2 5,6 k
- 1 8,2 k
- 22 10 k
- 3 15 k
- 16 22 k
- 1 27 k
- 26 33 k
- 7 47 k
- 2 68 k
- 24 100 k
- 1 150 k
- 1 180 k
- 4 220 k
- 2 270 k
- 2 330 k
- 4 470 k
- 4 1 MOhm
- 2 Metallfilmwiderstände 2,49 k (2,5 oder 2,51 geht auch)

Kondensatoren

- 2 Kerkos 47 pF
- 1 Kerko 150 pF
- 2 Kerkos 330 pF
- 1 Kerko 470 pF
- 2 Kerkos 1 nF
- 2 Kerkos 1,2 nF
- 2 Kerkos 1,5 nF
- 2 Kerkos 2,7 nF
- 13 Kerkos 10 nF
- 1 MKT 39 nF, RM 7,5 mm
- 2 MKT 100 nF, RM 7,5 mm
- 3 MKT 180 nF, RM 7,5 mm
- 8 MKT 220 nF, RM 7,5 mm
- 1 MKT 330 nF, RM 7,5 mm
- 2 MKT 1 µF, RM 10 mm
- 3 Elkos 1 µF/16 V
- 31 Tantalor 0,47 µF/16 V (od. 1 µF...2,2 µF)
- 2 Trimmkondensatoren ca. 10 bis 16 pF

Bild 27. Bestückungsplan der CPU-Platine: Auch hier einige tausend Lötstellen.

Halbleiter

- 1 78 L 05
- 1 7805
- 1 CNY 17
- 6 LS 374
- 3 LS 245
- 1 LS 42
- 1 LS 14
- 1 LS 04
- 2 LS 138
- 2 LS 624 (324 geht auch, evtl. andere Kondensatoren)
- 1 LS 32
- 1 6116 RAM 2k x 8
- 2 7407
- 4 8253
- 1 6850
- 1 Z 80 A CPU
- 1 MC 3410 DAC 10 bit von Motorola
- 3 1458 oder TL 072
- 10 CA 3080 Mini Dip
- 2 CD 4051
- 1 CD 4013
- 2 CD 4046
- 1 CD 4053
- 5 TL 084
- 10 LM 324 oder natürlich TL 084
- 1 LM 13700 (13600 geht nur bedingt)
- 2 TDA 1022
- 1 SSM 2056 ADSR Generator
- 4 741
- 1 EPROM 'Keysoft'

Verschiedenes

- 1 Quarz 2 MHz kleine Ausführung
- 2 Zenerdioden 4,7 V 1/2 W
- 1 BC 547 oder Billig-NPN, da Rauschtransistor
- 12 BC 557
- 11 Universaldioden 1 N 4148 o.ä.

Trimmer

- 4 klein liegend 10 k
- 1 klein liegend 47 k
- 2 klein liegend 100 k
- 4 klein stehend 10 k

IC-Fassungen

- 1 6-Pin
- 17 8-Pin
- 24 14-Pin
- 13 16-Pin
- 9 20-Pin
- 9 24-Pin
- 3 40-Pin
- 1 Steckerleiste 1 reihig, 2,54 mm Raster, 8Pin
- 3 m Silberdraht für Brücken
- 12 Lötnägel 1 mm rund
- 1 einfacher Taster zum Einlöten
- 1 Flachbandkabel 40 Adern mit
- 2 40-Pin-DIL-Steckern, 10 cm lang
- 1 Flachbandkabel 24 Adern mit
- 2 24-Pin-DIL-Steckern, 10 cm lang

gen eingesteckt werden sollten. Die Bauteile sollten in folgender Reihenfolge eingesetzt werden: Drahtbrücken, Widerstände (werteweise), das heißt: erst alle 10 k Widerstände dann alle 15 k Widerstände usw.; Metallfilmwiderstände sind mit einem * oder mit MF gekennzeichnet. Danach alle IC-Fassungen, dann die höheren Bauteile wie Elkos, Keramik Kondensatoren, Trimmer und Leuchtdioden, zum Schluß kommen dann die Transistoren. Man kontrolliere zum Schluß sehr sorgfältig den Aufbau, denn die Spezial-ICs sind teuer. Die Trimpoties sollten noch alle in Mittelstellung gebracht werden.

Das eigentliche Herz unseres Synthesizers ist das CPU-Board. CPU-Board deswegen, weil auf ihr ein Z-80-Prozessor Mittelpunkt für alle Steuerungsaufgaben ist. Hier findet das Abfragen der Tastaturen, das Senden und Empfangen der MIDI-Daten, die Frequenzerzeugung für die Stimmen, die Ausgabe für die LED-Anzeigen des CPU-Controllers und die Erzeugung der sieben Gate-Signale statt. Ferner sind alle Analog-Eingangspuffer für die Bedienungselemente, die Masteroszillatorsteuerung, ein LFO und ein dazugehöriger Hüllkurvengenerator (ADSR) für alle Modulationsaufgaben und ein Rauschge-

nerator zu finden. Zur Klangbearbeitung findet man hier noch den Chorus und die dazugehörige Steuerung und ein Hochpaßfilter.

Auch auf dieser Platine findet man wieder um die 2000 Lötstellen. Man beginne wieder mit den niedrigsten Bauteilen, den Brücken und Widerständen. Bei den Brücken muß man auf die Software-Identifizierungsbrücke achten. Gestrichelte Brücke = Eprom 2716, durchgezogene Brücke = Eprom 2732, siehe Bild 27.

Bei 2000 Lötstellen pro Platine ist eine solche Bestückung nichts für 'mal eben zwischendurch'.

Die zwei Metallfilmwiderstände 2,5 k müssen unbedingt diesen Wert haben. Erlaubt sind 2,49 und 2,51 kOhm. Der DA-Converter wird sonst überhaupt nicht funktionieren. Jetzt sollten die IC-Fassungen folgen. Darauf alle höheren Bauelemente wie Kondensatoren, Elkos, Trimmer, Quarz und Lötnägel. Der Reset-Taster wird auf zwei Lötnägel gelötet. Es sollten keine ICs eingesetzt oder gar eingelötet sein. Alle

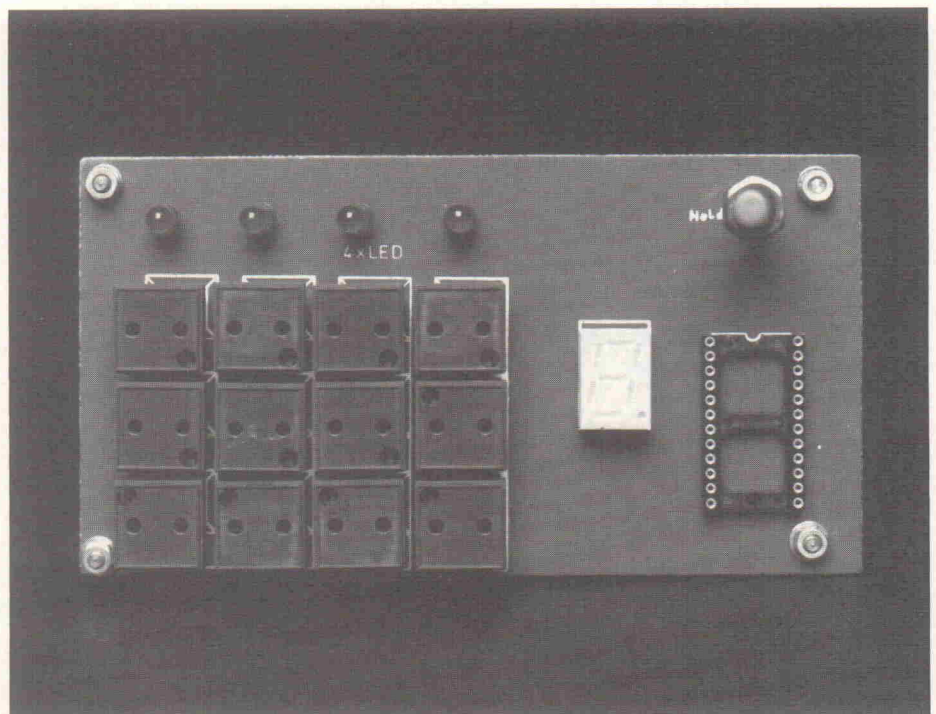
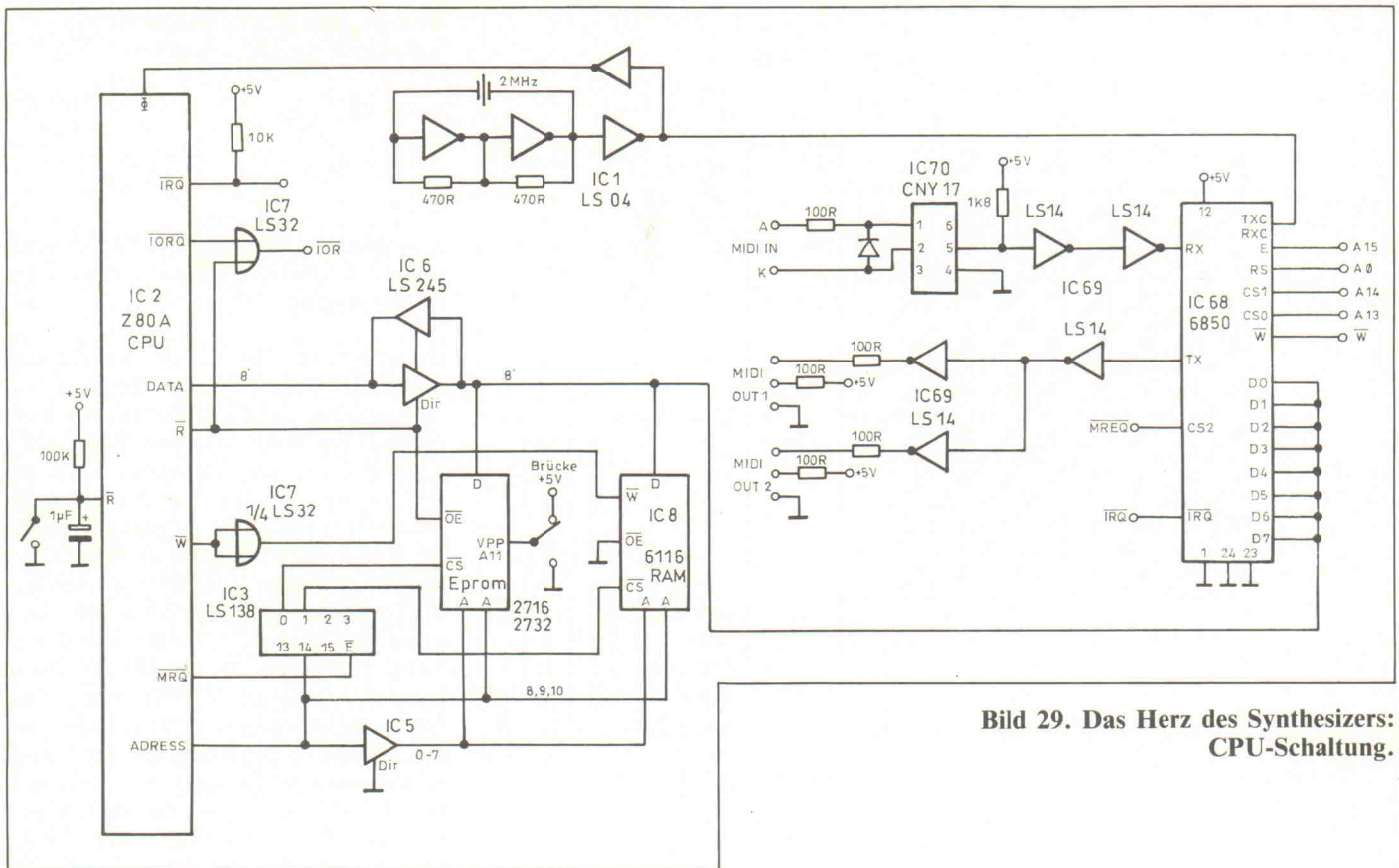
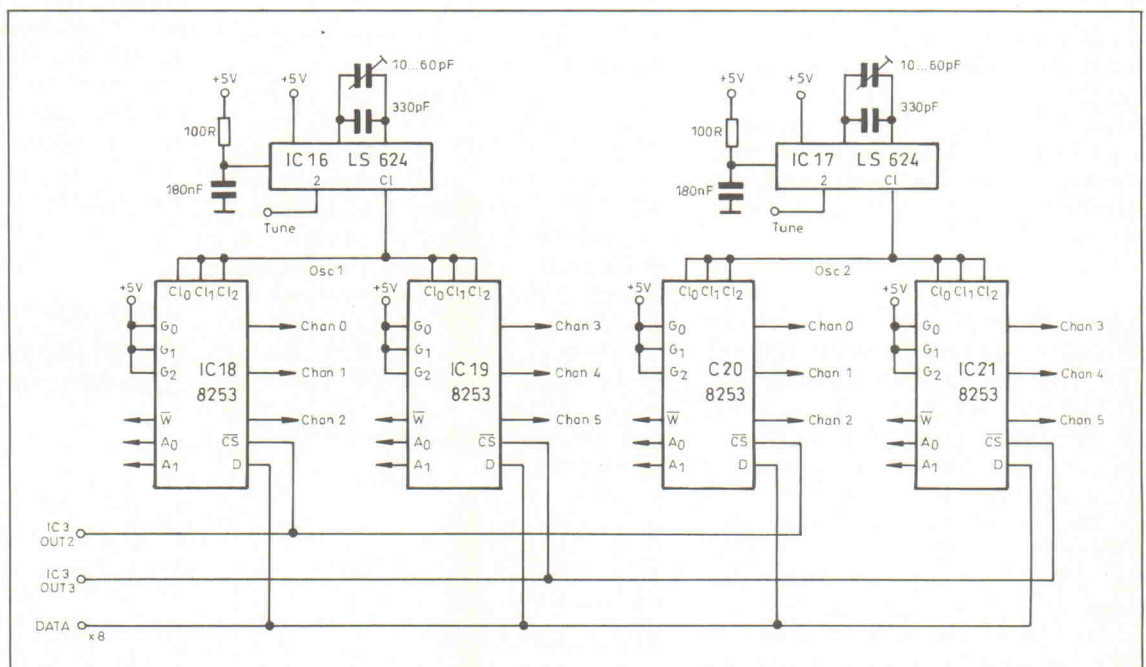


Bild 28. Ansicht des fertig bestückten CPU-Controllers, hier noch mit unbeschriftetem Tastenfeld.



**Bild 29. Das Herz des Synthesizers:
CPU-Schaltung.**

**Bild 30. Die beiden
Hauptoszillatoren.**



Trimpotis und Trimmkondensatoren werden in Mittelstellung gebracht. Zuletzt werden noch die Transistoren, Dioden und die Spannungsregler eingesetzt.

Man führe auch hier eine eingehende Kontrolle durch, da Lötzinn-Spritzer

zwischen Leiterbahnen wertvolle Bauteile zerstören können. Ebenso erschweren kalte Lötstellen die Fehlersuche.

Inbetriebnahme von CPU-Board und Voice-Board:

Zur Inbetriebnahme ist auf jeden Fall ein Netzteil, ein Keyboard und eine funktionsfähige Analogfrontplatte oder die aufgebaute und funktionsfähige Presetplatine notwendig. Ein DMM, ein Frequenzzähler und ein Oszilloskop sollten vorhanden sein. Ein

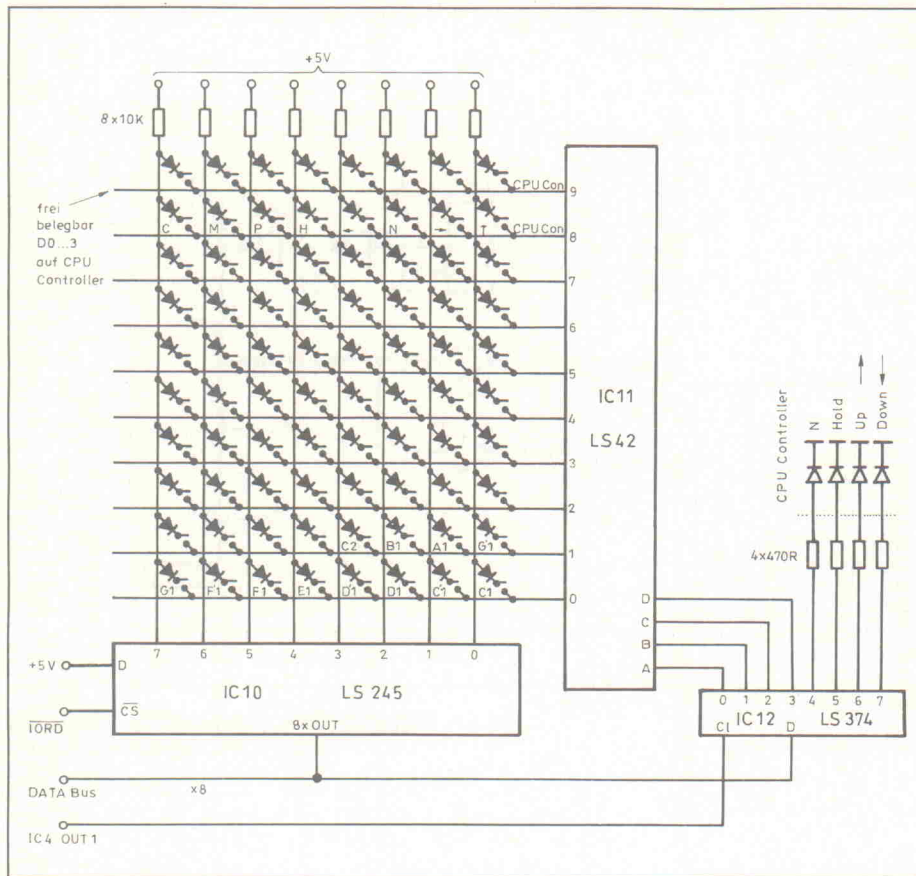


Bild 31. Die Keyboardmatrix einschließlich CPU-Controller.

Kanalzuweisung benutzt. Der Kanal, der am längsten 'erklingt', wird zuerst wieder angesprochen.

Einsetzen der ICs 13, 14 und 15 auf dem CPU-Board. Ferner muß der 'U-Port analog' des CPU-Boards mit dem Netzteil verbunden werden. Man kann jetzt an IC 13 und 14 jeweils Pin 6 ca. +2,5 V messen. IC 13 und 14 sind die Addierer für alle Master-Oszillator-Kontrollspannungen wie Tune, FM und Pitchbender. Durch den 68 k-Widerstand nach Ub erscheint am Ausgang der OP-Amps eine positive Spannung. Man setze jetzt die Master-Oszillator-ICs 16 und 17 ein. Dies sind spannungsgesteuerte TTL-Oszillatoren, deren Stimmkonstanz für diese Anwendung ausreichend ist. An Pin 6 von IC 16 und 17 müssen zwischen 2 und 2,5 MHz zu messen sein. Diese Masterfrequenz für die Counter-Timer-ICs (8253) kann mit den jeweiligen Trimmkondensatoren verändert werden. Der Abgleich ist im Abschnitt 'Stimmen der Oszillatoren' beschrieben. Man setze jetzt die ICs 18 und 19 ein. Einschalten, Reset und danach nur Keyboardtaste A3 drücken. An IC 18, Pin 10 sollten jetzt 420 bis 500 Hz zu

schrittweises Vorgehen ist unbedingt einzuhalten, da hier auch die Funktion der einzelnen Teilschaltungen deutlich wird. Bevor ein IC eingesetzt wird, muß die Stromversorgung abgeschaltet werden. Darauf wird in der folgenden Anleitung nicht jedesmal gesondert hingewiesen.

Inbetriebnahme des CPU-Boards: Nachdem man sich überzeugt hat, daß alle Trimmer in Mittelstellung ('12 Uhr') stehen, wird der 'U-Port digital' (Spannungsversorgung für den Digitalteil) mit dem Netzteil verbunden und eingeschaltet. Die Spannungen sind nochmals nachzumessen. Der CPU-Controller wird jetzt über das zugehörige Flachbandkabel mit dem CPU-Board verbunden. Jetzt wird IC 1 eingesteckt (Die Lage der ICs und der Abgleichelemente entnimmt man dem IC-Plan). An Pin 6 von IC 1 sind jetzt 2 MHz \pm 500 Hz zu messen.

Zum weiteren Test benötigt man jetzt ein aufgebautes Voice-Board. Auf diesem sollte kein IC eingesteckt sein. Das Voice-Board (im weiteren Text kurz 'VB' genannt) wird mit dem Netzteil verbunden. Die räumliche Anordnung

der Platinen entnimmt man dem Endverdrahtungsplan. Man steckt aber nur (!) die Leitung 'Voice-Board-Connector-A' ein. VB Connector B bleibt offen. Auf dem CPU-Board werden die ICs 2 bis 12 und das Eprom 'Keysoft' eingesteckt. Das Keyboard wird an den Keyboard-Connector angeschlossen. Jetzt kann eingeschaltet werden. Beim Einschalten können die Gate-LEDs auf dem VB kurz aufleuchten. Reset kurz drücken. Die folgenden Keyboardtasten müssen jetzt nacheinander gedrückt werden. Dazu muß auch die zugehörige Kanal-LED (Gate) aufleuchten.

- C1 = Kanal 0
- D1 = Kanal 1
- E1 = Kanal 2
- F1 = Kanal 3
- G1 = Kanal 4
- A1 = Kanal 5
- H1 = Kanal 6

Die Nummern der Kanäle stehen auf der Lötseite des VB. Aus dieser Zuordnung kann man den Algorithmus erkennen, welchen der Rechner für die

Auch die Inbetriebnahme der Platinen geschieht 'Scheibchen-weise'.

messen sein. Danach Einsetzen von IC 20 und 21. Wieder Reset und A3 drücken und an IC 20, Pin 10 wiederum 420 bis 500 Hz messen. An der leeren IC-Fassung von IC 25 mißt man an Pin 16 +5 V. Danach können die ICs 22, 23, 24, 25 und 26 eingesteckt werden. Der Schleifer des Trimmers P5 sollte auf '12 Uhr' stehen.

Um den Digital-Analog-Wandler genau einstellen zu können, ist ein Testprogramm aufrufbar. Man drückt dazu am CPU-Controller

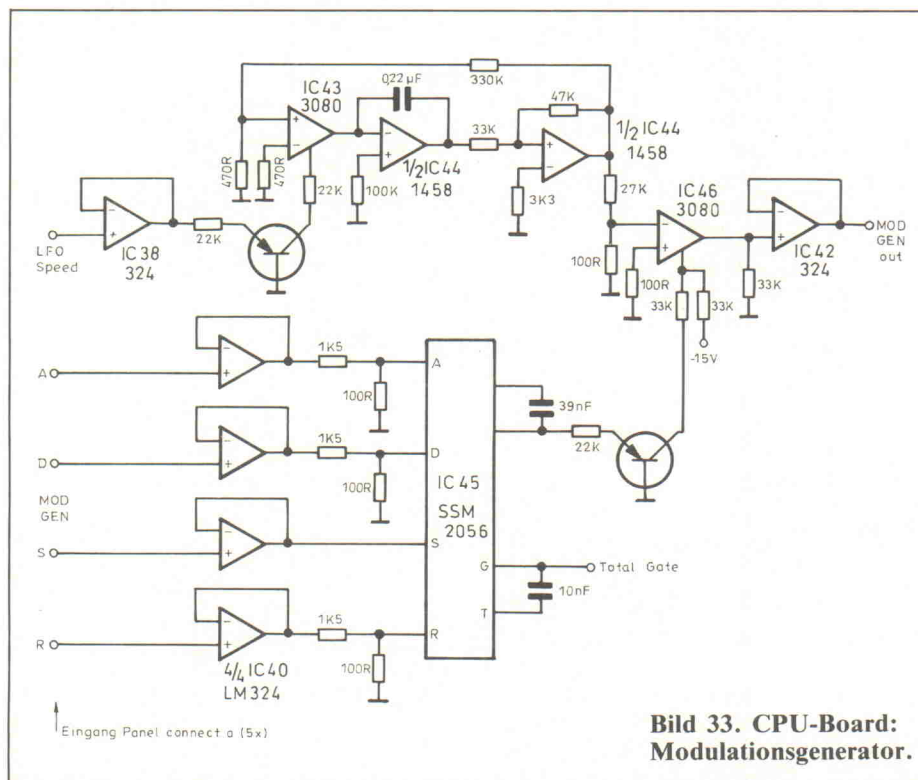
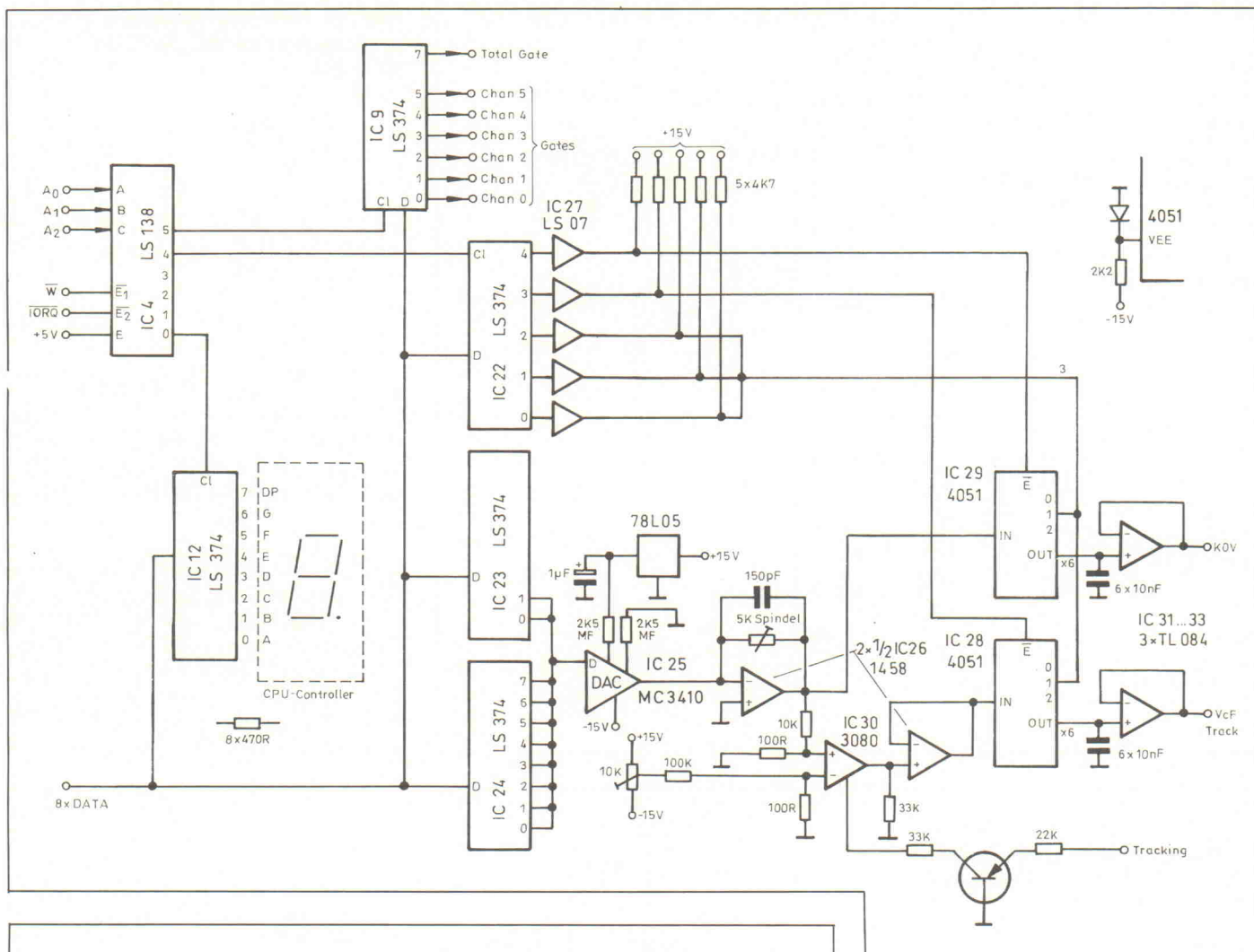


Bild 32. CPU-Board: Digital Output und analoger MUX.

den Knopf 'Tune' und kurz den Reset-Taster. Der Rechner befindet sich jetzt im Testmodus. Dies ist an der Z80-CPU (IC 2) an Pin 18 mit dem Logikprüfer etc. feststellbar. Hier ist eine logische 0 zu messen. Der Rechner gibt an die Latches des DAC IC 23 und 24 jeweils FFH aus. An IC 26, Pin 1 stellt man mit dem Spindeltrimmer sehr genau +10,00 V ein. Um aus dem Testmodus wieder auszusteigen, drückt man einfach 'Reset'.

Einstecken der ICs 27 bis 33. Hier können keine einfachen Messungen vorgenommen werden, weil es sich um die Multiplexsignale für die Sample & Holds handelt. Die S & H-Stufen sind

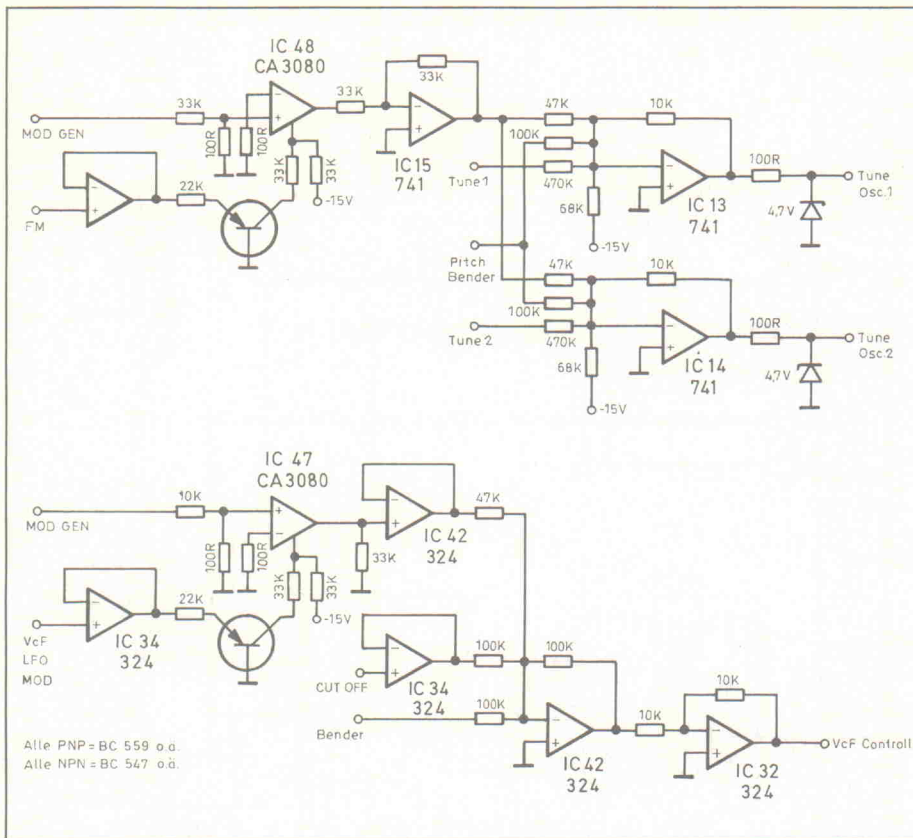
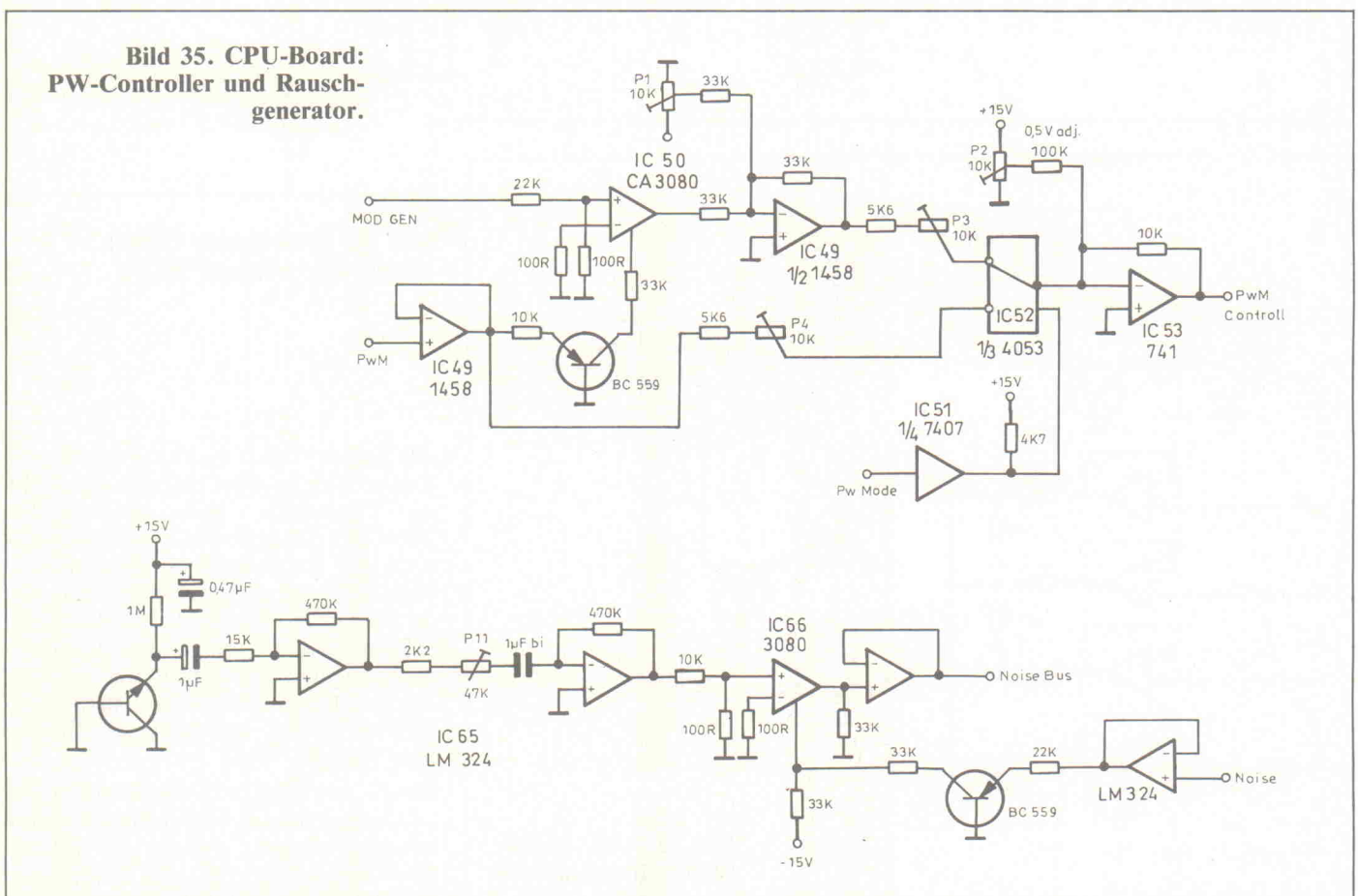


Bild 34. CPU-Board: Kontrollspannungserzeugung für FM und VCF.

um die ICs 31...33 aufgebaut. Sie speichern für einen kurzen Moment eine zugeteilte Spannung. Diese Spannungen sind die KOV und die Filtertracking-Spannung für jeden Kanal.

IC 30 ist der Verstärker für die Nachführspannung des Keyboards für die Filter (Tracking). Zum Abgleich der Offsetspannung des OTAs wird Para-Tracking auf Höchstwert gestellt. Außer 'Reset' wird keine andere Keyboardtaste gedrückt. An IC 32, Pin 1 wird mit P5 genau 0 V eingestellt.

Bild 35. CPU-Board: PW-Controller und Rauschgenerator.



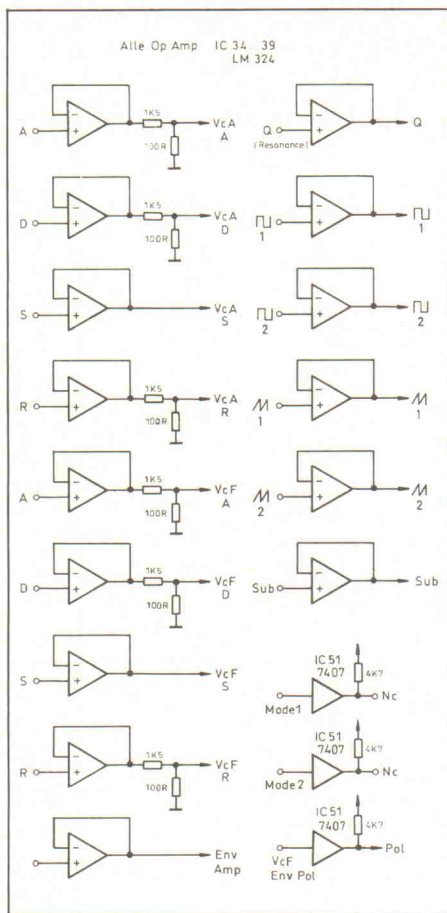


Bild 36. Pufferstufen der Analogspannungen.

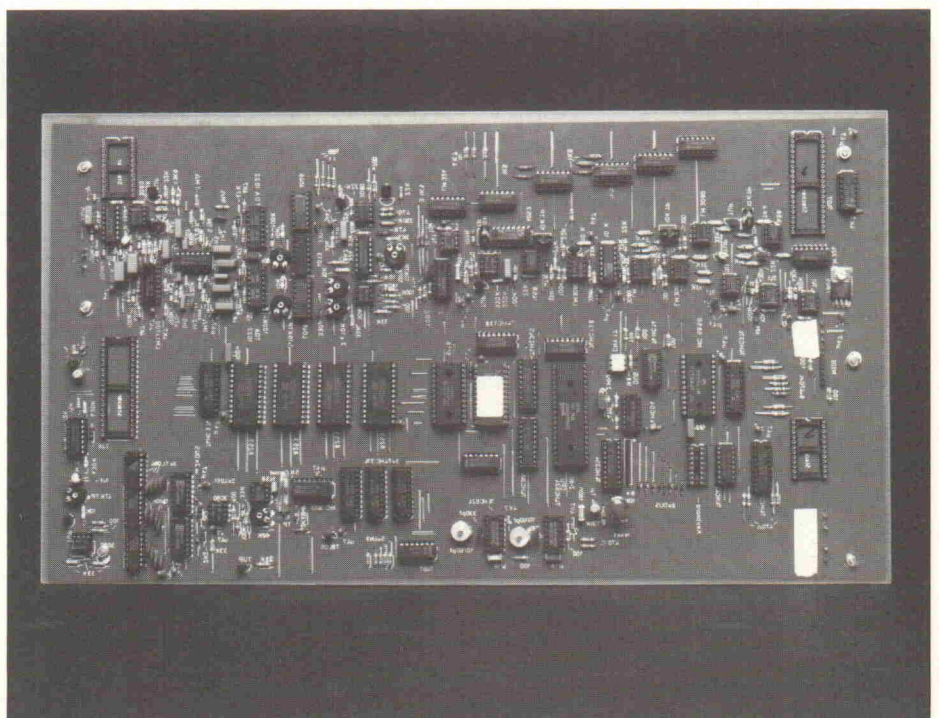
An IC 45, dem Hüllkurvengenerator für den MG, muß an Pin 6 eine logische 1 bei 'Keyon' ankommen. Dies ist das sogenannte Total-Gate: Gleich welche Keyboardtaste man drückt, hier wird zu jedem Kanalgate immer ein Totalgate erscheinen, um den Hüllkurvengenerator zu triggern. Jetzt muß IC 45 eingesetzt werden. Mit dem Oszi ($Y=2\text{ V}$) kann man je nach den Paras MG, ADSR und Keyon eine Hüllkurve sehen ($+U_{\text{max}} = 5\text{ V}$). Einsetzen von IC 46. Dieser OTA ist der Verstärker für das Hüllkurvensignal des MGs. Man mißt an dessen Puffer IC 42, Pin 1 bei Keyon die Dreieckswelle des LFOs mit dem ADSR des MGs moduliert. Man stellt dazu Para LFO-Speed auf ca. 5 Hz. Die Dreieckswelle hat eine Amplitude von ca. 8 Vss. Einsetzen der ICs 47 und 48. Bei Keyon und Para VCF LFO MOD auf Höchstwert kann man am IC 42, Pin 14 ca. 8 Vss Dreieck messen. Hier wird das LFO-Signal dem Filteraddierer zugeführt. Jetzt fehlt noch die Einstellung

der FM. Bei Keyon und Para FM auf Höchstwert mißt man an IC 15, Pin 6 ca. 2 Vss Dreieck. Einsetzen der ICs 49 bis 53. Man prüft, ob sich beim Ändern von Para PW MODE der Pegel an IC 52, Pin 9 von 0 auf +15 V verändert. 0 V an Pin 9 bedeutet manuelles Einstellen der Pulsweite (PW). Man stelle Para PWM und PW Mode auf 0 und stelle mit P2 an IC 53, Pin 6 eine Spannung von -0,5 V ein. Jetzt wird Para PWM auf Höchstwert gestellt. Mit P3 stellt man am obigen Meßpunkt eine Spannung von -7 V ein. Danach stellt man Para PW MODE auf 1. Para PWM bleibt auf Höchstwert. Bei Keyon und einer langsam verlaufenden Hüllkurve der MGs (volles Sustain, kein Attack) stellt man mit P4 am gleichen Meßpunkt eine Dreiecksspannung von 5 Vss ein. Die Frequenz des LFOs beträgt ca. 5 Hz. Danach 'rückt' man diese Welle mit P1 in den Bereich von -0,5 V bis -5,5 V.

Jetzt verbindet sich die Inbetriebnahme von CPU- Board und Voice-Board miteinander. Man überzeuge sich, ob auf dem VB alle Trimpotis in Mittelstellung sind. Danach kann das VB mit dem Voice-Board-Connector B mit dem CPU-Board verbunden werden. Um eine deutliche Unterscheidung des VBs zum CPU-Board zu haben, wurden alle ICs des VB mit Buchstaben bezeichnet. Auf dem Bestückungsdruck

Für den weiteren Abgleich muß ein Panel zur Verfügung stehen. Man verbinde also das Vorhandene mit dem Panel-Connector-A. Bitte noch einmal die Erklärung 'Parameter' in der Begriffserläuterung lesen! Einstecken der ICs 34 bis 44. Man mißt an IC 44, Pin 1 eine symmetrische Dreiecksspannung mit $U_{\text{ss}} 20\text{ V}$. Diese Spannung muß mit Parameter (Para) 'LFO Speed' von einer Schwingung in 30 Sekunden bis ca. 10 Hz einstellbar sein. Bei Para LFO-Speed = 0 reißt die Schwingung ab. Um IC 43 und 44 ist der Modulationsgenerator aufgebaut.

Bild 37. Die bestückte CPU-Platine.



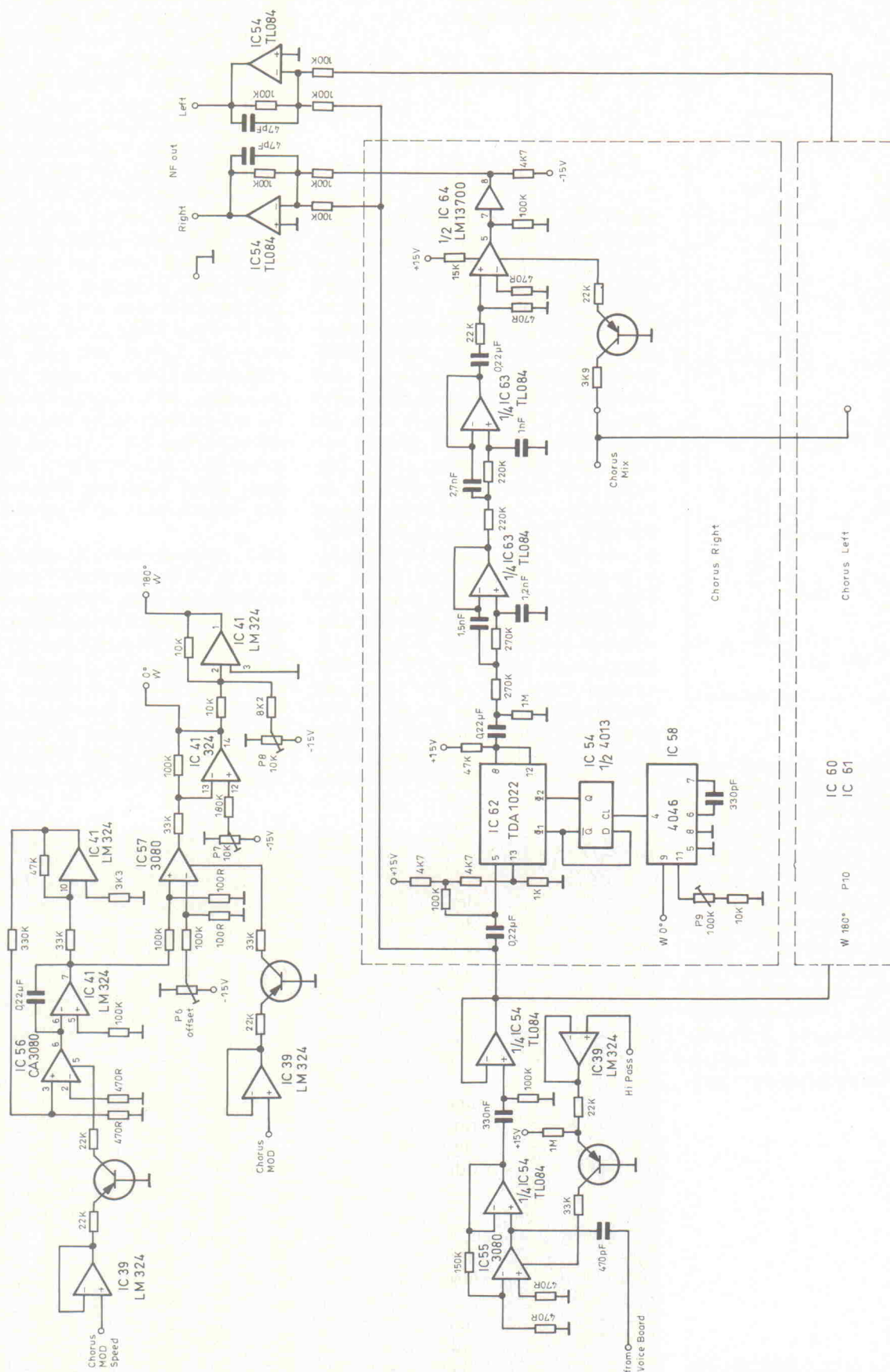


Bild 38. CPU-Board: Hochpaß, Chorus mit Eimerkettenspeicher, NF-Ausgang.

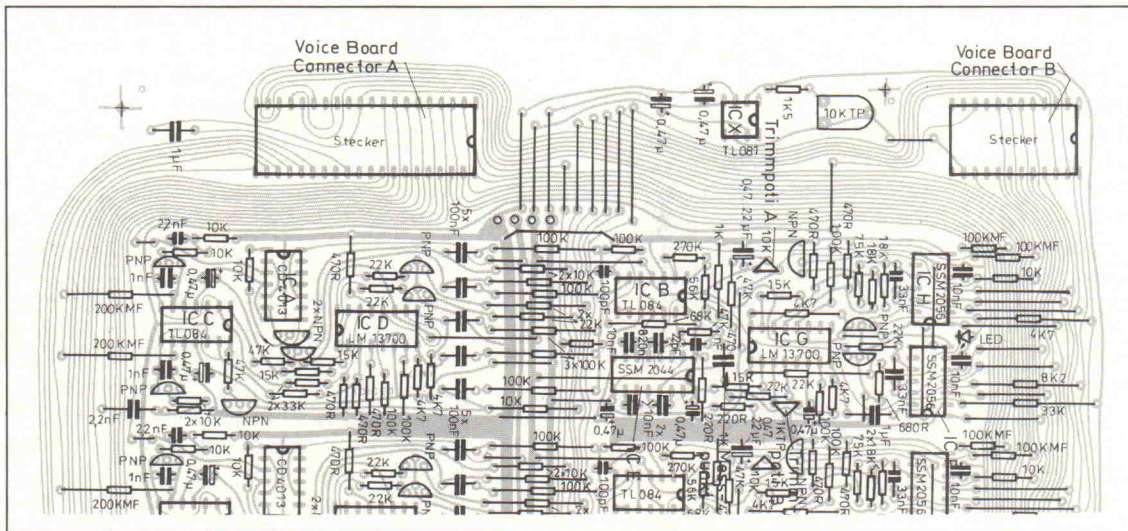


Bild 39. IC-Bestückungsplan für eine Stimme.

der Platine sind die Typenbezeichnungen aufgedruckt. Auf der Zeichnung 'IC-Plan des Voice-Boards' sind die Bezeichnungen A bis H ergänzt.

Alle ICs A werden eingesteckt. IC A ist ein rückgekoppeltes D-Flip-Flop (4013). Diese Konfiguration ist der SUB-Oszillator. Einschalten, Reset und sechs beliebige Keyboardtasten drücken. Jetzt wird mit dem Oszi die Frequenz an Pin 2 und 3 des IC A verglichen. Das Rechtecksignal an Pin 2 hat die halbe Frequenz von Pin 3 bei einer Amplitude von 5 V. Man führe diese und alle folgenden beschriebenen Messungen selbstverständlich in jedem Kanal aus !!

Alle ICs B einstecken (TL 084). IC B stellt den Signaladdierer für alle Signalspannungen, den Filteraddierer und den Filterpuffer dar. Einschalten, Reset und wiederum sechs beliebige Keyboardtasten drücken. An IC B, Pin 7 ist ein symmetrisches Rechtecksignal zu sehen, dessen Amplitude mit Para SUB von 0 bis 5 V einstellbar ist.

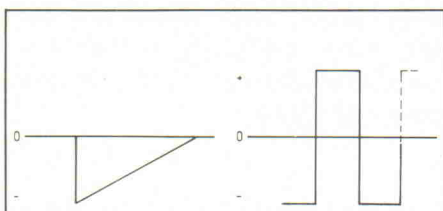


Bild 40. Typische Signale an IC 'C'.

Alle ICs C einsetzen (TL 084). Dieser Vierfach-OpAmp bildet den DCO. Eigentlich ist dies aber nur der Signalformer für beide Oszillatoren, bestehend aus Differenzierer/Integrierer. Weiter findet man einen Komparator mit veränderbarer Schaltschwelle, der die Rechteckwelle produziert. Wiederum einschalten, Reset und sechs beliebige Keyboardtasten drücken. An Pin 7 und 8 von IC C ist eine Sägezahnwelle mit einer Amplitude von -10 bis -14 V zu sehen. An Pin 1 und 14 steht eine Rechteckwelle mit einer Amplitude von 30 Vss zur Verfügung. Mit den Para PWM kann die Pulsweite des Rechtecks im musikalisch sinnvollen Bereich verändert werden.

Alle ICs D einsetzen (LM 13700). Dieser Dual-OTA ist der spannungsgesteuerte Verstärker für die Sägezahnwelle. An IC B, Pin 7 kann nun ein Mischprodukt aller Wellenformen mit dem Oszi gesehen werden. Die Amplituden der einzelnen Wellenformen sind mit den Para Rechteck 1 und 2, Sägezahn 1 und 2 und SUB einzustellen: Die Amplituden betragen ca. 5 Vss (bei Sägezahn etwas mehr). Zu beachten ist, daß sich bei Verändern der Pulsweite das Rechtecksignal im Niveau zur Null-Linie hebt oder senkt.

Alle ICs E einsetzen. Dieses IC SSM 2044 ist ein integriertes 24 dB/Okt Tiefpaßfilter mit einstellbarer Resonanz. Die Parameter CUT OFF auf Höchstwert, Sägezahn und Rechteck 1 und 2, Resonanz und Tracking auf Null. Die Eingangsschaltung des Oszillographen muß auf AC geschaltet wer-

den. Am Meßpunkt (470 nF Kondensator siehe auch Bild 'IC Plan des VBs') muß ein symmetrisches Rechtecksignal mit einer Amplitude von Uss 5 V zu sehen sein. Wenn Para CUT OFF langsam auf 0 verändert wird, nimmt das Rechteck immer mehr eine Sinusform an. Dies ist nur eine Funktionsprüfung, der Abgleich erfolgt später.

Alle ICs F einstecken (SSM 2056). IC F ist ein Hüllkurvengenerator, wie er auch auf dem CPU-Board im MG (IC 45) vorkommt. Jeder Kanal hat zwei solcher Hüllkurvengeneratoren: einen für den Lautstärke-Verlauf und den anderen für die Modulation des Filters. IC F ist der ADSR für den spannungsgesteuerten Verstärker (VCA). Hier muß jetzt jeder Kanal ganz individuell bei 'Keyon' geprüft werden. Zuerst wird etwa folgende Hüllkurve mit den Para ADSR des Amplifiers eingestellt. Attack 40, Decay beliebig, Sustain 99 und Release 60. Einschalten und Reset drücken. Bei irgendeiner Keyboardtaste wird die LED des Kanals 0 aufleuchten und an Pin 10 des dazugehörigen ICs wird eine Hüllkurve zu sehen sein. Jetzt wird die nächste Keyboardtaste gedrückt. Bei Kanal 1 wird an IC F die gleiche Hüllkurve zu messen sein. Die weiteren Kanäle werden sinngemäß gleich überprüft.

IC X (TL 081) einsetzen. Für diesen Typ kann auch noch ein rauschärmerer Operationsverstärker eingesetzt werden. Trimpoti bei IC X unbedingt auf Mittelstellung.

Auf dem CPU-Board werden jetzt IC 54 und IC 55 eingesetzt. Hier befinden sich das Hochpaßfilter und die Stereoausgangs-Addierer. Man verschaltet den Ausgang zum Abhörverstärker (Stereoanlage, Mixer etc.) laut Bild 'NF-Ausgang'. Die Ausgangsklinkenbuchsen dürfen keine Masseverbindung zum Gehäuse haben. Den Lautstärksteller bitte auf kleinstmöglichen Wert, sonst können die Lautsprecher Schaden nehmen. Para HIPASS auf 0 und Para SÄGEZAHN 1 und CUTOFF auf Höchstwert. Jetzt wird noch IC G eingesteckt (LM 13700). Dessen zwei OTAs bilden die Verstärker für Lautheit und Filtermodulation; tief durchatmen und einschalten, die ersten Töne müssen jetzt hörbar sein. Man probiere, ob alle Kanäle ansprechen und ob eine Verzerrung beim Drücken mehrerer Keyboardtasten entsteht. Wenn dies der Fall sein sollte, kann durch Verringern des Verstärkungsfaktors mit dem Trimpoti bei IC X Abhilfe geschaffen werden. IC H einstecken (SSM 2056). Dieser Hüllkurvengenerator wirkt auf das Filter. Mit den Paras Filter ADSR kann dem Filter ein dynamischer Klangverlauf gegeben werden. Mit Para ENV wird die Wirkung der Filterhüllkurve auf das Filter eingestellt. POL(-arity) wird die Filterhüllkurve invertieren. Mit CUTOFF wird die Eckfrequenz des Tiefpaßfilter eingestellt und mit Para RES(-onanz) wird ein enger Frequenzbereich um die Eckfrequenz angehoben, so daß ein obertonreicherer Klang entsteht. Bei überhöhter Resonanz wird das Filter selbst schwingen.

Abgleicharbeiten am Voice-Board:

○ Gleichspannungsoffset des VCA
Man stelle die Paras Rechteck und Sägezahn 1 und 2, SUB, Noise und Amplifier ADR auf 0. Amplifier S wird auf Höchstwert eingestellt. Reset drücken. Man drücke eine Keyboardtaste. Im Lautsprecher hört man ein Einschaltknacken. Der Kanal, dessen Gate-LED leuchtet, wird mit Poti B und mehrmaligem Drücken der zugehörigen Keyboardtaste auf minimalen 'Knack' eingestellt. Man prüfe auf diese Weise alle Kanäle.

○ Ein weiterer Fehler, der dem ungeübten Spieler und Hörer erst nach einer Weile auffallen wird, entsteht durch erhebliche Bauteildifferenzen des LM 13700. Dieser OTA ist hier als

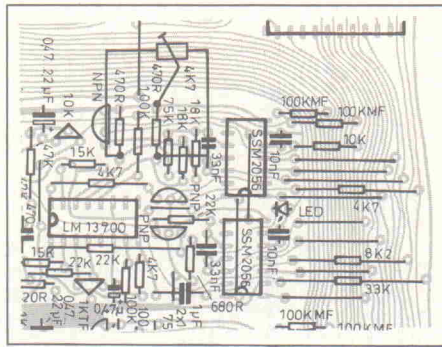


Bild 41. Kompensationsschaltung für den LM 13700.

IC G unter anderem der Verstärker für die Modulation des Filters durch den Filterhüllkurvengenerator. Dieser Fehler macht sich durch unterschiedliche Cutoff-Frequenzen der einzelnen Kanäle bemerkbar. Wenn dies beim Spielen stört, kann ein Trimpoti 4,7 kΩ. Bild 41 in jeden Kanal eingelötet werden. Man verwende eine kleine liegende Ausführung. Man stellt den Schleifer in Mittelstellung und Para ENV auf Höchstwert. Mit dem DMM stellt man an IC G, Pin 12 an allen Kanälen (so gut es geht) 0 V ein.

○ Frequenzoffset der Tiefpaßfilter
Paras Rechteck und Sägezahn 1 und 2, ENV, RES, TRACKING und NOISE müssen auf 0 gestellt werden. SUB auf Höchstwert und CUTOFF auf 1/5 also ungefähr 20. Das Oszilloskop steht in Stellung AC. Reset und danach C1 drücken. Kanal 0 ist jetzt aktiv. Am Meßpunkt (470 nF-Kondensator) jetzt mit Poti A ungefähr einen Sinus einstellen. Jetzt wird die Taste C #1 gedrückt und Kanal 1 wie beschrieben abgeglichen. Weiter mit D1, D#1, E1 und F1. Jetzt wird Para SUB auf 0 und Para Sägezahn 1 auf 60 eingestellt. Mit Para CUTOFF einen obertonarmen Klang (also flötenartig, hohl) einstellen. Wenn jetzt im Bereich von ein bis zwei Oktaven gespielt wird, darf sich dieser Klang nicht wesentlich verändern. Klingt ein Kanal heller oder dunkler, wird Poti A nachgestellt.

Hier sind jetzt alle Arbeiten am VB beendet. Die Abgleichvorgänge können nach einiger Zeit nochmals gemacht werden, da Wärme und Einbrennvorgänge den Klang doch verändern können.

Es geht weiter auf dem CPU-Board. Die ICs 56 und 57 werden eingesteckt. An IC 41, Pin 7 ist eine Dreiecksspannung von Uss 20 V zu messen. Mit Para Chorus Modulation Speed ist die Frequenz einstellbar. Dieser Schaltungsteil ist der Modulations-LFO des Chorus: Man stelle jetzt Para Chorus MOD auf Höchstwert. Mit Poti P6 wird an IC 57, Pin 6 die Lage zur 0-Linie exakt symmetrisch eingestellt. Die Amplitude beträgt hier ca. 2Vss. Para Chorus MOD wieder auf 0. Mit dem DMM wird an IC 41, Pin 14 gemessen. Mit P7 wird +7,5 V eingestellt. Man mißt nun am IC 41, Pin 1 und stellt mit P8 ebenfalls +7,5 V ein. Jetzt werden die ICs 58 bis 60 eingesetzt. Man messe an IC 59, Pin 1 und stelle mit P9 eine Frequenz von ca. 30 kHz ein. An Pin 13 wird mit P10 eine Frequenz von 35 kHz eingestellt. Dies ist die Abtastfrequenz für die zwei Verzögerungsleitungen, die das Kernstück des Stereochorus bilden. Eimerkettenspeicher wie der TDA 1022 produzieren ein erhebliches Eigenrauschen. Dazu kommt das Quantisierungsrauschen, welches beim Abtasten des Analogsignals entsteht. Um dies etwas zu mildern, ist um IC 63 ein 24 dB-Tiefpaßfilter aufgebaut. Um IC 65 und 66 ist der Rauschgenerator aufgebaut. Hier wird das Eigenrauschen eines Transistors verstärkt. Mit P11 kann an IC 65, Pin 7 eine Rauschamplitude von ca. 8 Vss eingestellt werden. Sollte dieser Wert nicht erreicht werden, kann ein anderer Billigtyp NPN als Rauschquelle eingesetzt werden. Dadurch kann sich auch die Klangfarbe des Rauschsignals ändern. Tip: Transistorfassung einlöten und experimentieren (Lohnt sich!). An IC 65, Pin 8 kann die Rauschspannung in Abhängigkeit von Para NOISE gemessen werden.

Ein Fehler, der dem ungeübten Spieler und Hörer erst nach einer Weile auffallen wird, entsteht durch erhebliche Bauteildifferenzen des LM 13700.

Jetzt wird das Latch für die Sieben-Segment-Anzeige des CPU-Controllers IC 67 eingesetzt. Auf der CPU-Controllerplatine leuchtet nach Einschalten der Buchstabe C. Durch gleichzeiti-

ges Drücken der Taste Tune und einer Keyboardtaste kann die Gesamtstimmung des Synthesizers in Halbtonschritten nach oben verändert werden. Der Dezimalpunkt in der Anzeige bedeutet Kreuz (z.B. F #, G # usw).

Die ICs 68 bis 70 bilden die MIDI-Schnittstelle. Der 6850 ist ein UART (Universal Asynchron Receiver Transmitter). Der Optokoppler IC 70 trennt die ankommenden Signale galvanisch vom Sender. Einen einfachen Funktionstest und die Verdrahtung entnimmt man dem Kapitel MIDI.

Das Stimmen des Synthesizers beschränkt sich auf den Abgleich der zwei Masteroszillatoren IC 16 und 17. Bevor mit der Arbeit begonnen wird, sollte das Gerät schon geraume Zeit eingeschaltet sein, um thermische Ungenauigkeit zu vermeiden. Man sollte in jedem Fall in dieser Reihenfolge vorgehen: Die Tune Potis auf der Frontplatte sollten genau auf Mittelstellung (12 Uhr) stehen, Para Rechteck 1 und 2, SUB, Sägezahn 2 und Noise auf 0 stellen. Sägezahn 1 auf ungefähr 60. Einschalten und Reset drücken. Jetzt muß die Keyboardtaste A3 gedrückt und der gehörte Ton mit einer Stimmgabel oder mit einem Fre-

quenzzähler auf 440 Hz abgeglichen werden. Dies geschieht mit dem Trimmkondensator CV 1 neben IC 16. Man arbeite nicht mit einem Metallschraubendreher, sondern mit einem Abgleichbesteck oder mit einem zu rechtgefeilten Kunststoff-Löffel etc.. Jetzt wird Para Sägezahn 2 ebenfalls auf 60 eingestellt. Mit CV 2 solange stimmen, bis Schwebungsnull (Frequenzgleichheit) eintritt. Mit den Tune-Potis auf der Frontplatte können die Oszillatoren untereinander verstimmt werden. In gewissen Grenzen kann hier auch ein Angleich an andere Instrumente vorgenommen werden. Der Einstellbereich ist ± 1 Halbton.

Sollte durch Bauteiledifferenzen nicht auf 440 Hz gestimmt werden können, so kann der 330 pF-Kondensator neben dem jeweiligen Oszillator-IC in 270, 300, 360 oder 390 pF umgewandelt werden. Es empfiehlt sich aber nicht, einen größeren Trimmkondensator einzusetzen. Der Vorgang des Stimmens ist nach einigen Betriebsstunden zu wiederholen.

An den Synthesizer können zwei Pedale (Fußtaster) angeschlossen werden. Die Pedale sind die Steptaste und die Holdtaste in Pedalausführung. Die jeweilige Beschrei-

Nach einigen Betriebsstunden ist der Synthesizer erneut abzugleichen.

bung entnimmt man der Begriffserklärung oder dem jeweiligen Kapitel. Die Anschlüsse der Pedale werden vorzugsweise an der Geräterückseite mit DIN-Würfelmuchsen (Kopfhörerbuchse) vorgenommen. Dies ist wichtig, um eine Verwechslung mit den MIDI-Buchsen zu vermeiden. Als Fußtaster kann jede käufliche oder selbstgebaute Ausführung Verwendung finden, da die Tasten softwaremäßig entprellt werden.

Der NF-Ausgang ist die 'Stereo-schnittstelle' zur Außenwelt. Die Lautstärkepotis werden auf der Frontplatte oder gegebenenfalls auf dem sogenannten 'Left-Hand-Controller' montiert, das ist die

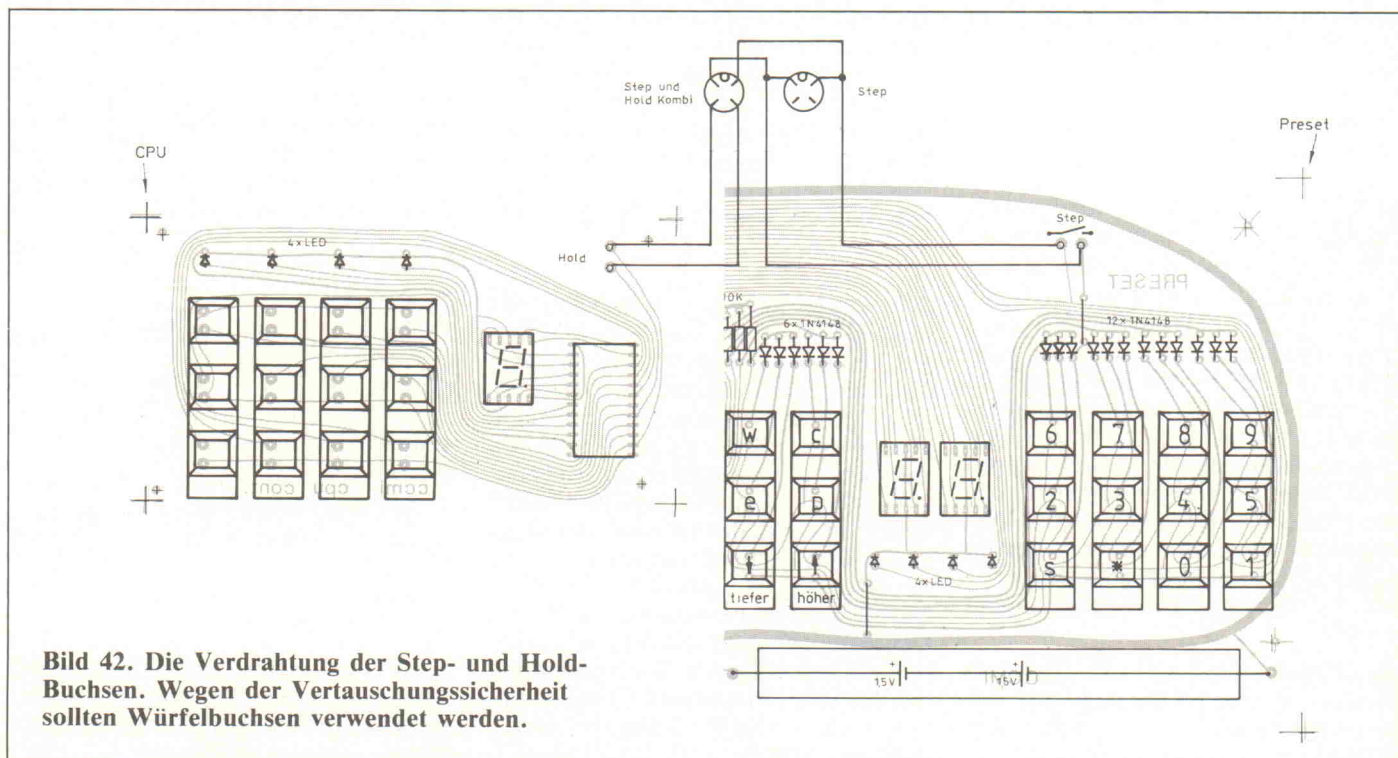
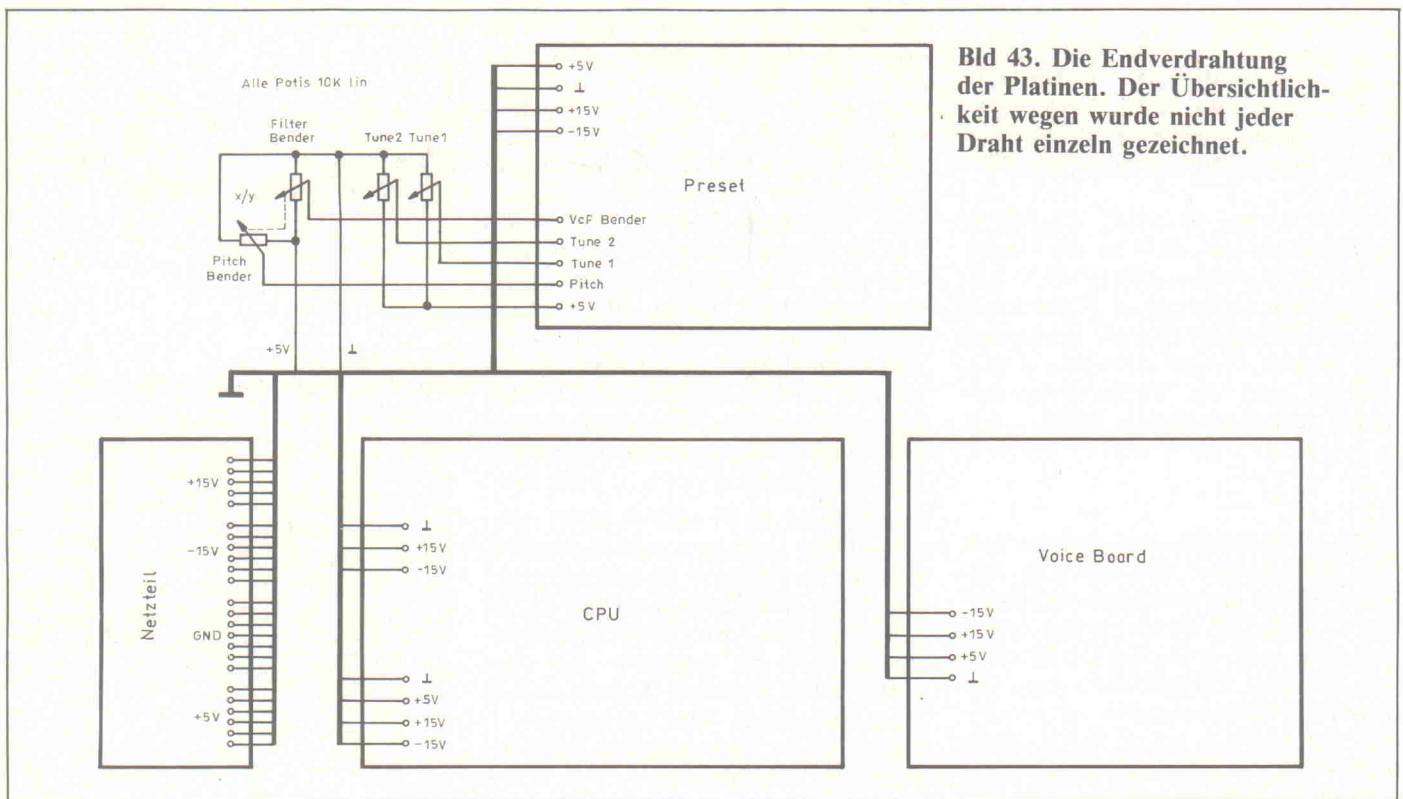


Bild 42. Die Verdrahtung der Step- und Hold-Buchsen. Wegen der Vertauschungssicherheit sollten Würfelmuchsen verwendet werden.



Bld 43. Die Endverdrahtung der Platinen. Der Übersichtlichkeit wegen wurde nicht jeder Draht einzeln gezeichnet.

Platte, auf der sich auch der Bender links neben dem Keyboard befindet. Auch innerhalb des Gehäuses müssen abgeschirmte Leitungen verwendet werden. Die Verbindung zur Außenwelt läuft über 6,3 mm Klinkenbuchsen, deren Massering vom Gehäuse isoliert ist. Die Leitungsführung auf Bild 27 links oben ist unbedingt einzuhalten.

Wenn der Einbau der 'Hardware' ins Gehäuse fertiggestellt ist, müssen die Stromversorgungsleitungen und die Kabel für die Tune- und Benderpotis noch gelegt werden. Auf dem Bild 'Endverdrahtungsplan' ist die Kabelführung zu sehen. Sie sollte genau eingehalten werden. Für die Stromversorgungsleitungen sollten für alle Masseleitungen mindestens 1,5 mm² Querschnitt verwendet werden. Für alle anderen Versorgungsspannungsleitungen genügt 0,75 mm². Die Leitungen zu den Potis sind mit 0,1 mm² ausreichend dimensioniert.

Die Masseverbindung zum Gehäuse muß so kurz wie nur möglich sein. Der Befestigungspunkt ist unter dem Netzteil.

Die individuelle Gestaltung eines Gehäuses steht dem Einzelnen frei. Denkbar wäre der Einbau der elektronischen Teile unter das Keyboard. Das spart Platz in der Tiefe und der Synthesizer kann auf ein anderes Keyboard gestellt werden. Ferner ist der Einbau in eine vorhandene elektronische Orgel mit einer freien Kontaktreihe im Manual denkbar. Da das Verbindungskabel zur Tastatur des Synthesizers ohne weiteres 1m lang sein darf, kann die Elektronik irgendwo im Orgelgehäuse Platz finden. Zum Einbau sind jedoch einige Dinge zu beachten:

Wird ein Holzgehäuse verwendet, muß der Kühlkörper des Netzteses sehr viel größer dimensioniert werden und eine Möglichkeit zur Wärmezirkulation geschaffen werden. Ferner muß, um eine gute Abschirmung zu erreichen, das Gehäuse mit Alufolie ausgekleidet werden. Die Alufolienstreifen werden leitend miteinander verbunden und an einer, dem Netzteil nahen Stelle mit der Netzteilmasse verbunden. Wird ein Metallgehäuse verwendet, muß das Gehäuse unbedingt mit dem Schutzleiter verbunden werden. Die Verbindung des Schutzleiters muß mit einer von außen nicht lösbaren Schraube vorgenommen werden (VDE Richtlinien).

Literaturhinweise

1. Elektor Verlag, Formant Buch 1 und 2
2. Synthesizer Handbuch, Dellmann/Thewes
Augsburger Druck und Verlagshaus
Aindlinger Straße 17 - 19
8900 Augsburg
3. MIDI-Kompendium
2. Auflage,
Verlag Kapehl und Phillip
Darmstädter Straße 54
6101 Fränkisch Crumbach
4. Polysynth in elrad
Heise Verlag
5. Zeitschrift 'Keyboards'
erscheint monatlich im Musik Media Verlag
Aindlinger Str. 17 - 19
8900 Augsburg 1

Diese Zeitschrift ist sehr zu empfehlen, da hier auch sehr stark auf rein musikalische Belange der elektronischen Musik eingegangen wird.

19"-Voll-Einschub-Gehäuse

DIN 41494, Frontplatte 4 mm
ALU/sw, stabile Konstruktion,
geschlossene Ausführung, Be-
lüftungsblech/Chassis Option
Tiefe 255 mm/1,3 mm Stahl-
blech schwarz epoxiert.

48,50 DM
Höhe 1HE 44 mm

2 HE 88 mm	DM 57,50
3 HE 132,5 mm	DM 68,90
4 HE 177 mm	DM 77,00
5 HE 221,5 mm	DM 89,00
6 HE 266 mm	DM 95,00

FRONTEN f. Audio-Mischer

geben Sie Ihrem aufgebauten AUDIO-MISCHER auch
die entsprechende Front im PROFIL-LOOK.

Wir haben sie. Preise auf Anfrage.

Versand per NN. Bausätze lt. Stückliste plus IC-Fas-
sung. Nicht enthalten: Gehäuse/Bauanleitung. Keine Original elrad-Platinen.

AUDIO-MISCHER

Bausätze mit Platinen/Metallfilmwiderstän-
den/selk. IC's. Teile auch einzeln erhältlich,
entsprechende Sonderliste gegen frankierten
Rückumschlag (DM 1,10; DIN A5).

Micro-Vorverst. DM 81,20

DM 78,90 Limiter

Ausgangsverst. DM 124,50

DM 34,60 Klangfilter

Noise Gate incl. Platine DM 79,80

19" Geh. 2kan. Nois
mit bedruckter/bearbeit. Front **DM 85,-**

DM 320,-

550 PA MOS

incl. Kühlkörper/Platine
Kontroller 550 PA DM 78,90
RKT 70050/60 Ringkern DM 188,00

DM 126,- 19" 4HE Geh. 350 mm tief
f. 550 PA

Weitere Bausätze/Zubehör siehe Neuheitenliste 88.

KARL-HEINZ MÜLLER · ELEKTROTECHNISCHE ANLAGEN
Oppenwehe 131 · Telefon 057 73/1663 · 4995 Stewede 3

ÜBERTRAGER • NETZTRAFOS • HIGH-END-BAUSÄTZE und GERÄTE

Mini-Mischpult

Mikrofonvorverstärker mit NE 5534 R und E-1420	DM 89,-
Klangregelteil mit NE 5534 S, Rastpotis und Cs nach Tabelle	DM 50,-
Overloadanzeige inkl. Platine	DM 5,-
Hallrückführung mit NE 5534 S und Rastpotis	DM 33,-
Summe mit Limitermodul ALC-6100 und NE 5534 R	DM 105,-
Ausgangsverstärker Stereo mit NE 5534 T	
und Übertrager L-1130 C	DM 114,-
Ausgangsverstärker Stereo mit NE 5534 T	
und Übertrager L-1230 C	DM 126,-
High-End-Line-Vorverstärker „Vorgesetzter“ aus elrad 3/88	DM 175,-
Steckernetzteil zum Vorverstärker fertig montiert	DM 38,-
High-End-Endstufe 50 W „Black Devil“ aus elrad 1/88	
inkl. Kühlkörper	DM 79,-
Mono-Netzteil zu „Black Devil“ inkl. Kühlkörper	DM 107,-
Stereo-Netzteil zu „Black Devil“ inkl. Kühlkörper	DM 127,-
Netztrafo zu „Black Devil“ NTT-2	DM 82,-

High-End-Bauteile

Selektierte, klirr- und rauscharme Operationsverstärker	
NE 5534 R, super rausch- und klirrarm	DM 20,-
NE 5534 S, rausch- und klirrarm	DM 9,-
NE 5534 T, rausch- und klirrarm für Ausgangsstufen	DM 5,-
Limitermodul ALC-6100	DM 75,-
Line-Übertrager L-1130 C, 1:1	DM 32,-
Line-Übertrager L-1230 C, 1:1 + 1	DM 38,-
Mikrofonübertrager E-1420, 1:2 + 2	DM 60,-

Weiter im Lieferprogramm: High-End-HiFi-Geräte in Röhren- und Halbleiter-
technik, HiFi- und Abhörboxen, Studiokomponenten, technologisch optimierte
Übertrager und Netztrafos in vielen Varianten von ...

EXPERIENCE electronics Inh. Gerhard Haas
Weststraße 1 · 7922 Herbrechtingen · Tel. 073 24/53 18

Mischpult

Bauteilesatz Mikro-Vorverstärker	72,95 DM
Platine	4,25 DM
Bauteilesatz Klangregelteil	23,25 DM
Platine	5,30 DM
Bauteilesatz Overloadanzeige	2,10 DM
Platine	1,95 DM
Bauteilesatz Panpot	12,95 DM
Platine	3,30 DM
Bauteilesatz Limiter	91,65 DM
Platine	5,50 DM
Bauteilesatz Ausgangsverstärker	47,95 DM
Platine	10,70 DM

Bewährte Bausätze aus der Studio-Technik

Noise-Gate in 19 Zoll Einschubtechnik	59,50 DM	Studio-Peakmeter (Anzeige über 48 LEDs)	98,50 DM
Bauteilesatz inkl. 2 Platinen		Bauteilesatz inkl. Platine	
Noise-Gate in bewährter preiswerter Ausführung	24,50 DM	Delta-Delay (Digital-Echo)	182,00 DM
Bauteilesatz inkl. Platine		Bauteilesatz inkl. Platinen	
1 KHZ Pegeltongenerator	29,50 DM		
Bauteilesatz inkl. Platine			
Limiter in Stereo-Ausführung	39,50 DM		
Bauteilesatz inkl. Platine			
Korrelationsgradmesser	29,95 DM		
Bauteilesatz inkl. Platine			

Dieses Angebot ist nur ein kleiner Auszug aus unserem Lieferpro-
gramm. Fordern Sie bitte unsere Bausatzliste an, wo unsere Bau-
sätze näher beschrieben sind.

Service-Center Heinz Eggemann, Jiwittsweg 13
4553 Neuenkirchen 2, Telefon 054 67/2 41

Aktuell • Preiswert • Schnell

Original-elrad-Bausätze mit Garantie

500 W-MOSFET-PA

inkl. Kühlkörper/Platine

DM 300,00

500 W-MOSFET-PA
Steuerteil inkl.
Platine/Winkel DM 65,00

500 W-MOSFET-PA
LED-Display (2 Kanal)
DM 69,00

Sonderliste 500 W-MOSFET-PA anfordern gg. adressier-
ten und mit DM 0,80 frankierten Rückumschlag.

Lötendraht

1-mm-Spule 250 gr. (ca. 35 m)	14,10
0,5-mm-Spule SMD 100 gr. (ca. 30 m)	9,50
1-mm-Wickel Silberlot 50 gr. (Feinsilber)	14,50

Mini-Mischpult



	Bs.	Pl.
Mikro-Vorverstärker		
inkl. Übertrager E-1420/NE 5534 R..	89,00	8,00
Klangregelteil inkl. Rastpotis		
u. C's nach Tabelle	50,00	10,00
Overload inkl. Platine	5,00	3,00
Hallrückführung (Panpot)		
inkl. Rastpotis/NE 5534 S	33,00	4,00
Summe mit Limiter ALC 6100/		
NE 5534 R	105,00	9,00
Ausgangsverstärker		
(2 Kanäle) inkl. NE 5534 T		
und 2x Übertrager L-1130 C	114,00	20,00

Ausgangsverstärker wie vor,
jedoch mit Übertrager L-1230 C 126,00 | 20,00 |

Universal VV inkl. NE 5534 R/Rastpoti 35,00 5,00
Universal VV inkl. NE 5534 S/Rastpoti 24,00 5,00

NEU! NEU! NEU! Alle elrad-Qualitäts-Bausätze liefern wir Ihnen in der neuen Blister-(SB)-Verpackung aus. Hierdurch
werden Transportschäden, wie sie bei Tütenverpackungen entstehen, weitgehendst vermieden!

Bausätze, Spezialbauteile und Platinen auch zu älteren elrad-Projekten lieferbar!

Bauteilelisten gegen DM 1,80 in Bfm. Bausatz-Übersichtsliste anfordern (Rückporto). Gehäuse-Sonderliste gegen
DM 1,80 in Bfm. Unsere Garantie-Bausätze enthalten nur Bauteile 1. Wahl (keine Restposten) sowie grundsätz-
lich IC-Fassungen und Verschiedenes. Nicht im Bausatz enthalten: Baubeschreibung, Platine, Schaltplan und
Gehäuse. Diese können bei Bedarf mitbestellt werden. Versandkosten: DM 7,50 Nachnahme Post giro Hannover
121 007-305 DM 5,00 Vorkasse, Anfragebeantwortung gegen frankierten und adressierten Rückumschlag.



**Diesselhorst
Elektronik**
Inh. Rainer Diesselhorst
Hohenstaufenring 16
4950 Minden

Vertrieb für Österreich:
Fa. Ingeborg Weiser
Versandhandel mit elektronischen
Bausätzen aus elrad
Schembergasse 1 D,
1230 Wien, Tel. 02 22/8863 29

Sampel dir einen...



G. Zielinsky

'SAMPLING' lautet das angesagte Zauberwort und (beinahe) in der gesamten Musikscene ist man von dieser neuen Technik begeistert, sampelt sich durch sämtliche Schallplatten und Compact Discs, Bahnhofshallen, Hauptstraßen und Zoos, bearbeitet Klänge um zu neuen, nie gehörten Sounds zu gelangen und setzt musikalisch neue Akzente. Der Kreativität sind kaum noch Grenzen gesetzt; Sampling ist einigermaßen erschwänglich, und so ist jeder Musiker gefordert, sich mit der neuen Technik auseinanderzusetzen; dies gilt nicht nur für Keyboarder, sondern ebenso für Drummer, Gitarreros bzw. Bassisten und auch Bläser brauchen sich nicht ausgenommen zu fühlen.

Das vormalig als 'DIN - Über spielkabel' bekannte MIDI-Kabel ermöglicht die universelle Kommunikation jedes natürlichen Instruments mit jedem Synthesizer und so auch mit den Samplern, um die es hier gehen soll.

Haben Sie sich vielleicht schon einmal gewundert, wenn innerhalb eines ganz 'normalen' Popsongs plötzlich ein Orchester einen riesigen Tuttiakkord abliefern? Oder wenn ganze Stadien voller Fischer-Chöre plötzlich aus dem Nichts heraus auftauchen (und das nicht nur zur Weihnachtszeit)? Ganz zu schweigen von Klängen, bei denen man den Eindruck hat, daß

sie einmal natürlichen Ursprungs waren, aber so verfremdet klingen, daß man seinen Ohren kaum zu trauen glaubt. Trauen Sie Ihren Ohren ruhig. Es ist alles ganz normal! Verrückt normal halt, und das manchmal im wahrsten Sinne des Wortes. Denn weder hat Herbert von Karajan eine kurze Mucke bei Nino de Angelo gehabt, noch ist ein Pop-Producer auf die Idee gekommen, ein Stadion für die Fischer-Chöre anzumieten. Nein, es kommt alles aus dem netten (kleinen) Sampler, der mehr oder weniger auffällig im Studio- oder Keyboardequipment integriert ist, der aber auch durch eine gewisse Größe und einen Monitor

Das Foto (oben) zeigt das Mellotron des Verfassers mit herausgezogenem Bandschleifen-Rahmen.

ins Auge fallen kann. Inzwischen wird jedem klar sein, was ein Sampler ist und macht: Ein Sampler nimmt natürliche Klänge in sich auf, speichert sie ab, kann sie bearbeiten und z.B. auf Tastendruck wieder herausspielen. Wie er das macht, welche Möglichkeiten ein Sampler hat und wo seine Grenzen liegen, soll Thema dieses Artikels sein. Mit einbezogen sind alle (wichtigen) auf dem Markt befindlichen Sampler, Software-Updates bis November '87, sowie die neuen Sampler von Yamaha und der neue S550 von Roland.

Sampler arbeiten, wie fast die gesamte moderne Musikelektronik, auf digitaler Basis. Jedoch gibt es bereits seit mehr als 20 Jahren ein Instrument, das analog natürliche Klänge auf einer Keyboardtastatur wiedergeben kann: das Mellotron (Bild 1). Dieses mechanisch recht aufwendige Gerät rief die Klänge von Bändern ab, auf denen die Töne aufgezeichnet waren. Diese Bänder konnte man nicht selber bespielen, sondern mußte sie kaufen und zwar zu einem gesalzenen Preis. Die Bänder, für jeden Ton eines, waren in einem Rahmen eingespannt. Auf jedem Rahmen waren drei verschiedenen Instrumente, die einzeln, nicht zusammen, angewählt werden konnten. Die Länge der Töne war begrenzt auf acht Sekunden; es handelte sich also nicht um Bandschleifen. Dies hatte den Sinn, daß man auch die für das Erkennen eines natürlichen Instrumentes wichtigen Einschwingvorgänge mit auf dem Band hatte, was bei einer Schleife natürlich nicht möglich gewesen wäre. Die Rahmen waren auswechselbar und kosteten ab DM 2000,- aufwärts. Jeder Rahmen war original bespielt; dadurch erklärt sich auch der hohe Preis. Das Mellotron war nicht anschlagentypisch und außer der Gesamtstimmung und einem einfachen Klang-(Höhen-)Regler war an Manipulationsmöglichkeiten weiter nichts vorhanden. Vielen wird der Klang des Mellotrons sicherlich noch im Ohr sein. Es wurde bereits eingesetzt von den Beatles (The Walrus, Sgt. Pepper, Magical

Mysterie Tour etc.), Bowie (z.B. auf Heroes), von Yes, Genesis, Family, King Crimson und vielen mehr. Die am meisten benutzten Sounds waren wohl die Streicher und der Chor. Der Klang des Mellotrons zeichnete sich durch eine seltsame, mystisch anmutende Kälte aus, die dadurch entstand, daß die Instrumente bzw. Stimmen alle ohne Vibrato aufgenommen worden sind. Dieses wohl deshalb, weil sich durch ein Vibrato auf jedem Ton ein im Gesamtklang unkontrollierbares Vibrato ergeben hätte. Die Sampler von heute lösen dieses Problem auf andere Weise, über die noch zu sprechen sein wird. Das Mellotron war übrigens ein kompletter 'Multisampler', d.h.: Jeder Ton wurde extra aufgenommen. Der Begriff des 'Multisampling' wird uns später noch für einige Zeit beschäftigen, da er ein prinzipielles Problem beim modernen Sampling berührt.

Moderne Sampler arbeiten also auf digitaler Ebene.

Dieses bedeutet, daß das aufgenommene Signal digitalisiert und in RAM-ICs abgelegt wird. Die Samples können auf Diskette gespeichert werden, deshalb hat jeder gängige Sampler ein eingebautes Floppy-Laufwerk (i.a. werden die Atari 3,5 Zoll-Laufwerke verwendet). Das Wort Sampling heißt übersetzt soviel wie 'Beispiele/Proben nehmen'. Beim Sampling wird ein Signal also nicht komplett (wie in der Analogtechnik) gespeichert, sondern es wird in der Zeit- und Pegelachse zerlegt und an Hand dieser Proben hinterher im Digital-Analog-Wandler wieder rekonstruiert (Bild 2). Hierbei kommt es auf zwei für das klangliche Ergebnis wichtige Faktoren an. Die Samplingrate und die Bitzahl. Die Samplingrate gibt an, wieviele Proben (Samples) pro Sekunde genommen werden. Dies hat direkten Einfluß auf die mögliche Frequenzbreite. Das sogenannte 'Shannon-Theorem' besagt, daß die Samplingfrequenz mindestens doppelt so hoch sein muß, wie die höchste zu übertragende Frequenz. Will man also einen Frequenzgang bis

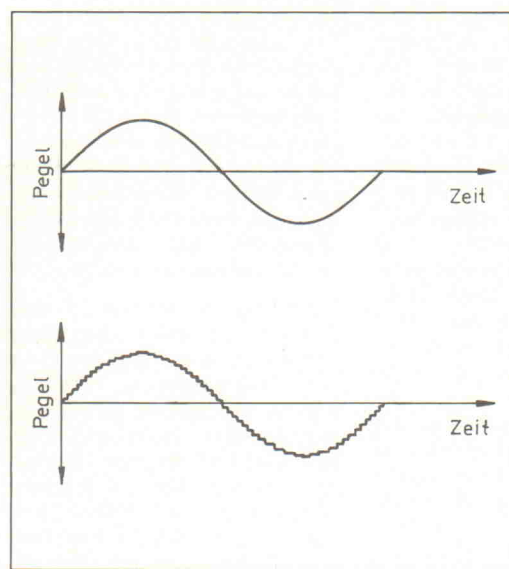


Bild 2. Das Sinus-Signal (oben) wird in viele 'Scheibchen' zerlegt, gespeichert und anschließend wieder zusammengesetzt (unten).

15 kHz erzielen, benötigt man mindestens eine Abtastfrequenz von 30 kHz. Je höher die Abtastfrequenz jedoch liegt, desto mehr Speicherplatz wird benötigt und der ist bei den bezahlbaren Samplern begrenzt (500 KByte - 1MByte). Um den Speicherplatz optimal zu nutzen, bieten deshalb alle Sampler die Möglichkeit, verschiedene Samplingrates einzusetzen, je nach verwendetem Klangmaterial und gewünschtem Ergebnis.

Bei den meisten Samplern hat man vier bis sechs verschiedene Samplingrates zur Verfügung. Eine Ausnahme bildet der S 900 von Akai. Bei diesem Gerät ist es möglich, die Samplingrate in 100 Hz Schritten einzustellen. Man erreicht dadurch eine optimale Anpassung der Samplingrate an das Samplesignal. Bei bestimmten Obertonkombinationen kann es nämlich zu sogenannten Aliasing-Geräuschen kommen, speziell dann, wenn der Frequenzgang bis an die physikalischen Grenzen ausgereizt wird. Durch das leichte Verändern der Samplingrate kann man mit einer niedrigeren Rate u.U. durchaus zu einem besseren Ergebnis kommen. Tatsächlich ist der S 900 einer der am klarsten klingenden und mit den wenigsten Nebengeräuschen behafteten Sampler.

Der zweite wichtige Faktor ist die Bitzahl. Sie gibt an, mit welcher Auflösung auf der Pe-

gelachse gearbeitet wird und ist somit ein Maß für die mögliche Dynamik und auch Klangtreue des Samplers. Eine Auflösung von 12 Bit bedeutet beispielsweise, daß ein Sampler ein Signal in $2^{12} = 4096$ Lautstärkestufen unterteilen kann. Tatsächlich ist die 12-Bit-Auflösung im Moment am häufigsten vertreten. Einige neue Sampler arbeiten bereits mit 16-Bit-Auflösung (FZ1, S550), jedoch zeigt sich zumindest am Rauschverhalten des FZ1, daß 16 Bits nicht unbedingt gleich CD-Qualität erzeugen. Die Klangqualität eines Samplers wird sehr deutlich auch durch die Qualität seiner elektronischen Bausteine bestimmt; ebenso durch die 'Philosophie' derjenigen, die ihn konstruierten und nicht zuletzt ist es von entscheidender Wichtigkeit wie gut und verwendbar käufliche Samples sind, denn z.B. Orchester/Bläser-Samples lassen sich schwerlich selber herstellen.

Nun aber zu den Geräten, die es im Handel für mehr oder weniger Geld zu erstehen gibt. Die ersten Digital-Sampler überhaupt waren das Synclavier und der legendäre Fairlight — beide selbstverständlich zu sündhaft hohen Preisen. Während das Synclavier eigentlich ein FM-Synthesizer war (ähnlich DX7), der nur im Zuge seiner ständigen Erweiterung eine Sampling-Option beigelegt wurde, war der Fairlight tatsächlich der erste

richtige Digitalsampler auf dem Markt. Er kostete schwache 80.000 DM und leistete, rein technisch gesehen, mit den heutigen Geräten verglichen, erschreckend wenig. Es war tatsächlich nur ein 8-Bit-Gerät mit einer Samplingzeit von rund 5 Sekunden bei vernünftiger Samplingrate und war 16-stimmig. Der Fairlight beinhaltet jedoch gleichzeitig einen ausgefuchsten Sequencer und ein Composingssystem und wurde ständig upgedatet, d.h.: Die Speicherkapazität und die Möglichkeiten wurden laufend erweitert. Inzwischen gibt es die dritte Fairlight-Generation mit bis zu einer halben Stunde Stereosampling bei 44,1 kHz Samplingrate und 16-Bit. Der Fairlight war und ist das professionellste und wohl musikalischste System.

Ähnlich weit ausgebaut ist inzwischen das Synclavier. Die Preise für diese Geräte bewegen sich im Bereich eines Einfamilienhauses, man sollte als vorher überlegen, ob man erst den Fairlight kauft, oder erst die Hütte, um ihn unterzubringen. Neben diesen beiden großen Systemen gibt es ebenfalls bereits seit sechs Jahren ein Gerät, welches seinen festen Platz in der professionellen Studio-scene hat: den EMU 1 und später den EMU 2. Hierbei handelt es sich nicht um größenwahnsinnige durchnummerierte Exemplare aus dem bayerischen Staatszoo, sondern um Instrumente der amerikanischen Firma Emulator.

Speziell der EMU 2 ist ein Gerät, das durch seine hervorragenden musikalischen Möglichkeiten besticht und ebenfalls einen hervorragenden Sequencer 'on Board' hat, so daß viele Produktionen zu Hause im stillen Kämmerlein vorbereitet wurden, um dann im Studio (ohne allzuviel der teuren Studiozeit in Anspruch zu nehmen) ohne Umschweife direkt auf die Mehrkanal gespielt zu werden. Da der EMU ohne Probleme zu transportieren war, wurde und wird er ebenso häufig auch auf der Bühne eingesetzt. Der EMU 2 kostete immerhin auch noch um die DM 20.000,-; er ist aber inzwischen durch den EMAX abgelöst worden, der auf der Samplerebene deutlich mehr leistet

als der EMU 2, jedoch erheblich günstiger ist. Trotzdem steckt im EMAX die Erfahrung langer Samplingjahre und deshalb wird uns dieses Gerät bei einigen Beispielen noch weiter begegnen. Es gibt inzwischen einen EMU 3, der preislich wiederum in aristokratischer Höhe angesiedelt ist, dementsprechend weitaus mehr leistet.

Unbedingt zu nennen ist der Kurzweil. Er ist vor allen Dingen wegen seines hervorragenden Flügel-Sampels berühmt und in Verbindung mit seiner mechanischen Holztastatur ist der Kurzweil derjenige Sampler, der sich zur künstlichen Darstellung eines Flügels am besten eignet. Der Kurzweil ist von Hause aus ein Preset-Sampler, d.h.: Die Sampels werden aus nichtflüchtigen Speichern gelesen (Eproms), es ist also eigentlich nicht möglich, selber zu sampeln. Dies kann beim Kurzweil jedoch über eine spezielle Sempel-Option realisiert werden, die im Verbund mit einem Macintosh-Computer läuft. Wir werden im weiteren Text nochmals auf die spezielle Art der Re-Synthese beim Kurzweil im Zusammenhang mit dem Speicherplatzproblem und seinen Lösungen kommen. Im Bereich unter DM 10.000,- tummeln sich inzwischen eine ganze Menge brauchbarer Sampler. Als da wären: Prophet 2000 (Sequential Circuits), S900, S700 (Akai), S50, S10 (Roland), Emax (Emulator) und FZ 1 (Casio). Einige neue Sampler von Roland Sequential und endlich auch Yamaha stehen an.

Mein (zukünftiger) Sampler, das (noch) unbekannte Wesen oder: 'SAMPOLOGIES für Einsteiger.'

In einem Sampler befindet sich ein ganzer Haufen RAM, soviel dürfte inzwischen klar sein; was unterscheidet jedoch einen guten Sampler von einem RAM-Grab? Bleiben wir gleich bei den Speicherbausteinen. Die Speicherkapazität ist, wie bei jedem Compu-

ter, begrenzt. Die zur Zeit übliche Speichergröße liegt zwischen 500 KByte und 1 MByte bzw. bald bis zu 2 MByte auch in den Low-Price-Samplern. Dies ermöglicht eine Sempel-länge zwischen 10 und 20 Sekunden. Viel oder wenig ?? Wir werden sehen!

Wenn man mit einem Sampler z.B. nur eine einzige Flöte darstellen möchte, kommt man mit Sicherheit gut hin. Was aber, wenn man einen Flügel sampeln will, oder gar mehrere Instrumentengruppen zur gleichen Zeit im Speicher haben will, um ein komplettes Orchester darzustellen !? Wer da glaubt, er könne einen Flügel sampeln, indem er einen Ton (z.B. Schlüssel C) sampelt und dann die ganze Tastatur rauf- und runterfegt, der muß hier leider enttäuscht werden. Aber auch den Pessimisten, die glauben, jede Taste müsse für sich gesampelt werden, kann gesagt werden: So schlimm ist es zum Glück nicht. Die Wahrheit liegt, wie so oft, in der Mitte.

Ein gesampelter Ton kann tatsächlich zur Erzeugung verschiedener Töne (Tönhöhen) herangezogen werden. Jedoch nur innerhalb bestimmter Grenzen. Die Erzeugung verschiedener Tönhöhen im Sampler geschieht einfach durch Veränderung der Auslesefrequenz. Ist also ein Klang ursprünglich mit einem Takt von 30 kHz

zu langsam oder zu schnell läuft. Im ersten Falle haben wir einen 'Don Kosaken'-Effekt im zweiten einen 'Micky Maus'-Effekt; der englische 'Fachausdruck' hierfür lautet 'Chipmonk' (Wiesel-) Effekt. Für das Erscheinen dieser Effekte gibt es mehrere Gründe, wobei die beiden entscheidenden akustisch/physikalischer Ursache sind. Als erstes liegt auf der Hand, daß mit verschiedenen Auslesezeiten sich auch die Länge des Sampels ändert. Dies hat nicht nur zur Folge, daß ein Sempel, welches in seiner Originaltonhöhe noch brauchbar lang ist, beim Herauftransponieren plötzlich arg kurz wird, sondern ein weiterer Effekt tritt hinzu: Die Einschwingvorgänge, die für die Autentizität eines Klanges von entscheidender Wichtigkeit sind, werden verkürzt bzw. verlängert. So wird zum Beispiel aus dem schnellen Einschwingen einer Trompete beim Heruntertransponieren plötzlich eine Posaune, die ja weitaus langsamer einschwingt. Beim Herauftransponieren werden die meisten Klänge unkenntlich und erhalten durch die Beschleunigung des Einschwingens meist einen percussiven Charakter.

Durch analoge Nachbearbeitung mit synthesizerüblichen VCAs und VCFs kann man hier etwas wieder glattbügeln, erreicht jedoch nie das origina-

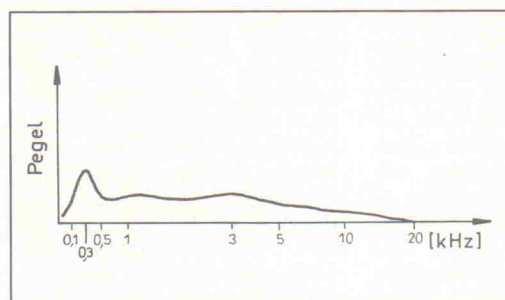


Bild 3. Formanten eines Wiener Horns.

aufgezeichnet worden, wird zur Erzeugung der darunterliegenden Oktav die Abtastfrequenz halbiert (15 kHz). Das so traktierte Sempel erklingt also eine Oktav tiefer, klingt aber im Normalfalle beileibe nicht so, wie das Originalinstrument oder die Originalstimme, wenn sie eine Oktav tiefer spielt oder singt. Jeder kennt im Übrigen den Effekt, wenn ein Tonband

le Verhalten. Absolut gar nichts kann man gegen die Verschiebung der sogenannten 'Formanten' machen, die jedem natürlichen Klang eigen sind und die einen noch größeren Einfluß auf die Klangveränderung beim Transponieren haben. Unter Formanten versteht man Frequenzanhebungen im Frequenzgang eines Instrumentes, die unabhängig

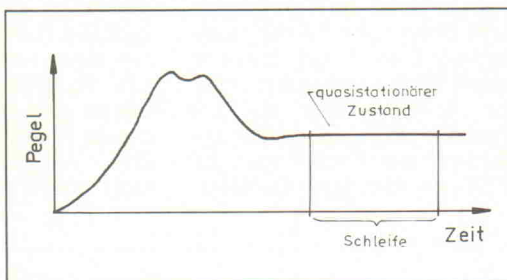
von der gespielten Tonhöhe immer gleich bleiben.

Im Bild 3 sehen Sie das typische Verhalten eines (Wiener) Hornes. Deutlich erkennbar ist der Formant im Bereich um 300 Hz, der dem Horn seine typische, dem Buchstaben 'u' stark ähnliche Klangfarbe verleiht. Die Formanten im Bereich 1 und 3 kHz sind Nebensachen; bei der Anhebung im Bereich 6 kHz handelt es sich um Geräuschanteile (Luft). Während sich beim Originalinstrument diese Bereiche also nicht verschieben, wandern sie beim Transponieren im Sampler selbstverständlich mit

Dingen gegen das Heraufstimmen empfindlich, während Blechbläser schon unsanfter mit sich umgehen lassen. Besonders pflegeleicht sind alle Flöten- bzw. Orgeltöne. Dies hat den einfachen Grund, daß Pfeifen keine Formanten haben, stattdessen äußerst grundtönig sind und sich bei ihnen demzufolge auch keine Formanten verschieben können.

Ein brauchbarer Sampler sollte also viele einzelne Samples in sich aufnehmen können, wenn man mit ihm einigermaßen befriedigende Ergebnisse erreichen will. Relativ aus dem Felde geschlagen sind damit die

Bild 4. Mit einer Schleife kann ein gespielter Ton verlängert werden.



'rauf und 'runter. Dies führt zu extremen Klangverfälschungen und ist hauptsächlich für den Chipmonk-Effekt verantwortlich. Weiterhin gibt es technische Gründe, die vor allen Dingen beim Hinunterstimmen negativ zu Buche schlagen. Samplingstörgeräusche (Aliasing) werden dann deutlich hörbar, wenn das Original eine Oktave oder tiefer heruntergestimmt wird. Zudem fehlt natürlich auch das obere Frequenzspektrum.

'Was tun?' sprach Zeus, 'Mein Sampler ist besoffen!'

Zeus wäre wahrscheinlich schnell auf die richtige Idee gekommen. Um ein Instrument in seiner gesamten Bandbreite richtig darstellen zu können, benötigt man mehrere Samples, die sich über die gesamte Tastatur verteilen. Diesen Vorgang nennt man 'Multisampling'. Instrumente reagieren verschieden empfindlich auf die Samplerbehandlung. Bei menschlichen Stimmen fällt der Chipmonk-Effekt außerordentlich schnell auf, Klavier ist vor allen

preiswerteren Samplern (S10, S700). Zudem ist es für bestimmte Klänge, die sich dynamisch stark verändern (z.B. Saxophon), sinnvoll, zwei Samples durch den sogenannten 'Velocity Switch' bzw. 'Velocity Crossfade' mit Hilfe der Anschlagsdynamik ineinander überzublenzen bzw. umzuschalten. Dies wird später noch genauer erläutert werden. Einsame Spitze, zumindest der Anzahl der möglichen Samples nach, ist der EMAX mit 120 Samples!! Bei bestimmten Einsätzen, z.B. Percussion, kann dies durchaus sinnvoll sein.

Langsam dürfte es klar geworden sein, daß der Speicherplatz nun doch knapp wird. Vor allen Dingen, wenn es um die Darstellung von liegenden Klängen geht (Streicher, Orgel etc.). Eigentlich sind solche Klänge gar nicht sampelbar, wenn es nicht zum Glück einen kleinen, aber wichtigen Trick gäbe. Die Loops! Zu deutsch: die Schleifen.

Die Idee hierzu ist offensichtlich (Bild 4). Nach dem Einschwingen des Instrumentes und dem Errei-

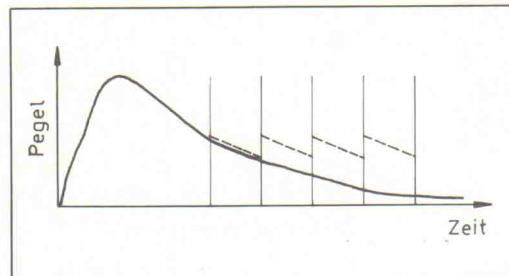


Bild 5. Der 'Equal-Power-Loop' eines Klavier-Sampels.

chen des sogenannten quasistationären Zustandes bildet man eine elektronische Schleife, die das Signal bis in alle Unendlichkeiten wiederholt. (Oder bis jemand die Taste losläßt.) Theoretisch ganz einfach. In der Praxis ist bestimmt schon jeder 'Selbstsammelnde' einmal an den Rand der Verzweiflung gekommen, weil der quasistationäre Zustand eben nur 'quasi'-stationär war und er Knacker (Phasensprünge) oder hängende Schleifen ähnlich einer hängenden Schallplatte vor sich hatte (CD sei Dank).

Der Phasenkack läßt sich durch einen Autoloop, (der Sampler sucht sich selber die Nulldurchgänge und die richtige Phasenlage) noch beheben, was aber, wenn man es mit einem Sample wie auf Bild 5 zu tun hat? Bei diesem Sample könnte es sich z.B. um einen Klaviersample handeln. Hier hilft fast nur ein sogenannter Crossfade Loop, d.h.: Schleifenanfang und Schleifenende werden digital ineinander gerechnet. Bei einer solch extremen Hüllkurve, wie im Bild 5 hilft jedoch nur noch eine ausgefuchstere Art des Crossfade Loops: der Equal Power Loop. Bei dieser Art des Loops werden die Pegelunterschiede zwischen Loopanfang und Ende einander angeglichen.

Diese Art des Loops kann bisher nur der EMAX und der zukünftige Korg Sampler. Leider

sind außer dem Prophet und dem S900 (Update) weiter keine anderen Sampler zu einem Crossfade Loop fähig. Der FZ1 kann ihn zwar auch nicht, dafür aber gleich acht Loops hintereinander.

Tempus fuget !! Speicherplatz leider auch.

Bei manchen Samplern (S50, S10, S900, S700) ist im Übrigen das Schleifen-Ende identisch mit dem Sound-Ende. Diese Art des Loops ermöglicht es also nicht, nach einem Loop ein Ausschwingen wiederzugeben. Dies ist speziell bei Kirchenorgeln, Cembali, verschiedenen Perkussionsinstrumenten und vor allen Dingen bei gesampeltem Gesang (mit Text) der Fall. Wenn also der Loop eindeutig in der Mitte des Samples liegt, müssen solche Sampler eindeutig passen. Hand in Hand damit geht im Übrigen, daß diese Sampler auch nur einen Loop bieten, während die anderen einen Loop für den stationären Zustand und für den Ausschwingvorgang bieten. Die große Ausnahme bildet, wie gesagt, der FZ1 mit seinen acht Loops.

Weiter im digitalen Sumpf und den Eingeweiden der Sampler. Ist ein Sample solcher Art endlich glücklich geloopet, sollte er

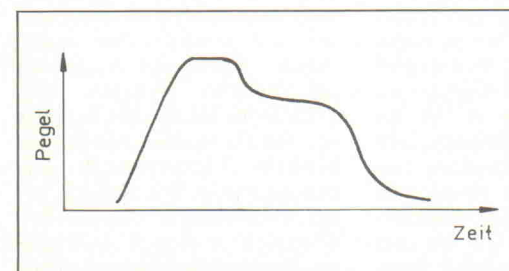


Bild 6. Anfang und Ende des Samples werden weggeschnitten.

Sampling

Bild 7a. Ein typischer Velocity-Switch.

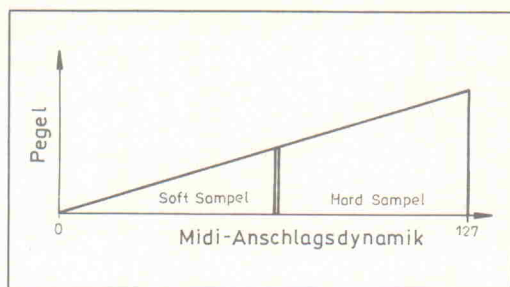
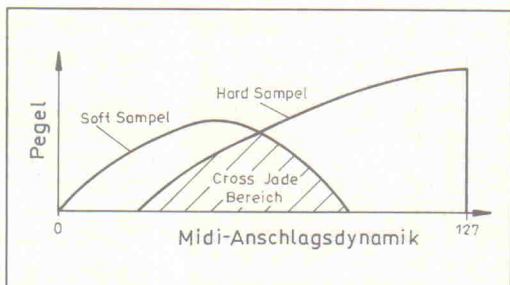


Bild 7b. Der Velocity-Cross-Fade wird weich überblendet.



am Anfang und am Ende beschnitten werden. Dies kann auch vorher geschehen. Manche Sampler (FZ1, S50, S550) bieten hierzu graphische Unterstützung an, die beiden Rola-sampler lassen sich sogar an einen Monitor ankoppeln. Den Vorgang des Beschneidens (beim Sampling wohlge-merkt) nennt man 'Truncating' (Bild 6). Üblicherweise gibt es auf digitaler Ebene verschiedene Effektmöglichkeiten, wie Mischen oder Aneinanderhängen von Samples. Die Ende des Jahres '87 für den Emax erschienene upgedatete Software-Version gibt diesem Sampler jedoch über das übliche Maß hinaus neue Möglichkeiten an die Hand. So kann nachträglich die Samplingfrequenz geändert werden (Speicherplatzersparnis), digitale additive Synthese, digitales Verändern der Originaltonhöhe, gleichzeitiges Spielen mehrere Preset über eine Tastatur, etc.. Eine wichtige Unterstützung bei der Erstellung einer möglichst originalgetreuen Wiedergabe ist der bereits genannte Velocity-Switch bzw. Velocity-Crossfade. Soll z.B. ein Saxophon von einem sanften Surren bis hin zu einem laut schreienden Instrument mit Hilfe der Anschlagsdynamik dargestellt werden, so ist die analoge Nachbearbeitung, auf die wir noch im einzelnen eingehen werden, mit einem bloßen 'laut' und 'leise' überfordert. Hierzu muß von ein und dem selben Ton ein leiser Sam-

pel (Softsample) und ein lauter Sample (Hardsample) aufgenommen werden. Diese beiden Sample werden je nach Anschlagstärke alternierend abgerufen (Switch) oder ineinander übergeblendet (Crossfade) (Bild 7). Der Crossfade stellt dabei in bestimmten Fällen die optimale Lösung dar, kostet jedoch die doppelte Stimmenzahl, da ja zwei Samples zur gleichen Zeit gespielt werden müssen. Der einzige Sampler, der hierzu nicht seine Stimmenanzahl halbieren muß, ist der EMAX. Sein sogenannter DUAL-MODE (R) gestattet es, zwei Samples zur gleichen Zeit bei voller Erhaltung der Stimmenzahl zu spielen. Gleiches gilt für das sogenannte Positional Crossfading. Hierbei geht es darum, Samples in Abhängigkeit von ihrer Tonhöhe ineinander zu blenden, um weichere Übergänge bei Multisamples zu erhalten (Don Kosaken - Micky Maus-Effekt) (Bild 8). Auch hier bietet der EMAX volle Acht-Stimmigkeit trotz 'Layering' zweier Samples.

In der analogen Nachbearbeitung schließlich wird den Samples erst wieder Leben eingehaucht. Denn mit Ausnahme des Velocity Switches bzw. Crossfades bleiben die Samples so, wie sie sind — haben also keinerlei Eigendynamik, wie beispielsweise die Klänge bei der FM-Synthese. Neben den normalen analogen Synthesizer-Nachbearbeitungsmöglich-

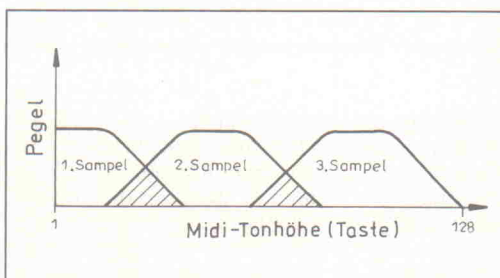
keiten wie Hüllkurven, VCA, VCF, Modulationsoszillatoren etc. sind besonders die an-schlagsdynamischen, analogen Parameter wichtig. Hier ist als erstes die Lautstärke über den VCA zu steuern, weiterhin die Brillanz des Klanges über den VCF. Je lauter ein Ton gespielt wird, desto heller wird er im allgemeinen. Ein weiterer, wichtiger Punkt, um dem toten Sample das Leben zurückzugeben, ist die Attacktime des VCAs und auch des VCFs.

Auch dies entspricht dem natürlichen Verhalten der meisten Instrumente. Je lauter ein Ton gespielt wird, desto schneller schwingt er ein. Für perkussive Instrumente gilt darüber hinaus: Je lauter ein Ton gespielt wird desto höher ist der resultierende Ton. Es sollte also eine Möglichkeit vorhanden sein, die Anschlagstärke auf die Tonhöhe zu legen. Leider beglücken uns hierbei nur der S 900, der über seine sogenann-

zung der Anschlaginformation extrem ausgefeilt. Die Information über viele einzelne Stufen der Anschlagsdynamik eines bestimmten Instrumentes wird vorher in einem Computer analysiert. Sie erinnern sich; beim Kurzweil werden die Samples aus Eproms gelesen, die sich fest im Gerät befinden. Die aus dem Computer gewonnene Information wird dem Eprom beigefügt; so werden für jede mögliche Anschlagstärke die analogen Nachbearbeitungselemente exakt konfiguriert, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.

Ein trauriges Kapitel bei den meisten Samplern betrifft den Modulationsoszillator (LFO). Hier ist meist nur einer vorhanden, so daß z.B. bei Streicherflächen alle Geigen brav im gleichen Takt und in Phase ihr Vibrato machen, was der Natürlichkeit nicht gerade zum Vorteil ge-

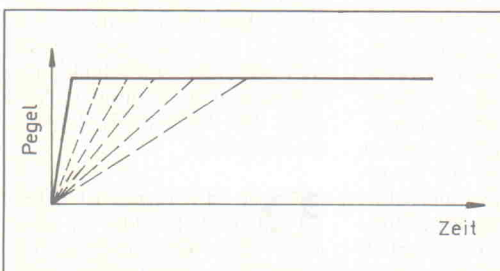
Bild 8. Tonhöhen-Cross-Fade bei Multisamples.



te 'Warp'-Funktion den Ton je nach Anschlagstärke von unten oder von oben an die eigentlichen Tonhöhe heranzieht (typisch für Pauken und Tom-Toms) und der EMAX, bei dem die Anschlagstärke direkt auf die Tonhöhe gegeben wird. Das Maß des Effektes ist natürlich in allen genannten Funktionen bei allen Geräten regelbar. Hier ist nochmals auf den Kurzweil-Sampler einzugehen. Bei diesem Gerät ist die Umset-

reicht. Auch hier geht der EMAX mal wieder weiter. Bei ihm ist es möglich, die Vibratofrequenz jedes seiner acht voneinander unabhängigen LFOs zufallsgesteuert von einem mittleren Wert abweichen zu lassen. Da auch die Streicher der Wiener Philharmoniker ihren Klang durch Unregelmäßigkeit erzeugen, dürfte der EMAX auch hier einen Schritt in die richtige Richtung aufzeigen.

Bild 9. Die Attacktime in Abhängigkeit von der Anschlagsstärke.



Miditop- Sequencer- MonoMultiPoly- 100 Bit- Stereo-Sampler

Jawoll !! Und zwar im Glückskauf für 9,50 DM mit Dicketal-Uhr. Wird's vielleicht irgendwann geben. Im Moment aber müssen wir uns noch mit den Dingen dieser Welt beschäftigen.

Und eine der wichtigsten, jedenfalls für die Musikwelt, lautet MIDI. Diese universelle Schnittstelle für andere Synthesizer, Sequencer oder midikompatible Waschmaschinen ist besonders für einen Sampler wichtig. Wieviel ein Sampler im Midi-Bereich können muß, hängt jedoch stark davon ab, in welchem Bereich er eingesetzt werden soll. Soll er z.B. auf der Bühne als selbständiges Element oder als einfach angekoppeltes Rack laufen, so reicht es, wenn das Gerät im Polymode arbeitet, also einen anwählbaren Midi-Empfangskanal hat. Soll der Sampler jedoch auf der Bühne als Masterkeyboard fungieren, so sollte er zumindest im MIDI-Sende-Bereich relativ ausgefuchst sein, d.h.: mehrfacher Keyboardsplit, schnell abrufbare Programmwechsel auch für die anderen Synthesies, verschiedene Pedale sowie die Möglichkeit, Midi Controllern (Pitch und Mod. Wheel, Pedale, Aftertouch) wiederum beliebigen Controller-Nummern zuzuordnen. Praktisches Beispiel: Über das Modulationsrad soll innerhalb eines bestimmten Sounds die Lautstärke für einen Fade out geregelt werden. Eine der interessantesten Einsatzmöglichkeiten für den ein Sampler jedoch geradezu prädestiniert ist, ist der Einsatz im Verbund mit einem Software-Sequencer (z.B.: C-Lab Creator oder Steinberg 24-Track). In einem solchen 'bandlosen' Mehrkanalstudio kann ein Sampler zum zentralen und kreativen Mittelpunkt werden und zwar sowohl als Masterkeyboard (Sender) wie auch als Sampler an sich (Empfänger). Hierzu gehören jedoch einige Portionen ausgekochter Fertigkeiten, die normale Synthesizer nicht

besitzen und sich sowohl auf die Midi-Fähigkeiten des Samplers als Empfänger beziehen, als auch auf Notwendigkeiten, die erst in solch einem Verbund auftauchen. Denken wir noch einmal zurück an den Begriff des Multisampels.

Um die meisten Instrumente darstellen zu können, benötigt man mehrere Sampels verteilt auf das gesamte Keyboard. Will man nun mehrere solcher Multisampels zeitlich parallel über einen Sequencer steuern taucht ein Problem auf: Jeder Synthesizer — egal ob Poly oder Multimode — kann immer nur einen Sound oder eine Gruppierung von Sounds zur gleichen Zeit spielen, nämlich immer soviel, wie man auf einer Tastatur unterbringen kann. Dies würde auf dem Sampler bedeuten, daß Streicher, Bläser, Bass, evtl. Schlagzeug innerhalb einer Tastatur unterzubringen sind. Das wird knapp, wie man sich denken kann. Ein für Midi-Recording brauchbarer Sampler sollte also die Fähigkeit besitzen, die in seinen verschiedenen Presets untergebrachten Multisampels über verschiedene Midi-Kanäle ansprechen zu können. Leider verfügen bisher nur der EMAX, der S550 und der S50 mit Einschränkungen über diese Möglichkeit. Beim EMAX nennt sich die ganze Sache Supermode (R). Über ihn können sechzehn der hundert möglichen Presets den sechzehn Midi-Kanälen zu geordnet (Bild 10) und in sogenannten Supermode-Maps abgelegt werden. Die Zuordnung der acht vorhandenen Stimmen ist nicht starr, sondern jedes Preset kann bis zu acht Stimmen spielen. Die Gesamtzahl von acht Stimmen kann selbstverständlich nicht überschritten werden. Beim S550 wird die Zuordnung ähnlich gelöst.

Wichtig an dieser Stelle ist das Vorhandensein verschiedener Einzelausgänge. Während der EMAX einen äußerst sinnvoll einsetzbaren Stereoausgang plus zusätzlicher Einzelausgänge hat, besitzt der S550 gar polyphon zuordnungsfähige Einzelausgänge, über die die einzelnen Instrumentengruppen herausgeführt werden. Mono-Einzelausgänge plus einem zu-

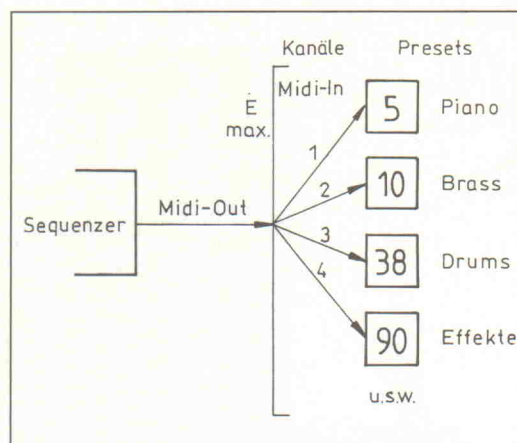


Bild 10. Die Steuerung des EMAX über eine Midi-Schnittstelle ist recht komfortabel.

sätzlichen Mono-Summenausgang, wie an den meisten Samplern vorhanden, helfen beim MIDI-Recording also kaum; zumindest dann nicht, wenn man möglichst alles auf einmal aus den Geräten holen will.

Selber sampeln oder sampeln lassen? Das ist hier die Frage. Die Brauchbarkeit eines Samplers wird ganz entscheidend durch die Qualität der für ihn käuflichen Sampels mitbestimmt. Denn selber sampeln kostet Zeit, sehr viel Zeit sogar. Viele Dinge sind selber gar nicht realisierbar. Denn um einen richtig guten Flügel zu sampeln, benötigt man auch einen solchen! Und einen guten Raum! Und gute Mikrophone! Und so weiter.

Einen ganzen Streicher- oder Bläusersatz zu sampeln dürfte dem Normalsterblichen kaum möglich sein. So bleiben also gewisse Dinge, die man sich von LPs oder besser CDs holen kann, es werden inzwischen sogar spezielle CDs zum Selbersampeln angeboten, trotzdem bleiben gewisse Probleme, die sich nur durch gutes Studioequipment lösen lassen. Kompressoren und Sound-Enhancer können einem Sampel durchaus gut tun und es aus dem Sampler frischer und lebendiger klingen lassen. Man sollte sich also vorher die Soundbibliotheken der einzelnen Sampler gut anhören und entscheiden, welche Sounds für einen persönlich am verwendbarsten sind. Denn Sampling kann soviel Zeit kosten, daß man gar

nicht mehr zum Musikmachen kommt. Und darum geht's ja eigentlich!!

Wer es übrigens überhaupt immer eilig hat und auch nicht auf das Laden bzw. Nachladen der normalen Floppy warten kann, dem sei die Emax Hard Disc empfohlen, die nur ganze 2 Sekunden benötigt, um eine Speicherbank einzuladen und dies auch über Midi steuern kann.

Wie sag ich's meinem Sampler?

Die Ladezeit eines Samplers kann auf der Bühne tatsächlich zum Problem werden. Hierbei ist es dann wiederum wichtig, wieviele Sampels ein Gerät auf einmal im Speicher halten kann. Hier sei noch kurz auf ein Gerät eingegangen, welches ausschließlich Sampels wiedergeben kann. Der Oberheim Sampler Player. Die Idee zu diesem Gerät ist naheliegend. Gerade weil es viel Zeit kostet, Sampels selber zu erstellen, macht es Sinn ein nur wiedergebendes Gerät zu bauen, welches noch dazu fähig ist, Sampels verschiedener Hersteller abzuspielen. Beim Oberheim sind dies Sampels vom EMU 2, Samp, Akai S900 und Prophet 2000. Die Sampels können im Gerät nicht mehr editiert werden, auch verfügt das Gerät über keinen Stereoausgang und kann so nicht alle Sampels in der Originalqualität liefern. Trotzdem erlangt man mit dem Oberheim den Zugriff auf eine riesige Sampilbibliothek und ist nicht auf ein Gerät fixiert.

So oder so: Es gibt viel zu Sampeln. Sampeln wir's ab!!



Mein Kopf der hat zwei Ohren

G. Zielinsky

Hört, hört, zwei Ohren hat er also. Der Kopf. Und eine Stereoanlage hat auch zwei Lautsprecher. Dann sollten zwei Mikrofone für eine Stereoaufnahme doch eigentlich genügen. Stimmt, tun sie auch. Wie

sich dies aber bewerkstelligen läßt, wo man sein Mikrophonpärchen am besten platziert und warum, das soll in diesem Artikel geklärt werden. Eigene Tonaufnahmen sind nämlich langsam salonfähig geworden.

Können doch die Ergebnisse unter günstigen Voraussetzungen durchaus mit professionellen Produktionen mithalten; zumindest an der verfügbaren Technik muß es nicht mehr unbedingt scheitern.

So sind inzwischen Digital-Prozessoren, die Tonsignale digitalisieren und auf fast allen handelsüblichen Videorecordern speichern können, deutlich auf Preise unter DM 2000,- gefallen (Bild 1). Ob der R-DAT nun so oder anders kommt (oder überhaupt nicht), scheint immer noch unklar. Aber auch diese Geräte könnten zu transportablen Aufzeichnungsgeräten allererster Güte avancieren. Die wiederbespielbare CD scheint nach Angaben ihrer Schöpfer auch in nächste Nähe gerückt zu sein, und außerdem gibt es ja nun auch eine Auswahl an hervorragenden Analog-Geräten, wobei da dem guten alten Spulengerät sicherlich der Vorrang gegenüber dem Cassettenspieler zu geben ist. Interessanterweise stehen jedoch die digitalen Aufzeichnungsgeräte an erster Stelle; nicht zuletzt, weil sie u.U. sogar preisgünstiger als ein hervorragendes analoges Gerät sein können.

Alle diese Geräte haben den Vorteil, daß man zwei Mikrofone direkt an sie anschließen kann; bzw. bei der PCM 701 über zwei Mikrophonverstärker. Dies bedeutet: Man benötigt außer zwei guten Mikrofonen keine weiteren technischen Hilfsmittel, wie z.B. ein Mischpult o.ä., was dem End-Ergebnis nur zugute kommen kann, da jedes elektronische bzw. elektrische Zwischenglied das Signal nur verschlechtern, nie aber verbessern kann (höchstens 'verschlimmbessern', wie man zu sagen pflegt). Aufnahmen, bei denen das Signal direkt aufs Band geht, haben eine beeindruckende 'Unmittelbarkeit', natürliche Brillanz und sehr viel 'Druck'.

Allerdings sind für gute Ergebnisse einige Voraussetzungen zu schaffen, um die es hier auch gehen soll. Es muß aber gleich gesagt werden, daß sich prinzipiell keine Pop-Musik nach diesem Verfahren aufnehmen läßt. Jedoch — auch hier gibt es zumindest eine rühmliche Ausnahme. Die LP/CD 'Body and Soul' von Joe Jackson ist (mit Einschränkungen) eine solche 2-Mikrophon-Aufnahme.



Bild 1. Der Sony-Prozessor PCM 701

Allerdings eben mit der Einschränkung, daß die Musik zunächst 'live' über eine PA-Anlage gespielt und verstärkt wurde und dann mit zwei Neumann U49 aufgenommen wurde (Bild 2). Aufnahmeort für diese CD war nicht etwa ein totgedämpftes Studio, sondern ein Raum, in dem vormals Produktionen klassischer Musik stattfanden. Man hört auf dieser CD deutlich die oben beschriebenen klanglichen Vorzüge einer solchen Technik. Wer nun jedoch glaubt, im Probenraum ähnliche Ergebnisse erzielen zu können, der muß leider bitter enttäuscht werden; solche Aufnahmen gelingen nur unter optimalen Voraussetzungen, angefangen bei den Instrumenten und weiter über die Qualität der Technik bis zum benutzten Raum. Letztgenannter Punkt trägt allein 50 % zum Klang einer Aufnahme bei. Die Anwen-

dung der 2-Mikrofon-Technik bleibt also im wesentlichen der rein akustisch produzierten Musik vorbehalten. Dies heißt demnach: Jede Art von klassischer Musik, aber auch fast alle Besetzungen der Folk-Musik (bei uns auch Volksmusik genannt), Skiffle, Jazz etc.. Je größer die Besetzungen werden, desto eher kommt es aber zu Problemen, die sich gemeinhin in mangelnder Ortung sowie musikalischer Nachvollziehbarkeit und schlechter Balance zwischen den einzelnen Instrumenten äußern. Aber auch hier (z.B. bei einer Big-Band) kann man zu guten Ergebnissen kommen.

Bevor nun jedoch das Bankkonto geplündert wird um einen Digital-Prozessor zu erstehen, muß zunächst auf das allerwichtigste Glied in der Auf-

nahmekette eingegangen werden: das Mikrophon nämlich. Eine digitale Aufnahmemaschine mit einem Superrichtmikrophon für den linken Kanal und einem uralten, verstaubten, dynamischen Kugelmikrophon für den rechten Kanal dürfte in den allermeisten Fällen nicht zum erwünschten Ergebnis führen, wie der geneigte Leser zu geben mag. Da vielleicht vielen der Unterschied zwischen den verschiedenen Aufnahmecharakteristiken von Mikrophonen und ihren Vor- und Nachteilen nicht bekannt sein mag, soll hier zunächst darauf eingegangen werden.

Man unterscheidet — was die Richtcharakteristik betrifft — prinzipiell zwischen zwei Mikrophontypen. Das 'Urmikrophon' ist eines mit Kugelcharakteristik, d.h.: Es nimmt den Schall von allen Seiten (theoretisch) gleich gut auf. Hinter dem 'theoretisch' muß allerdings ein großes Ausrufezeichen gemacht werden, denn in der Praxis gibt es immer einige Einschränkungen. So hat jedes Mikrophon eine frequenzabhängige Richtwirkung, die sich im speziellen 'Sound' des Mikros äußert und damit seine speziellen Einsatzmöglichkeiten bestimmt (Bild 3). Tatsächlich nimmt auch jedes Kugelmikrophon höhere Frequenzen bevorzugt von vorn auf. Dies hängt mit der Konstruktion der Kapsel bzw. im wesentlichen mit der Membrangröße zusammen.

Das Nierenmikrophon ist eigentlich eine 'verunstaltete' Kugel.

Die zweite mögliche Aufnahmecharakteristik bei Mikrophonen ist die sogenannte Nierencharakteristik. Solche Typen nehmen bevorzugt von vorn auf und eignen sich also z.B. besonders als Stützmikrophone oder auch als Hauptmikrophone bei größeren Ensembles in großen Räumen (Kirchen). Aber auch für einen Aufbau wie ihn Bild 4 zeigt sind solche Mikrophone geeignet. Die Richtwirkung der Nierenmikrophone wird durch einen physikalischen Trick erreicht, indem ein Teil der akustischen Energie über verschiedene Kanäle der Mikrophon-Membran von hinten gegenphasig zugeführt wird. Das Nierenmikrophon ist also eigentlich eine ganz normale Kugelhöhle, die nur durch ihre mechanische Peripherie eine Nierencharakteristik erhält.

Bild 2. Eine typische Live-Aufnahmesituation mit zwei Mikrophonen.

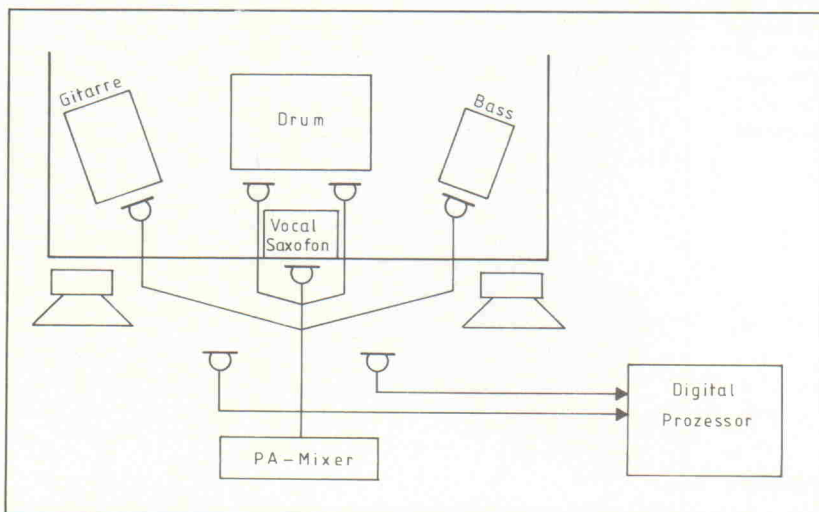
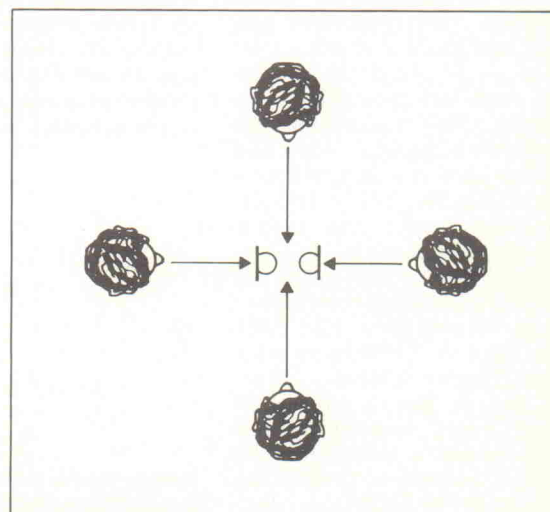


Bild 3. Gesangsproduktion mit einem (Stereo-)Kugelmikrophon. Alle vier Stimmen werden gleich aufgenommen.



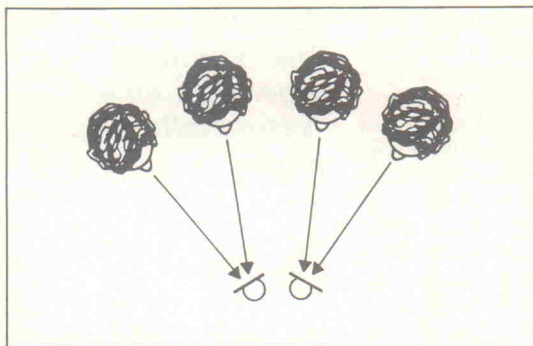


Bild 4. XY-Stereo-Aufnahme mit Nierenmikros.

Durch diesen technischen Trick erkaufte man sich aber auch einen gewissen klanglichen Nachteil (der jedoch auch eine positive Seite hat): der sogenannte Nahbesprechungseffekt. Wer schon einmal ein Mikro 'besprochen' hat, wird die Auswirkungen dieses Effekts kennen. Geht man nämlich mit dem Mund unmittelbar an das Mikrofon, so ergibt sich ein sogenannter 'Bassboost', eine Bassanhebung, die der Stimme durchaus zu angenehmen Volumen verhelfen kann. Auch und gerade in der Popmusik wird dieser Effekt bewußt eingesetzt. Geht es jedoch darum, Instrumente möglichst natürlich abzubilden, so ist dieser Effekt eher störend.

Zusätzlich gesellt sich ein weiterer Effekt zu der besprochenen Bassanhebung. Wird ein Instrument zu nah mikrophoniert — ist der Abstand des Mikrophones zum Instrument also geringer als die Wellenlänge der tiefsten Frequenz, die das Instrument erzeugen kann — so beginnt das Instrument sich tonhöhenabhängig vor dem Mikrofon vor- und zurückzubewegen. Wie bitte!? Hier ein kleines Beispiel. Die C-Saite eines Violoncellos hat einen Grundton von 66 Hz. Bei einer Schallgeschwindigkeit von 340 m/s heißt dies: (Wellenlänge = Schallgeschwindigkeit/Frequenz) $340 \text{ m/s} : 66 \text{ 1/s} = 5,15 \text{ m}$. Um ein Violoncello mit einem Nierenmikrofon aufzunehmen, müßte man also theoretisch einen Abstand von mehr als 5 m haben. Dies dürf-

te in manchen Fällen etwas zu viel sein; drei bis vier Meter sollte der Abstand jedoch durchaus betragen. Wird der Abstand nämlich zu gering, so beginnt das Cello bei tieferen Tönen (anscheinend) näher zu kommen. Es hilft also nichts, wenn Sie die Cellistin festbinden. Es ist das Mikrofon, welches zu nahe steht.

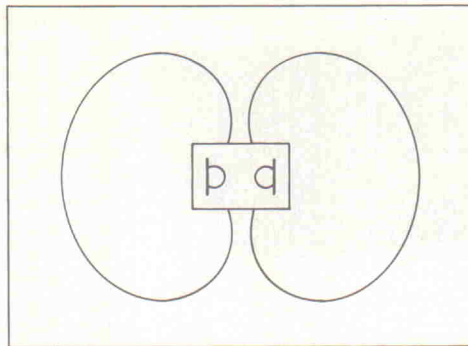
Aus den beiden Grundcharakteristiken Niere und Kugel leiten sich nun weitere Charakteristiken wie Halbkugel oder z.B. Achter-Charakteristik ab. Bei der 'Acht' handelt es sich sozusagen um zwei 'gegenüberliegende' Nierenmikrophone. Solche Mikrophone werden beispielsweise für die Mitte/Seite-Mikrophonie benutzt.

Alle diese Mikrophonarten gibt es als dynamische wie auch als Kondensatormikrophone. Auf die unterschiedliche Bauweise dieser Typen ist bereits im Remix 1 ausführlich eingegangen worden. Es ist sinnvoll, für Aufnahmen akustischer Instrumente ausschließlich Kondensator-

mikrophone zu verwenden, da diese das sauberste Klangergebnis liefern (Bild 6).

Dynamische Mikrophone werden bevorzugt in der Popmusik eingesetzt, da ihre klanglichen Besonderheiten dort eher erwünscht sind. Genauso, wie in der Popmusik bereits ein Mikrofon als klangentscheidendes Filter bewußt eingesetzt wird, geschieht dies in der klassischen (akustischen) Aufnahme ebenso. So unterscheidet sich beispielsweise ein Neumann KM 84 (Niere) klanglich deutlich von seinem entsprechenden Konkurrenten von Schoeps (CMC 5). Während die Neumann-Mikrophone immer eine gewisse Schärfe produzieren, klingen die Schoeps-Mikrophone eher weich. Will man also beispielsweise ein sehr hell klingendes Instrument aufnehmen (Cembalo), so empfiehlt es sich (wenn man denn die Wahl hat!), eher die Schoeps-Mikrophone zu benutzen, um die Helligkeit des In-

Bild 5. Achter-Charakteristik.



strumentes nicht überzubetonen. Ist jedoch die Situation z.B. so, daß man in einem dunkel klingenden Raum aufnimmt, empfiehlt sich eher das Neumann-Mikrofon. Nun gibt es jedoch auch für Schoeps-Mikros auswechselbare Kapseln mit verschiedenen Höhenanhebungen. Relativ neu auf dem Markt der Profikondensator-Kleinmikrophone ist Sennheiser mit dem MKH 40. Dieses Mikrofon zeichnet sich durch einen besonders hohen Pegel aus und kann so den möglichen Rauschabstand, der ja auch von der Verstärkung des Mikrofonverstärkers mitbestimmt wird, um einige dB verbessern. Bei Verwendung vieler Mikrophone innerhalb eines Orchesters, bei sogenannter Multimikrophonie, kann sich dies (bei digitaler Aufzeichnung - versteht sich) bereits deutlich hörbar machen. Zudem zeichnen sich diese Mikrophone durch einen kräftigen, deutlich konturierten Klang aus, der sie z.B. für große Ensembles prädestiniert (Chor und Orchester).



Bild 6. Das rauscharme Sennheiser-Mikro MKH 40

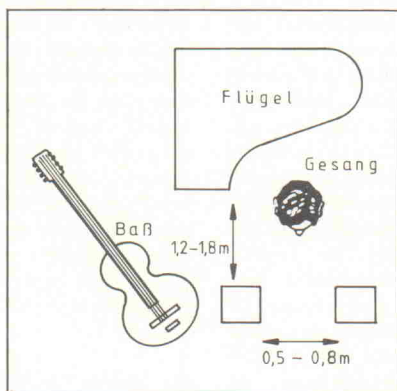


Ganz besonders interessant für die Aufnahme mit zwei Mikrofonen sind die sogenannten Boden- oder Grenzflächen-Mikrophone (Bild 7). Diese Typen, die durch ihre Konstruktion eine sogenannte Halbkugel-Charakteristik aufweisen, zeichnen sich durch außerordentliche Durchhörbarkeit und Neutralität des von ihnen rekonstruierten Klangbildes aus. Es fallen bei ihnen nämlich bestimmte Probleme anderer Mi-

Bild 7. Das Grenzflächenmikrophon C562 von AKG.

ment oder Gesang — erzeugen sie ein weiches, warmes und druckvolles Klangbild. Wichtig bei ihrer Aufstellung ist, daß die Fläche, auf der sie liegen

Bild 8. Anordnung der Bodenmikros bei Gesangs-Klavieraufnahmen.



krotypen fort — z.B. Phasenprobleme und daraus resultierende Kammfiltereffekte. Bodenmikrophone können (wie der Name es bereits vermuten läßt) auf dem Boden vor die Musiker gelegt werden; man kann sie jedoch auch auf harten Schallwänden vor dem Klangkörper stehend montieren. So werden sie z.B. bei modernen Pop-Produktionen als Schlagzeugmikros eingesetzt, indem das Schlagzeug in eine (gekachelte) Ecke gestellt wird und die Mikrophone an den Wänden befestigt werden. Bodenmikrophone eignen sich prinzipiell zur Aufnahme jeglicher akustisch erzeugten Musik. Bei kleineren Besetzungen — beispielsweise Klavier solo oder Klavier mit einem Instru-

ment oder an der sie hängen, akustisch 'hart' ist; Böden aus Holz eignen sich hervorragend — ebenso ein harter Steinboden einer Kirche. Sollen diese Mikrophone live verwendet werden, muß man natürlich darauf achten, daß sie nicht gerade direkt vor den ersten Sitzreihen liegen, um erstens keine Fußgeräusche oder ähnliches mit aufzunehmen und zweitens eine mögliche Dämpfung durch Zuhörer zu vermeiden. Bei kleineren Besetzungen kann man es sich jedoch durchaus erlauben, ziemlich dicht an die Instrumente heranzugehen. Ebenso darf die Basisbreite nicht zu groß sein (Bild 8).

Die Platzierung, die Höhe und der Abstand der Mikrophone

zueinander ist zunächst von dem Ensemble abhängig, welches man aufnehmen will. Eine mögliche Aufstellung unter Verwendung von Grenzflächen-Mikrophenen ist bereits dargestellt worden. Diese Aufstellung wäre für ein Solo-Klavier im übrigen ebenso anwendbar, wie für ein Klavier mit einem weiteren Instrument. Bei einer reinen Klavierproduktion oder Mitschnitt mit herkömmlichen Mikrophenen empfiehlt sich z.B. eine Aufstellung nach Bild 9. Die Mikrophone sollten sich auf der eingezeichneten Linie befinden und einen Abstand von rund 2,5 bis 3 Metern haben. Der Abstand der Mikrophone zueinander kann dabei um die 30 cm betragen.

Man unterscheidet bei der Hauptmikrophonierung prinzipiell zwischen zwei Techniken: die sogenannte XY-Technik und die

Bild 9. Aufnahme mit 'normalem' Mikrofon.

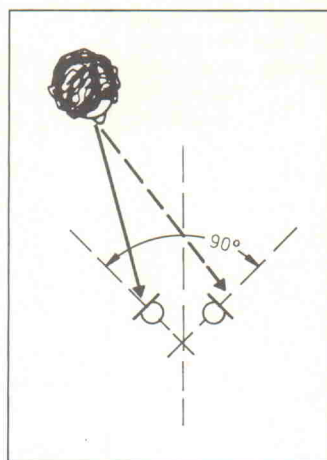
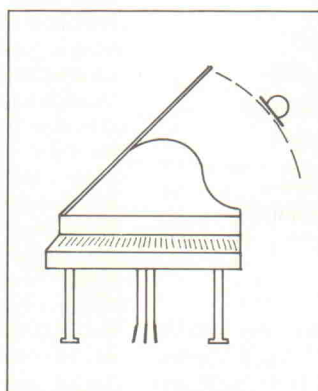


Bild 12. Die XY-Technik basiert auf Lautstärkedifferenzen.

Wirkung eines Panpots auf ein Monosignal in einem Mischpult. Die XY-Stereophonie führt zu einem sehr ortungsscharfen Bild und wird oder wurde früher meist im Rundfunk verwendet, da bei diesem Verfahren keine Phasenprobleme zwischen dem linken und rechten Kanal auftauchen, was für Rundfunkübertragungen Schwierigkeiten bringen kann. Das gleiche gilt (mit Einschränkungen) für die Produktion von analogen Schallplatten.

Bei der AB-Technik dagegen werden die Mikrophone parallel zueinander aufgestellt (Bild 13). Hierbei verwendet man meist Kugelmikrophone. Die so erzeugte Stereowirkung wird nicht durch die unterschiedlichen Lautstärkeverhältnisse an den beiden Mikrophenen hervorgerufen, sondern durch das sogenannte 'Prinzip der zuerst einfallenden Wellenfront' — auch Haas-Effekt genannt. Die Erkenntnisse des Herrn Haas besagen, daß unser Gehirn bei

AB-Technik. Bei Verwendung der XY-Technik werden die Mikrophone in einem Winkel von 90 Grad zueinander aufgestellt (Bild 12). Hierbei verwendet man normalerweise Nieren-Mikrophone. Dies führt zur sogenannten Intensitäts-Stereophonie, d.h.: Die Ortung der Schallquelle zwischen den Lautsprechern geschieht im wesentlichen durch die Lautstärkeunterschiede der beiden Kanäle. Dies entspricht fast der

Bild 13. AB-Aufnahmen werden die Laufzeitunterschiede zwischen den Mikrophen aus.

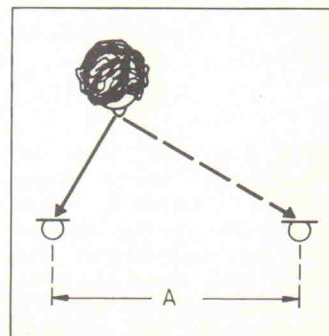
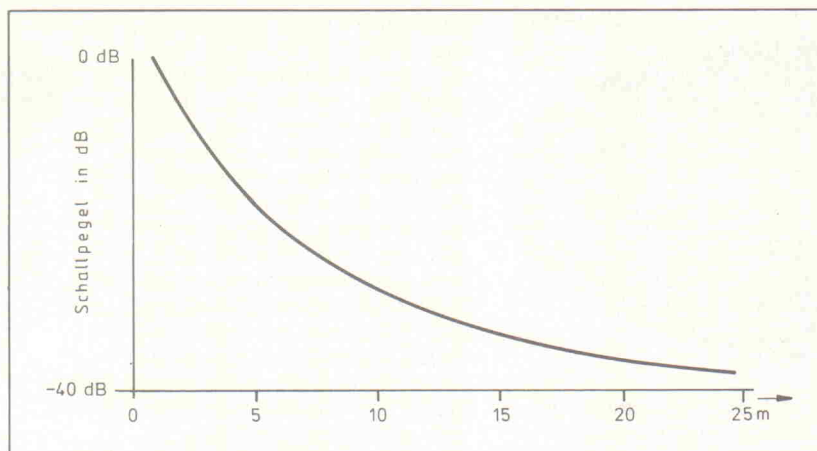


Bild 10. Der Pegelabfall des Direktschalls ist über der Raumgröße konstant.



der Richtungsart von Schallquellen fast ausschließlich die zeitlich zuerst einfallende Wellenfront auswertet — auch wenn das Schallereignis mit gleichem Pegel an den Ohren ankommt. Hierbei genügen dem Ohr Zeitunterschiede, die im Millisekundenbereich liegen. Wie man im Bild 13 erkennt, ist der Pegelunterschied vor allem bei Verwendung von Kugelmikrofonen zwischen linkem und rechtem Mikrofon äußerst gering. Dadurch, daß das Signal jedoch zuerst auf das linke Mikrofon trifft, wird es hinterher auch wieder an dieser Stelle, nicht extrem rechts, geortet. Diese Art der Stereophonie erzeugt ein sehr offenes Klangbild und vermittelt dem Hörer das Gefühl, mit in den Raum einbezogen zu sein. Die Art der Übertragung entspricht im übrigen auch unserem natürlichen Hören, das im wesentlichen eine AB-Stereophonie ist. Es können allerdings Phasenprobleme auftauchen, die jedoch bei allen Systemen, bei denen die beiden Stereokanäle getrennt übertragen werden (Compact Disc, Tonband) ohne Folgen bleiben. Das Ohr empfindet diese Phasendifferenzen, sobald sie nicht gerade 180° groß werden, sogar als angenehm (siehe auch Remix 1, Korrelationsgradmessung).

Wer's hat, kann sich nun einen kleinen Leckerbissen zusammenbasteln. Anstatt der Verwendung ausschließlich von Kugel- oder Nierenmikrofonen kann man auch beide Typen 'koppeln', d.h. mit einer

sogenannten Parallelspeisung die Mikrophone im Verhältnis 1:1 mischen. Dies setzt allerdings voraus, daß die Phantomspeisung für die Kondensatormikrophone nicht schlapp macht und ebenso die Mikrofonvorverstärker nicht, da sich durch die Kopplung ja die

Je weniger Nachhall ein Raum hat, desto weiter kann man mit den Mikrofonen vom Instrument weggehen.

Ausgangsimpedanz der Mikrophone halbiert. Auch dürfen sich die Mikrophone nicht gegenseitig beeinflussen. Dies schließt z.B. die Verwendung von dynamischen Mikrofonen aus. Schließlich sollte man

in jedem Falle Mikrophone des gleichen Typs nehmen, auf denen lediglich verschiedene Kapseln sitzen (z.B. Neumann KM 83/84).

Der Abstand der Mikrophone zum Klavier ist nicht nur von der Art der Musik, dem Klavier selber und nicht zuletzt vom Geschmack des Tonmeisters abhängig, sondern auch von dem verwendeten Raum und dessen 'Hallradius'. Der Hallradius gibt den Punkt im Raume an, an dem sich der Direktschall (vom Instrument kommend) mit dem vom Raume reflektierten Schall pegelmäßig genau die Waage hält. Der Direktschall nimmt mit einem Verhältnis von $1/r$ ab, wobei 'r' der Abstand zum Instrument ist. Hieraus ergibt sich ein Verhalten des Direktschalles im Raum wie in Bild 10 sichtbar. Dieser Abfall ist in jedem Raume konstant, also unabhängig vom Raum.

Nicht konstant hingegen ist das Reflexionsverhalten von Räumen. Das sogenannte statistische Schallfeld, welches den von Wänden, Böden und Decken reflektierten Schall beschreibt, ist in jedem Raum anders und läßt sich durch eine Formel — bestehend aus Raumgröße (in m^3), Absorptionsgrad und weiteren Größen — ausdrücken, an die man jedoch nur äußerst umständlich herankommt. Der gesunde Menschenverstand sagt einem aber auch ohne Formel: Je weniger Nachhall ein Raum hat, desto weiter kann man mit den Mikrofonen vom Instrument weggehen, ohne ein zu diffuses, undeutliches Klangbild zu erhalten. Der Abstand der Mikrophone zueinander, bzw. die Größe des Winkels bei einer XY-Aufstellung bestimmt die Breite der Abbildung zwischen den Lautsprechern. Je größer der Abstand bzw. Winkel, desto größer wird die Abbildung. Um eine natürliche Abbildung zu erreichen, sollte ein Klavier sicherlich nicht den ganzen Raum zwischen den Lautsprechern einnehmen in dem Sinne, daß man die Bässe rechts hört und die hohen Töne links. Die sollte eher bestimmten Klangeffekten in der Pop-Musik vorbehalten sein. Trotzdem sollte die Gesamtheit des Klaviers mit dem zusätzlich eingefangenen Raum die ganze Breite der Lautsprecherbasis überstreichen.

Bei einem Orchester hingegen dürfen die ersten Geigen ruhig aus der linken und die Bässe aus der rechten Box kommen. Ein Streichquartett sollte z.B.

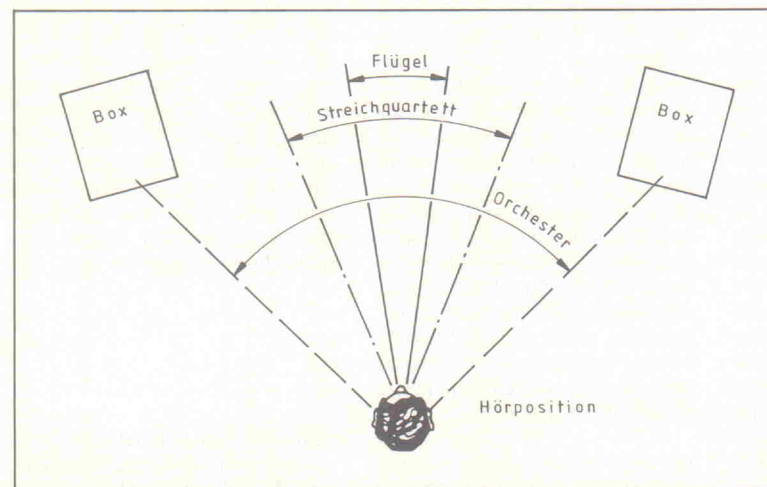
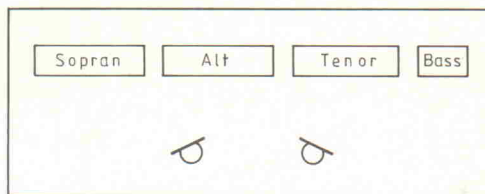


Bild 11. Die subjektive Wahrnehmung von Projektionen verschiedener Instrumentengruppen.

Bild 14. Aufnahme eines Chors: Mikrophonhöhe = drei Meter



rund zwei Drittel der Fläche einnehmen (Bild 11). Wohlge-merkt, es handelt sich hierbei nicht um eine Einengung der Stereowirkung, sondern nur um die bewußt wahrgenomme- ne Breite einer Instrumenten- gruppe. Bei Verwendung einer AB-Kugelaufstellung füllt man durch den Haas-Effekt durch- aus die ganze Lautsprecherbrei- te aus. Trotzdem wird das Kla- vier von seiner Ortung her als Quasi-Punktschallquelle emp- funden.

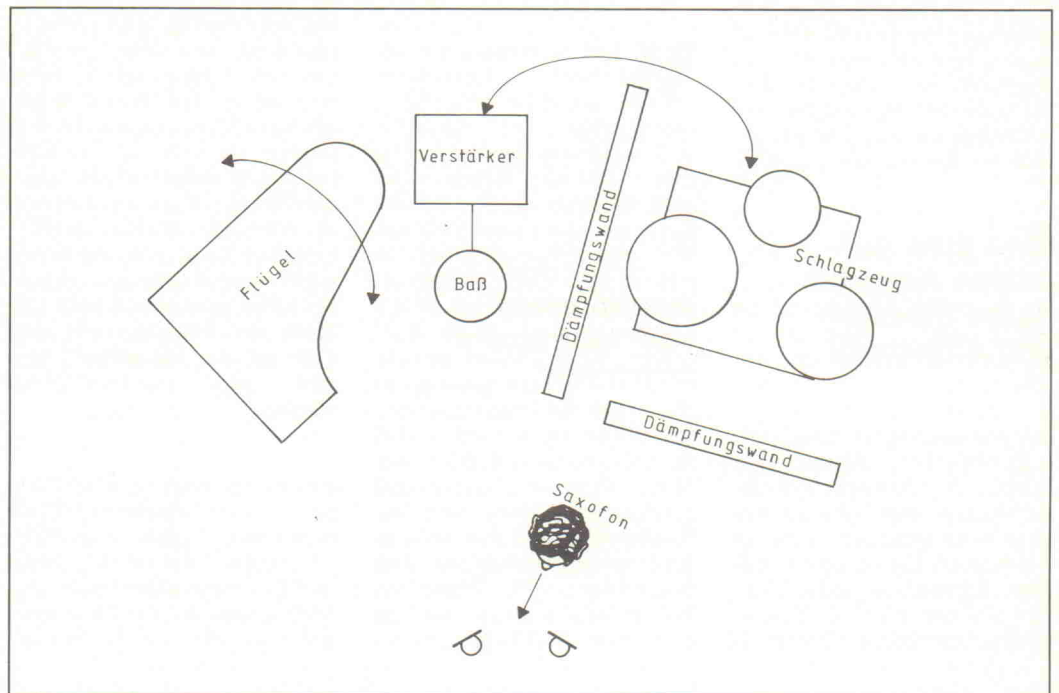
stellt sich normalerweise gestaf- felt in zwei Reihen auf. Wenn aber das Hören der einzelnen Stimmgruppen untereinander gewährleistet bleibt und der Klang nicht inhomogen wird, kann man die Sänger auch ne- beneinander aufstellen (Bild 14). Die Mikrophone stehen dabei jeweils vor Alt und Tenor und zeigen auf Sopran und Bass. Auch bei Verwendung von Kugelmikrophonen macht sich das Ausrichten der Mikro- phone durch ihre begrenzte

eignen sich im übrigen Boden- mikrophone hervorragend. Normale Mikrophone sollten in einem Abstand von mindestens drei Metern und einer Höhe von 2,7 bis 3,5 Metern stehen. Richten Sie die Mikrophone zwischen die ersten und zweiten Geigen bzw. zwischen Violon- celli und Bässe. Blechblasin- strumente sollten nach Mög- lichkeit nicht direkt auf die Mi- krophone spielen, da die Richt- wirkung dieser Instrumente zu hohen Frequenzen hin extrem ist.

Versuchen wir nun noch einen Schritt hin zu moderneren En- sembles zu machen. Obwohl man Jazz/Folk-ähnliche Grup- pen oder gar Big-Bands mehr- fach mikrophoniert, kann man

es sich um ein 'Jazz-Schlag- zeug' mit entsprechendem Klang handeln und nicht um eine Rock-Donnerbude. Der Kontrabaß sollte in jedem Falle über einen entsprechenden Ver- stärker spielen und seine Posi- tion eventuell mit dem Schlag- zeug tauschen. Sollte der Bas- sist partout nicht über einen Verstärker spielen wollen, muß er weiter nach vorne geholt werden und sich zur akusti- schen Verstärkung auf ein Holzpodest stellen. Der Flügel kann durch Drehen in seiner Lautstärke ebenfalls beeinflusst werden; falls er zu laut sein sollte, kann man versuchen den Deckel zu schließen, was je- doch den Klang dumpfer wer- den läßt. Das Saxophon kann vorne in einem Abstand von rund einem Meter vor dem Mi-

Große Ensembles, Orchester oder Chöre, sollten von einem entsprechenden Abstand und höherer Warte aus betrachtet werden. Bei großen Werken kommt es beim Abstand der Mikrophone zum Klangkörper neben dem Hallradius vor allen Dingen auf die Art und die intendierte Wirkung der Musik an. So ist es kaum sinnvoll in einer Kirche auf eine Leiter zu klettern und die Mikrophone vor der Orgel in einem Abstand von drei Metern zu montieren. Orgelmusik bezieht immer die Wirkung eines großen Raumes mit langem Nachhall mit ein. Vor allen Dingen Werke fran- zösischer Meister brauchen diesen langen Hall, da er in die Werke quasi mit einkomponiert ist, so daß eine zu dichte Abnahme der Orgel ein voll- kommen falsches Abbild erge- ben würde.



Ähnliches gilt für die Aufnah- me von Chören in Kirchen, wo- bei hier wiederum die Durch- hörbarkeit der einzelnen Stim- men mit zu berücksichtigen ist und sicherlich ein gewisses Maß an Textverständlichkeit. Wäh- rend der Abstand der Mikro- phone in einer großen Kirche zur Orgel durchaus zwanzig bis dreißig Meter betragen kann, sollte man an einen Chor schon auf sechs bis sieben Meter her- angehen. Wenn Sie eine richti- ge Produktion mit dem Chor machen, sollten Sie gegebenen- falls auch Einfluß auf seine Aufstellung nehmen. Ein Chor

Richtwirkung bemerkbar. Die Höhe der Mikrophone sollte rund drei Meter betragen. Hier- bei gilt es jedoch die Höhe ge- nau auszuprobieren, da sich bereits durch ein Verschieben um wenige Zentimeter der Klang dramatisch verändern kann.

Die Aufnahme eines gro- ßen Symphonieorche- sters benötigt ebenfalls eine gewisse Zeit des Probie- rens und Veränderns. Hierzu

auch hier mit zwei Mikrophen gute Ergebnisse erreichen. Dabei sollte man sich jedoch mit viel Geduld wappnen, da die Abmischung quasi vor dem Mikrofon vorzunehmen ist. Die Balance muß also durch den Abstand der Instrumente zum Mikro und durch die Rich- tung, in die sie spielen, gemacht werden. Bild 15 zeigt die mögliche Aufstellung einer Jazzfor- mation. Das Schlagzeug kann mit ein oder zwei Schallwän- den, die jedoch nicht höher als einen Meter sein sollten, leicht bedämpft werden. Auch sollte

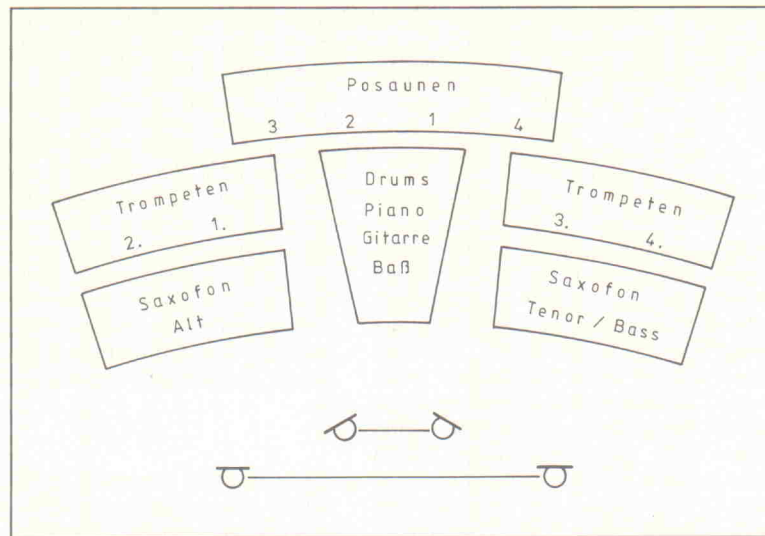
Bild 15. Aufzeichnung einer Jazzgruppe. Die Pfeile deuten mögliche Positionsveränderungen an.

Mikrofone

krofon stehen, welches sich jedoch in einer Höhe von zwei bis drei Meter befinden soll. Durch Drehen des Saxophones vom Mikro weg wird die Balance verändert und so kann auch der Saxophonist seine Lautstärke innerhalb des Stückes entsprechend mitregulieren. Das Schlagzeug kann weiter zurückgestellt werden; eventuell kann sich der Baß etwas vor die Drums stellen. Die Höhe des Mikrophones bestimmt im wesentlichen den Obertongehalt der Aufnahme und nimmt in der Aufstellung nach Bild 15 ebenso starken Einfluß auf das Verhältnis des Saxophons zu den anderen Instrumenten. Hier bieten sich also weitere entscheidende Eingriffs- und Manipulationsmöglichkeiten. Die Mikrofonwahl gestaltet sich bei dieser Aufnahmesituation recht schwierig. Eigentlich sollte man Nierenmikros bevorzugen, um die Balance besser in den Griff zu bekommen. Auf der anderen Seite macht sich der Nahbesprechungseffekt gerade bei Saxophonen durch ei-

Eine gute Aufnahme fängt bei guten Steckern und Kabeln an.

nen unangenehmen 'Bauch' extrem bemerkbar. Hierbei lohnt es sich z.B., die Koppelpeitsche aus Kugel- und Nierenmikrophonen zu benutzen. Sollte es sich jedoch herausstellen, daß man aufgrund der raumakustischen Verhältnisse die Mikros nicht allzu hoch hängen muß,



so lassen sich auch hier Kugelmikrophone einsetzen.

Wichtig neben einer optimalen Einstellung und Balance der Band untereinander ist natürlich auch wiederum der zur Verfügung stehende Raum. Und noch wichtiger ist dies bei der Aufnahme einer Big-Band mit zwei Mikrofonen. Bild 16 zeigt den normalen Aufbau einer Big-Band, wobei jedoch die Rhythmusgruppe für die Aufnahme in die Mitte gerückt wurde. Die Instrumentengruppen sollten auf Podesten sitzen. Das Wichtigste ist hierbei, daß die Saxophone sich gegen das Blech (Posaunen/Trompeten) durchsetzen können. Die Mikrophone sollen also vorwiegend auf sie gerichtet sein. Die Sitzposition von Trompeten und Posaunen kann man (je nach raumakustischen Gege-

benheiten) u.U. gegeneinander austauschen. Eventuell kann auch das Schlagzeug mit auf die hinterste Ebene. Der Aufbau der Stimmen untereinander geschieht dabei immer von innen nach außen. Innen sitzen also die ersten und zweiten Stimmen. Die ersten beiden (hohen) Stimmen der Trompeten sitzen dabei auf der gleichen Seite, wie die Altsaxophone. Abstand und Höhe des Mikrophons muß sich wiederum nach raumakustischen Gegebenheiten richten und nach der Höhe der Podeste. In jedem Falle soll eine Höhe von 3 Metern nicht unterschritten werden.

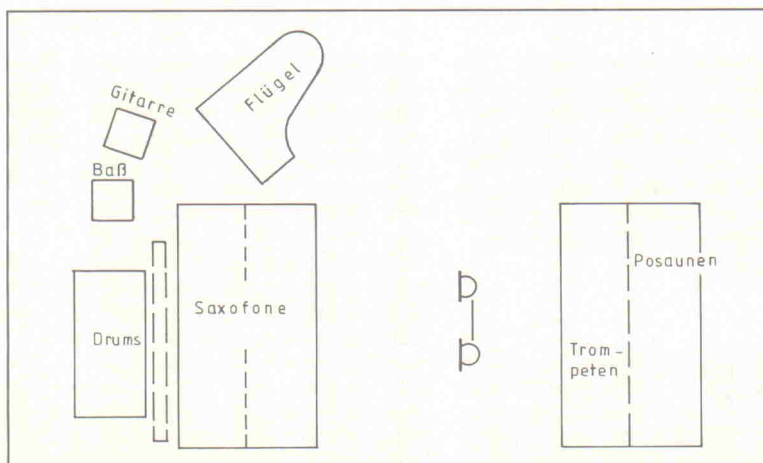
Einen interessanten, wenn auch nur zu Aufnahmезwecken möglichen Aufbau zeigt Bild 17. Hierbei stehen sich Holz und Blech gegenüber, wobei die Mikrophone auf das Holz und, wie man sieht, auf das Schlag-

Bild 16. Selbst eine Big-Band läßt sich mit zwei Mikrofonen aufnehmen.

zeug gerichtet sind. Die Instrumentengruppen sitzen in sich so aufgebaut, wie im vorherigen Bild und, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet, nach Möglichkeit auf Podesten. Das Schlagzeug sollte mit einer niedrigen Trennwand versehen werden. Sollte es dann immer noch zu laut sein, muß es auf der anderen Seite hinter dem Blech positioniert werden. Dies hat jedoch den Nachteil, daß die meist gewünschte Brillanz der Becken und der Snare etwas leidet. Sitzt das Schlagzeug nicht hinter den Saxophonen, kann das Holz vor eine harte Wand gestellt werden, um dessen Präsenz zu erhöhen. Der Abstand des Bleches zum Hauptmikro bestimmt nun sein Lautstärkeverhältnis zum Rest der Band. Gleiches gilt für Baß, Gitarre und Klavier.

Wenn Sie nun losziehen und es nicht auf Anhieb klappen sollte, seien Sie nicht enttäuscht und geben Sie vor allen Dingen nicht irgendwelchen (fehlenden) Geräten die Schuld. Übung macht auch hier den (Ton-) Meister. Wenn Sie eine Band finden, die Ihnen Zeit zum Ausprobieren läßt, seien Sie dankbar, aber nutzen Sie 's nicht bis zum Umfallen aus. Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, daß für eine gute Aufnahme jedes Detail eines Equipments in Ordnung sein muß. Es hat also keinen Zweck an Mikrofonständern, Gummidämpfern und vor allen Dingen an vernünftigen Kabeln und Steckern zu sparen.

Bild 17. Etwas geänderter Aufbau einer Big-Band für optimierte Aufzeichnung.



ct magazin für
computer
technik

DAS ELEKTRONISCHE MAGAZIN
INPUT 64
Infos - News - Programme - Unterhaltung - Tips

magazin für elektronik
elrad

HIFI VISION

VIDEO
VISION

TRUCK LIFE

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



SOUND Info anfordern!
LAUTSPRECHER
P. A. - BOXEN
BÜHNENELEKTRONIK
EQUIPMENT
Kohlenstr. 12
4630 Bochum
TEL. 0234/450080

Hallo Musiker!
**ALU-Profile, Schlösser,
Ecken, Griffe, Rollen,
Kabel, Stecker,
Buchsen, Speaker,
Effekte, Endstufen,
4-Spur-Recorder ...**
... gibt's bei uns zu günstigen
Preisen. Wir schicken
Euch den Gratis-Katalog.
Postkarte genügt.

SoundRent
MUSIKWARENHANDEL, PA-VERLEIH
vormals jodo-electronic
Bieberer Str. 141 · 6053 Obertshausen
Tel. 061 04/4 41 35

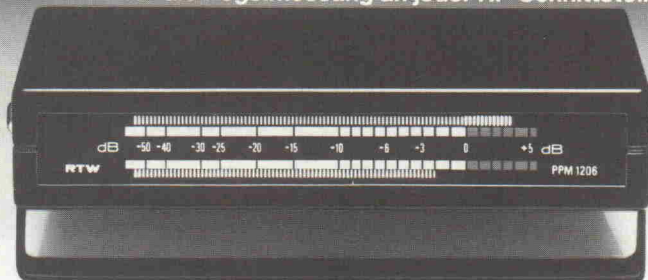
HiFi Boxen
young & modern

elrad extra

2x jährlich.
An Ihrem Kiosk
oder direkt ab
Verlag.

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

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. 62 22/4 61 64 · 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. 40/42 44 55 · Tx. 59 281



**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
 - Noise Gate
 - Parametrischer Equalizer
 - Exciter
 - Vor- und Mischverstärker
 - Frequenzweiche



Schwarzwaldstraße 53
6082 Mörfelden-Walldorf
Tel.: (0 61 05) 4 12 46

SCHMITRONIC GMBH.
— der professionelle Studioeinrichter —

GEBRAUCHTGERÄTE
aus Studioauflösungen und anderen
Gelegenheiten (Listenauszug)

EMT orig. Hallplatte	ab 1 000,— DM
LEXICON PCM 60	1 800,— DM
LEXICON 224.4.4	19 950,— DM
EVENTIDE H949	
Harmonizer	3 300,— DM
UREI 1176 LN	
Kompressor	1 140,— DM
NEUMANN KM88i	
Mikrofon	900,— DM
Neumann KM84i	
Mikrofon	684,— DM
Neumann TLM170i	
Mikrofon	1 596,— DM
TELEFUNKEN M5c,	
stereo	
Mastermaschine	
0,75 mm	3 990,— DM
TELEFUNKEN M12A,	
stereo	
Mastermaschine	
0,75 mm	1 710,— DM
TELEFUNKEN M10,	
stereo	
Mastermaschine mit	
Röhrentechnik	
mit o. o. Truhe	2 690,— DM
AMPEX MM1100	
16 Spur	11 400,— DM
MCI JH16/24 24 Spur	
mit Loc. Vari, Spuranw.	39 900,— DM
Siemens Sitral Mischp.	
10/2 komplett	8 500,— DM
NEVE BCM10 Mischpult	10 800,— DM

Studiolochbahnregler mit langem
Schiebeweg — viele Typen lieferbar —

**TESTBAND für die
Maschineneinmessung**

Weppertape 1/4" 320nWb Referenz	
Frequenzdurchlauf	
m. —10 dB bis 18 kHz.	
1/4" 38 cm CCIR	139,— DM
1/2" 38 cm CCIR	268,— DM
1" 38 cm CCIR	516,— DM
2" 38 cm CCIR	900,— DM

Alle Meßbänder auf AMPEX-Tape

Außerdem in unserem

Vertriebsprogramm:

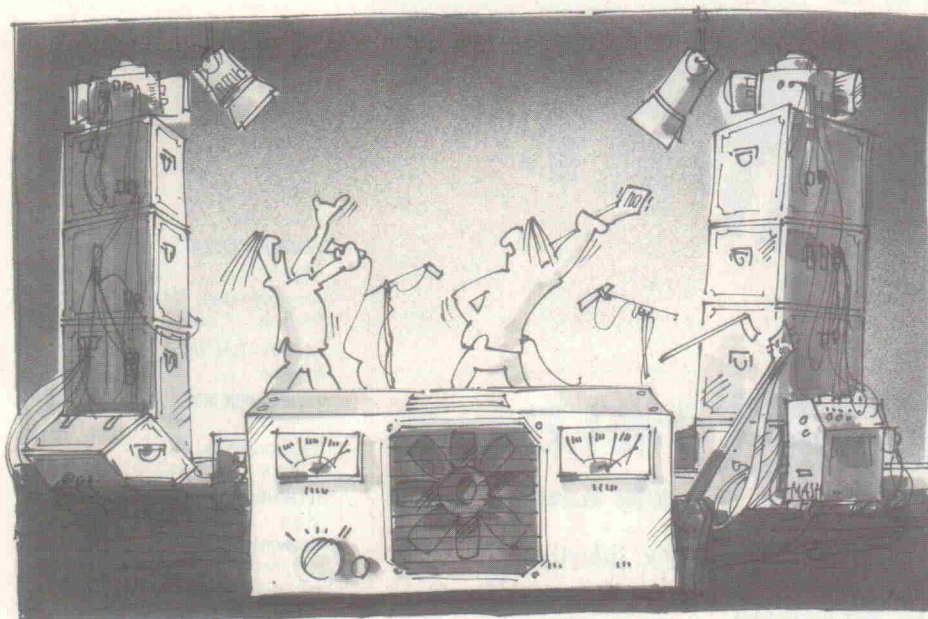
AXR / AMPEX / AGFA / BEYER /
FOSTEX / JBL / RTW / SHURE /
RANE / TEAC-TASCAM / UREI / EMT /
MCI / SYMMETRIX / SECK / LEXICON /
K & H / SENNHEISER / SONY /
SEIKO / SCHOEPS / AKG / PENNY &
GILES / MAGNASOUND / TANNOY /
WEBBER / ENTEC / usw.

Bitte fordern Sie unsere kostenlose
Liste mit vielen weiteren Angeboten!!!

Lieferung solange Vorrat reicht.
Zwischenverkauf vorbehalten!
ALLE PREISE INCL. MWST!

SCHMITRONIC hat's oder besorgt's
Fragen Sie zuerst uns!!

SCHMITRONIC GMBH.
Luchsweg 79
5024 Pulheim 1
Tel. 022 38/69 95



500 W-MOSFET-PA

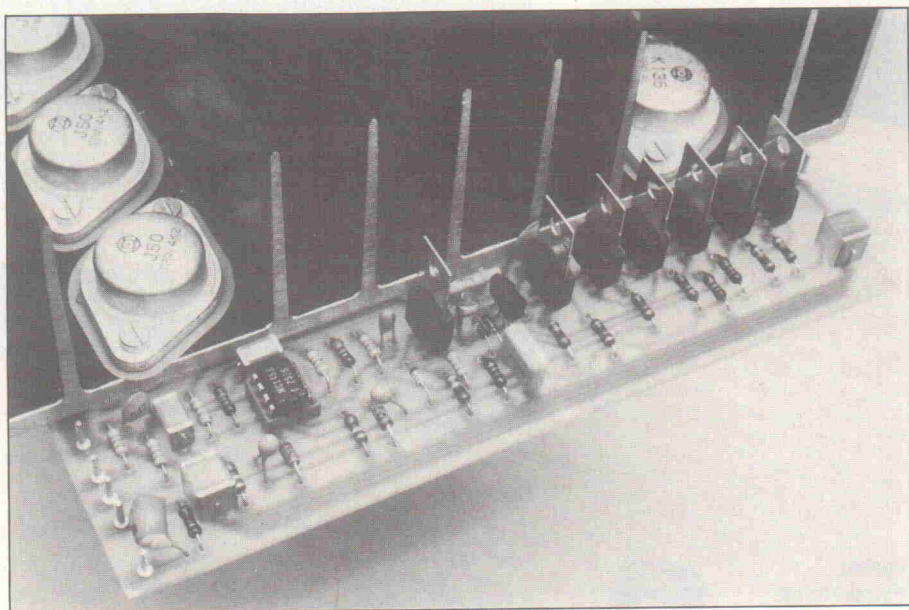
H. J. Heckert

Der wachsenden Zahl von audiophilen, lötfesten Lesern, die sich nicht auf die Beschallung der eigenen vier Wände beschränken wollen, bieten wir einen wohl einmaligen Leckerbissen: Die komplette Bauanleitung für eine 1,1-kW-Stereo-Endstufe mit sämtlichen Features, die eine professionelle PA auszeichnen. Dieser Bereich war bislang ausschließlich den teuren Fertiggeräten vorbehalten. Der Selbstbau in dieser Leistungsdimension erscheint den meisten als zu abschreckend: Schließlich werden an PA-Komponenten höchste Anforderungen hinsichtlich der Betriebszuverlässigkeit gestellt. Aus diesem Grunde wird der Schwerpunkt dieses Beitrags eindeutig die speziellen Aspekte der PA-Technik berücksichtigen; die 1001. Revolutionierung der HiFi-Schaltungstechnik wird man hier vergeblich suchen. Im übrigen möchten wir hier wieder einmal den Beweis antreten, daß ein nachbausicheres Konzept durchaus machbar ist, wobei wir den Vergleich mit käuflichen Spitzenprodukten nicht zu scheuen brauchen.

‘Du lieber Himmel’, mag jetzt so mancher Leser denken, ‘werden die bei elrad jetzt größenwahnsinnig? Wer braucht denn schon 2x550 Watt?’ Klar, für das Wohnzimmer ist solch ein ‘Geschoß’ mindestens eine Nummer zu groß, es sei denn als Boxenkiller. Ganz anders sieht es jedoch im Bereich der Diskotheken- und Life-Musik-Beschallungen aus. In durch-

schnittlichen Sälen für 400 Personen sind Verstärkerleistungen im kW-Bereich inzwischen an der Tagesordnung, bei Open-Air-Veranstaltungen im größeren Rahmen werden meistens einige 10 kW installiert. Die größten Leistungen erfordert naturgemäß der Baßbereich. Typische Tieftonchassis der Spitzenklasse sind mit 300 bis 400 Watt Sinus belastbar, die Standard-Impedanz beträgt generell 8 Ohm. Ein Endstufenkanal mit 550 Watt an 4 Ohm ist daher genau das Richtige, um ein großes Baßhorn mit zwei parallel geschalteten 15''-Speakern voll auszusteuern.

In derselben Leistungskategorie liegen die bekannten Bose Profiboxen Typ 901. Um vier Stück davon mit ‘gutem Druck’ fahren zu können, wären unsere beiden Kanäle voll beansprucht. Für den durchschnittlich ‘betuchten’ Soundmacher sind derartige Systeme allerdings unerschwinglich, deshalb sind Lautsprecher mit 150 bis 200 Watt Belastbarkeit am weitesten verbreitet. Eine Anpassung der 500W-MOSFET-PA an diese Leistungsklasse ist durch Herabsetzung der Sekundärspannung des Netztrafos leicht möglich, und zwar ohne Eingriffe in die Schaltung. Dies hat den Vorteil, daß jetzt die volle Nennleistung von 550 W bei einer Impedanz von zwei Ohm zur Verfügung steht. Diese Möglichkeit der Impedanz-Umschaltung ist erfahrungsgemäß vor allem im Monitorbetrieb interessant, können doch pro Kanal vier 8-Ohm-Boxen parallel gespeist werden. Verwendet man ein entsprechend



Die Ansteuerelektronik für 500 satte Watt.

Technische Daten

Sinusdauerleistung	550 Watt / 4 Ohm pro Kanal
Spannungsfrequenzgang	23 Hz — 28 Hz +0/—1 dB 12 Hz — 45 kHz +0/—3 dB
Leistungsbandbreite an 4 Ohm	10 Hz — 40 kHz
maximale Slewrate	20—30 V/ μ s an 4 Ohm
Eingangsspegel für Vollausssteuerung	0,707 V = —0,8 dBm
Verstärkung	63,7-fach = 36 dB
Eingangsimpedanz	22 kOhm
DC-Offset	ca. 1 mV
Fremdspannungsabstand 20 Hz — 20 kHz, bezogen auf Vollausssteuerung	—104 dB
Dämpfungsfaktor (1 kHz, 4 Ohm, Vollausssteuerung)	mind. 200-fach
max. Ausgangsstrom	± 35 A

umschaltbares Netzteil, so ist auch ein gemischter Betrieb denkbar, also der eine Kanal mit 4 Ohm für die Saalbeschallung und der andere mit 2 Ohm für Monitor.

Brückenbetrieb ist ohne zusätzliche Bridgekonverter möglich, da elektromagnetisch symmetrierte Eingänge bereits vorhanden sind. Allerdings weiß niemand so recht, was man mit 1,1 kW an 8 Ohm anfangen kann, außer damit einen Toaster (amerikanische Ausführung mit 117 V Netzspannung) im Takt der Musik zu heizen.

Die eigentliche Schaltung baut auf bewährten Hifi-Konzepten auf, und da dieses Thema mit zahlreichen Artikeln und Bauanleitungen hinreichend abgehandelt ist, können wir uns ganz auf die Punkte konzentrieren, die gerade den Unterschied zwischen professionellen PA-Endstufen und Heim-Hifi ausmachen.

Insgesamt simulieren diese Testprozeduren denkbar ungünstige Bedingungen ('worst case tests').

Für eine erste Übersicht ist es zweckmäßig, in Stichworten einen Katalog der Anforderungen in Form einer Checkliste zusammenzustellen. Die aufgeführten Kriterien lassen sich ganz allgemein zur Beurteilung beliebiger PA-Endstufen heranziehen, die beschriebenen Testprozeduren vermitteln das Rüstzeug, um mit verschärften Tests im Rahmen der natürlichen Aus-

lese Verstärker auf ihre Bühnentauglichkeit hin abzuklopfen.

① Elektrische Dauerstresstauglichkeit unter allen Bedingungen:

- entsprechende Kühlung
- entsprechende Netzteile
- entsprechende Endtransistoren

② Unempfindlichkeit gegen Bedienungsfehler:

- Unter-Impedanz/Kurzschlußfestigkeit
- Übertemperatur-Abschaltung
- überspannungsfeste Eingänge
- HF-Übersteuerungsfestigkeit

③ Außerdem:

- stabiles Arbeiten an jeder Last ohne Schwingneigungen
- Lautsprecherschutz bei Verstärkerdefekt
- Subsonicfilter
- Softstart
- keine im Geräteinneren verborgenen Schmelzsicherungen
- möglichst geringes Einschaltgeräusch
- niedriger DC-Ausgangsoffset
- symmetrische Eingänge
- ausreichende Empfindlichkeit
- einfache Schaltungstechnik mit möglichst wenig Trimmern, modularer Aufbau mit wenig Verdrahtungsaufwand
- mechanische Stabilität, 19"-Gehäuse

Diese Zusammenstellung vermittelt bereits einen Vorgeschmack auf die im Vergleich zu Hifi-Komponenten ganz anders gelagerten Bewertungskriterien.

Anhand der Checkliste wird im folgenden das Endstufenkonzept entwickelt. Breiten Raum nimmt hier das 'Drumherum' ein, die Schaltungsdetails des eigentlichen Powermoduls kommen gesondert am Schluß. Wo es notwendig ist, werden entsprechende Prüf- und Meßmethoden sowie deren Resultate angegeben. Insgesamt simulieren diese Testprozeduren denkbar ungünstige Bedingungen ('worst case tests'). Wenn ein Verstärker alle diese Härte-tests gut übersteht, ist man nach menschlichem Ermessen voll 'auf der sicheren Seite'. Dem Verfasser standen folgende Meßgeräte zur Verfügung:

Einstrahloszilloskop mit Tastkopf
Sinus/Rechteckgenerator von 2 Hz bis 200 kHz

Toneburstgenerator mit unabhängig einstellbarer Burstlänge, Pausendauer und Frequenz

Analogthermometer mit LM 3911
induktionsarmer Hochlastwiderstand 2, 4 und 8 Ohm

Kondensatorbox von 2,2 nF bis 6,8 μ F
Effektivwertmesser

Meßwiderstand 0,01 Ohm

Bandpaßfilter 20 Hz bis 20 kHz

Am weitesten verbreitet ist die passive Außenkühlung; d.h. die Wärmeabfuhr erfolgt ausschließlich über die Eigenkonvektion, wobei die Kühlkörper zugleich die Seitenwände des Gehäuses bilden. Dies funktioniert in der Praxis gut bis in die Leistungsklasse von rund 2 x 300 W. Bei höheren Leistungen wird eine Zwangskühlung mit Lüftergebläse unumgänglich, will man nicht monströse Kühlkörper in Kauf nehmen. Um die 2 x 550 W innerhalb eines 4HE hohen 19"-Gehäuses unterbringen zu können, wurde deshalb von vornherein eine Ventilator Kühlung eingeplant. Um dem Rechnung zu tragen, enthält die Platine des Verstärkermoduls bereits ein für diese Anwendung optimiertes Kühlkörperprofil. Durch entsprechenden Zusammenbau zweier Kanäle zu einem Stereoblock entsteht ein doppelter Kühltunnel, der in Verbindung mit den zwei Ventilatoren ein äußerst leistungsfähiges und kompaktes Kühlaggregat ergibt.

Damit bei kleinen Abhörlautstärken das Lüftergeräusch nicht stört, werden

diese erst beim Erreichen von ca. 60 °C Kühlkörpertemperatur eingeschaltet.

Härtetest: 1 Stunde Dauerbetrieb bei maximal möglicher Verlustleistung, d.h. 1 kHz Rechteckansteuerung bei halber Aussteuerung.

Entgegen einer weitverbreiteten Annahme ergibt sich die maximale Verlustleistung nicht bei $2/\pi = 63,7\%$ Sinus-, sondern bei 50% Rechteckansteuerung. In diesem Fall ist die Verlustleistung gleich der abgegebenen Leistung und beträgt 50% der maximal entnehmbaren Sinusleistung, also knapp 300 Watt pro Kanal.

Bei 20 °C Umgebungstemperatur erreichte der Kühlkörper 80 °C, so daß selbst im ungünstigsten Fall keine Übertemperaturabschaltung zu befürchten ist.

Separate Netzteile haben den Vorteil, daß beim Ausfall eines Kanals wenigstens noch der verbliebene Zweig betrieben werden kann. Hinzu kommen erheblich verminderte Probleme der gemeinsamen Masseleitung vor allem bei unsymmetrischer Eingangsbeschaltung. Im übrigen lassen sich zwei getrennte Netztransformatoren leichter in das mechanische Konzept integrieren als ein einziger, zentraler Netztrafo.

Dauertests zeigten, daß nicht nur der Brückengleichrichter, sondern auch der Netztrafo gekühlt werden sollten. Immerhin müssen bei Vollast rund 50 Watt Verlustleistung abgeführt werden. Aus diesem Grund werden die Trafos auf eigene Kühlprofile gesetzt. Diese Kühler bilden zugleich die Seitenwände und tragen zur mechanischen Stabilität bei.

Dauerbelastung der Netzteile: Die größte Leistungsentnahme ergibt sich bei voll übersteuerter Endstufe und 4 Ohm Lastwiderstand. Die Transformatoren benötigen etwa eine Stunde, um die Endtemperatur zu erreichen, ganz sicher geht man bei zwei Stunden Dauertest.

Bei rund 1 kW Leistungsabgabe erwärmt sich der Transformator auf 70 bis 80 °C.

Grundsätzlich kommen sowohl bipolare als auch MOSFET-Transistoren in Frage. Die Wahl fiel auf MOSFETs und zwar auf die Hitachi-Transistoren 2SK 135/2SJ50. Deren besondere Vorzüge sind:

- Die niedrige Ansteuerleistung ermöglicht einfache Treiberschaltungen.
- Der niedrige Temperaturkoeffizient der Gatespannung macht Ruhestromstabilisierungen überflüssig.
- Die engtolerierten Kennlinien lassen Parallelschaltung ohne Sourcewiderstände zu.
- Für echt komplementäres Design sind passende p-Kanal-Typen verfügbar.
- extreme Robustheit.

Der letzte Punkt mag so manchen zum Widerspruch reizen, haftet der MOS-Technologie doch allgemein der Ruf an, sehr empfindlich auf statische Aufladung zu reagieren. Die hier verwendeten Typen sind aufgrund der integrierten Schutzdioden diesbezüglich unkritisch. Im Gegensatz zu bipolaren Transistoren entfällt der 'Abschnürbereich' mit der charakteristischen Verlustleistungsabnahme zu höheren Arbeitsspannungen hin (second breakdown). Hinzu kommt, daß MOSFETs kurzzeitig erheblich höheren Belastungen widerstehen. So garantiert Hitachi 400 Watt Verlustleistung bei 10 ms Dauer. Tatsächlich überstand der Verstärker in Labortests Kurzschlüsse ohne die vorgesehene Strombegrenzung. Hierbei wurden Spitzenströme von ± 100 A entsprechend einer Impulsverlustleistung von rund 1,2 kW pro Transistor gemessen! Auch Hochfrequenzschwingungen lassen diese Arbeitspferde kalt! In der etwa viermonatigen Entwicklungsphase ist kein einziger MOSFET ausgefallen. Dabei traten Schwingungen im Bereich von 3 bis 20 MHz auf, und zwar bei der vollen Betriebsspannung von ± 85 V.

Kurzschlüsse des Endstufenausganges sind bei Verwendung von Klinkenkabeln bereits vorprogrammiert. Konstruktionsbedingt wird jeder Klinkenstecker beim Einstecken bzw. beim Herausziehen über die Klinkenbuchse zeitweise kurzgeschlossen. Eine weitere Fehlerquelle sind Kurzschlüsse durch abgerissene

Lötverbindungen innerhalb der Stecker. Aus diesen Gründen ist Kurzschlußfestigkeit ein absolutes Muß. Die entsprechende Schutzfunktion nach der Holzhammermethode übernimmt hier die elektronische Ausgangsstrombegrenzung in Verbindung mit der Primärsicherung des Netzteils: Im Kurzschlußfall steigt der Ausgangsstrom auf ± 25 A an, das Netzteil wird kurzzeitig überlastet und der Sicherungsautomat springt heraus. Der Abschaltwert für Unter-Impedanz liegt im 4-Ohm-Bereich bei 2 Ohm.

Ein PA-Verstärker sollte von vornherein eine ausreichend dimensionierte Kühlung aufweisen, so daß im Normalbetrieb nie kritische Temperaturen erreicht werden. Schließlich ist es äußerst lästig, wenn sich während der Show ein Verstärker zeitweilig abschaltet. Die Aufgabe des Übertemperaturschutzes sollte sich allein darauf beschränken, den Verstärker bei einem Ausfall des Kühlaggregates zu schützen.

Um den Kühlkörper auf kritische Temperaturen aufzuheizen, muß man sich schon etwas einfallen lassen. Am einfachsten ist es, ein Modul vor dem Einbau, also ohne die Zwangskühlung der Ventilatoren, aufzuheizen (s. Härtetest im Abschnitt Kühlung). Die fertig aufgebaute Endstufe kann entweder durch Abklemmen der Ventilatoren oder Einwickeln in eine Decke aufgeheizt werden.

Bei typisch 95 °C Kühlertemperatur wird der Verstärkerkanal primär abgeschaltet. Die Schalthysterese ist kleiner als 1 °C.

Immmer wieder kommt es vor, daß man eine Endstufe direkt mit einem anderen Lautsprecherausgang ansteuern muß, z.B. wenn keine passende Eingangsverzweigung vorhanden ist. Die hierbei auftretenden hohen Pegel muß der Verstärkereingang problemlos verarbeiten können. Es ist daher zweckmäßig, den Eingangsabschwächer ohne zusätzliche Aktivelektronik direkt vor den Eingang zu setzen, zusätzliche Sicherheit gewährleisten die auf der Platine befindlichen Schutzwiderstände R1 und R2.

In der Praxis können HF-Schwingungen durch Rückkopplung innerhalb des gesamten Systems entstehen. Häufig werden sie durch defekte Mikrofonkabel oder ähnliche Fehler ausgelöst. Selbst bei voller Übersteuerung mit einer hohen Frequenz von beispielsweise 100 kHz dürfen weder der Verstärker noch die 'Bouche-rot'-Glieder Schaden nehmen.

Im Idealfall sollte das Ausgangssignal beim Betreiben mit sämtlichen in Frage kommenden Verbrauchern in keiner Weise verfälscht werden. Bei reeller, d.h. rein ohmscher Belastung ist das zumeist unproblematisch. Die Schwierigkeiten stellen sich erst ein, wenn anstelle des Labormesswiderstandes eine reale Lautsprecherbox angeschlossen wird. Am bekanntesten ist der Effekt, daß die Eigenkapazität einer längeren Lautsprecherleitung manche HiFi-Verstärker instabil werden läßt und sie in Hochfrequenzsender verwandelt. Hinterhältigerweise merkt man das meist erst dann, wenn sich der Hochtöner bereits geräuschlos verabschiedet hat.

100 %ige Schwingstabilität gegenüber Kondensatorlast ist deshalb schwierig zu überprüfen, weil in vielen Fällen Oszillationen nur innerhalb begrenzter Kapazitätsbereiche und bei bestimmten Ansteuerpegeln auftreten. Hinzu kommt, daß manche Unstabilitäten bei Sinus-, andere ausschließlich bei Rechteckansteuerung zu beobachten sind.

Bei einem Endstufendefekt kann es nur noch darum gehen, die angeschlossenen Lautsprecher vor Schaden zu bewahren.

Um sämtliche in Frage kommenden Möglichkeiten dieses 'Multiparameterproblems' in den Griff zu bekommen, wurde eine umschaltbare Kondensatorbox angeschlossen und zur Ansteuerung ein sogenannter 'Toneburst' verwendet. Hierbei handelt es sich um eine periodisch ein- und ausgeschaltete Sinusschwingung. Indem die Schaltzeitpunkte mit den jeweiligen Scheitelwerten der Sinusschwingung synchronisiert werden, ergeben sich maximale

Schaltflanken. Ein solches Signal enthält gleichzeitig Sinus- und Rechteckanteile, so daß in einem einzigen Arbeitsgang alle Unstabilitäten erfaßt werden können.

Bei Vollaussteuerung mit 1-kHz-Toneburst arbeitet die Endstufe stabil an kapazitiver Last im Bereich von 2,2 nF bis 6,8 μ F (Reihe E6).

Weniger bekannt ist der Effekt, daß reale Lautsprecher selbst eine mehr oder weniger phasendrehende Last darstellen und damit entsprechende Stabilitätsprobleme aufwerfen. Vor allem in der Nähe der Eigenresonanz der Tieftöner ebenso wie in den Übernahmehereichen der passiven Frequenzweichen finden entsprechende Zeitverschiebungen zwischen Strom und Spannung statt, so daß im Nulldurchgang der Spannung der Strom nicht mehr auf Null zurückgeht. Bei Vollaussteuerung können in Extremfällen 'Blind'ströme in Höhe des maximalen Ausgangsstroms auftreten. Die Folge ist eine beträchtliche Zunahme der Verlustleistung, wobei die erlaubten Arbeitsbereiche der Endtransistoren (safe operating area = SOA) schnell überschritten werden. Hier zeigt sich das Dilemma der so beliebten Kurzschlußsicherungen mit elektronischer Verlustleistungsbegrenzung ('SOA-limited protection'): Sie schützen zwar die Endtransistoren, begrenzen aber den Ausgangsstrom im Spannungsnulldurchgang auf so niedrige Werte, daß bei Vollaussteuerung schon mittlere Phasendrehungen die Strombegrenzung aktivieren. Diese schaltet dann in jedem Nulldurchgang die Endtransistoren kurzzeitig aus, wodurch kräftige Spannungsspitzen entstehen. Diese äußern sich in sehr unangenehmen 'kratschenden' Verzerrungen, gerade so, als ob der Lautsprecher defekt sei. Um diesem Problem zu begegnen, muß der Verstärker eine entsprechende Blindstromreserve aufweisen. Aus diesem Grunde wird nur eine einfache Spitzenstrombegrenzung vorgesehen, so daß der maximale Ausgangsstrom von ± 35 A bei jeder Ausgangsspannung zur Verfügung steht. Natürlich setzt dies entsprechend belastbare Endtransistoren voraus. Die bereits erwähnte phänomenale Überlastbarkeit der MOSFETs gewährleistet einen sicheren Betrieb auch bei starken Phasendrehungen.

Große Blindströme lassen sich simulieren, indem man direkt in den Lautsprecher Ausgang des Verstärkers Strom einspeist. Als passender Leistungsgenerator steht uns der jeweils freie Kanal des Stereoblocks zur Verfügung ('Hilfskanal'). Man braucht lediglich wie bei der Brückenschaltung beide Ausgänge über einen 4-Ohm-Widerstand zu verbinden und den Hilfskanal voll auszusteuern. Da der Eingang des Testkanals hierbei nicht angesteuert wird, wird dieser Verstärker versuchen, trotz Stromeinspeisung von außen die Ausgangsspannung möglichst nahe null Volt zu halten. Die an diesem Ausgang meßbare 'Restspannung' ist ein Maß für den 'Großsignaldämpfungsfaktor', d.h. die Fähigkeit der Endstufe, bei Vollaussteuerung den Lautsprecher zu bedämpfen ('Großsignaldämpfungsfaktor').

Am Ausgang des Testkanals wird bei Vollaussteuerung des Hilfskanals (1 kHz und 4 Ohm) eine Restspannung von $\pm 0,3$ V Sinus gemessen. Hieraus errechnet sich ein Großsignaldämpfungsfaktor von mindestens 200 für 1 kHz und 4 Ohm, bei 12 kHz beträgt er noch mindestens 100.

Da es trotz aller Schutzmaßnahmen keine absolute Sicherheit geben kann, muß man auch einen Endstufendefekt ernsthaft einkalkulieren (Lit.(1)). Als Folge erscheint mit fast tödlicher Sicherheit die volle Betriebsspannung an der Lautsprecherbuchse, und es kann jetzt nur noch darum gehen, die angeschlossenen Lautsprecher vor Schaden zu bewahren. Dies ist die Aufgabe des Gleichspannungsschutzes ('DC-protect'): So wie eine gefährliche Gleichspannung am Ausgang erscheint, muß der Stromkreis in einer vertretbaren Zeit abgeschaltet werden. Vertretbar heißt hier einerseits möglichst schnell, andererseits aber langsam genug, so daß die Schutzschaltung nicht schon durch Tiefbaß- oder Rumpelgeräusche ausgelöst wird. Dieses Problem wird durch Koordination mit dem Subsonic-Filter gelöst, auf diese Weise schlägt man zwei Fliegen mit einer Klappe: Einerseits schneidet das Subsonic-Filter überflüssiges und leistungsfressendes 'Tieftonpumpen' mit 12 dB/Okt unterhalb 20 Hz weg. Andererseits kann

man jetzt das Tiefpaßfilter für eine relativ schnelle Ansprechzeit dimensionieren und geht dennoch sicher, daß selbst übersteuerte, tiefste Baßtöne von der Schutzschaltung ignoriert werden.

Die vielgeplagten Bühnentechniker wissen ein Lied davon zu singen: Das Einschalten der Endstufentürme erscheint manchmal schier unmöglich.

Oft braucht man dafür zwei Leute: Einen Mann am Sicherungsautomaten und einen, der die Endstufen der Reihe nach einzeln einschaltet. Spätestens beim Hinzuschalten des letzten Powerblocks fliegt der Automat heraus, und das bedeutet: Sämtliche Endstufen wieder abschalten, den Sicherungsautomaten einschalten und von vorne beginnen. Diese 'never-ending-story' entspringt keinesfalls der Phantasie des Autors, sondern gehört zur alltäglichen Erfahrung. Schuld an dem Übel sind die hohen Einschaltstromspitzen der Netzteile, die vor allem bei älteren E-Installationen mit flinken Sicherungsautomaten zu den erwähnten Problemen führen. Doch auch hierfür

gibt es eine Lösung: Der Softstart bewirkt, daß beim Einschalten der Stromstoß auf erträgliche Werte begrenzt wird, eine Automatik sorgt zusätzlich dafür, daß auch nach einem Netzspannungsausfall die Wiedereinschaltung immer über den Softstart erfolgt. Übrigens wird diesem Problem bis heute selbst bei Spitzenprodukten kaum Rechnung getragen.

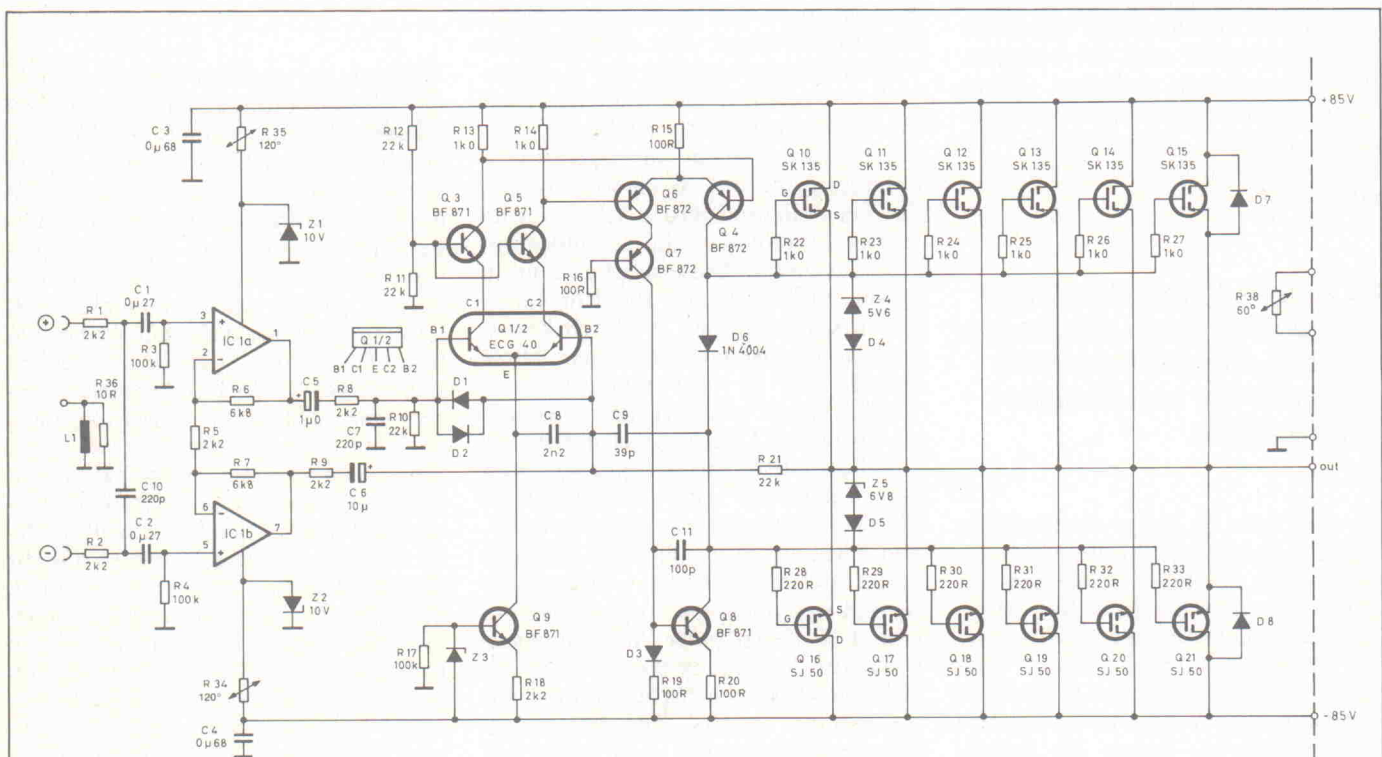
Die restlichen Stichworte der Checkliste brauchen an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt zu werden, sie werden im Rahmen der Schaltungsbeschreibung erläutert.

Ein erster Blick offenbart nichts Außergewöhnliches, allenfalls die Schlichtheit der Schaltung mag überraschen. Tatsächlich ist dieses Konzept das Resultat zahlreicher fehlgeschlagener Versuche, völlig andere Wege zu beschreiten. Am Ende ist eine Schaltung herausgekommen, die formal weitgehend mit einer Hitachi-Applikation übereinstimmt. Die Beschreibung kann sich daher auf die teilweise versteckten Details beschränken, die dem Ganzen erst den 'Pfiff' verleihen.

Die elektronische Symmetrierung erfolgt über die beiden Eingangs-Operationsverstärker und die als echter Differenzverstärker arbeitende Endstufe. Alles zusammen entspricht dem aus der Meßtechnik geläufigen 'Instrumentation Amplifier'. R1 und R2 dienen der Eingangsstrombegrenzung bei Überspannungen, in Verbindung mit C10 bilden sie ein HF-Filter. Das Subsonicfilter besteht aus R3, R4, C1, C2 und R8, R9, C5, C6. Der verwendete OpAmp vom Typ 4558 rauscht wenig, verkraftet hohe Eingangs differenzspannungen und liefert eine saubere Slewrates-Begrenzung. Er ist von daher den Typen TL 072 oder NE 5532 unbedingt vorzuziehen.

Statt wie üblicherweise über Vorwiderstände wird der OpAmp über Kaltleiter aus der Betriebsspannung versorgt. Deren eigene Regelcharakteristik bewirkt, daß schon bei kleinen Betriebsspannungen — also am Anfang der Aufladephase der Netzteilkelos direkt nach dem Einschalten — der OpAmp bereits normal arbeitet. Dies und der symmetrische Aufbau des Endverstärkers gewährleisten minimales Einschaltknacken auch ohne Relais.

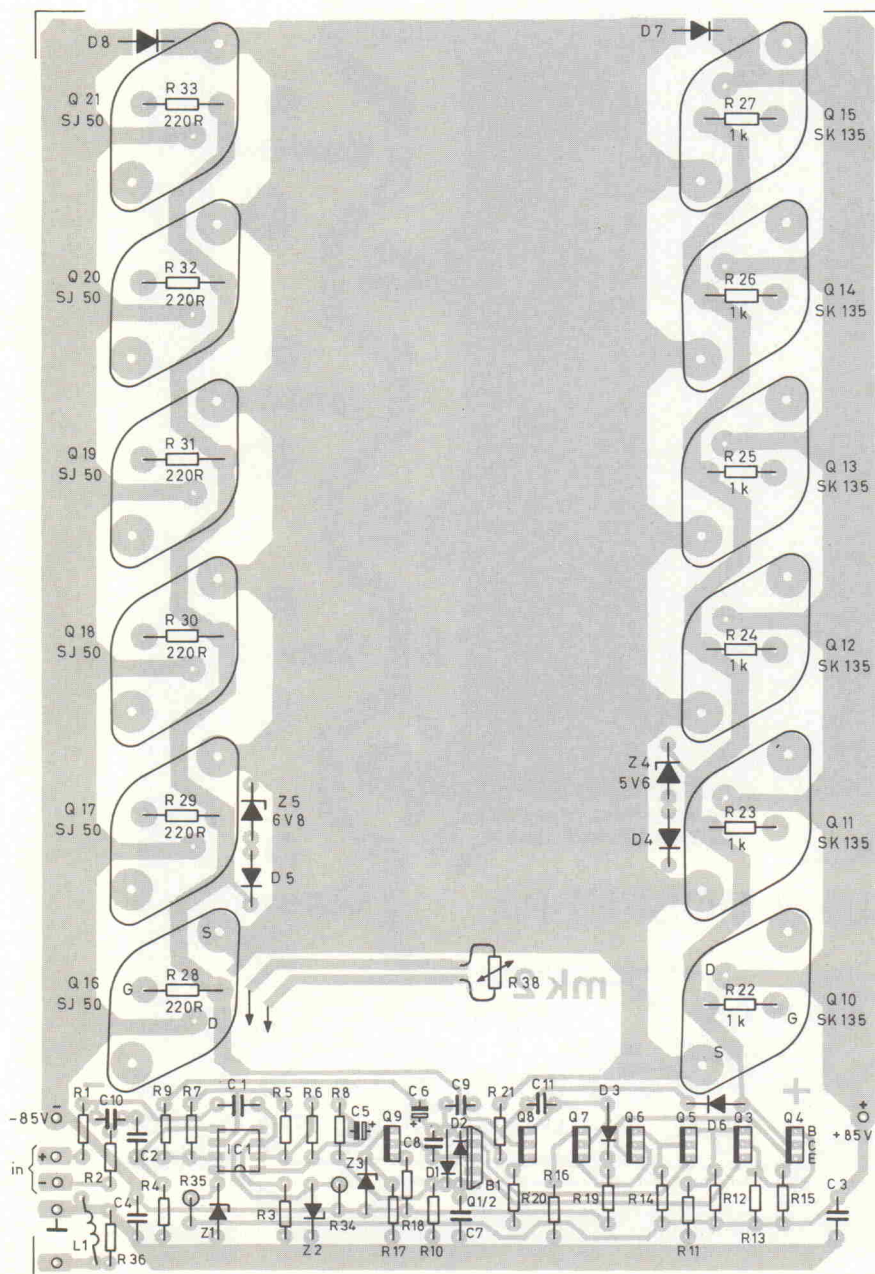
Das Differenzverstärkerpaar Q1/2



Das Schaltbild für die 500 W-MOSFET-PA.

(ECG 40) zeichnet sich durch geringes Rauschen, niedrige Offsetparameter und hohe Stromverstärkung bei maximal 100 V Kollektor-Emitterspannung aus.

Damit die zulässige Kollektor-Emitter-spannung des Differenzpaares Q1/2 in keinem Fall überschritten werden kann, wird mit Q3 und Q5 deren Kollektorspannung auf ca. ± 42 V herabgesetzt. Eine Begrenzung der Emitter-spannung auf ± 42 V ergibt sich aus der im Verhältnis von 2:1 geteilten Eingangsspannung über R21, R10, D1



Stückliste

Widerstände $\frac{1}{4}$ W, 5 %

R1,2	2k2
R3,4	100k
R5	2k2 1 %
R6,7	6k8 1 %
R8,9	2k2 1 %
R10	22k 1 %
R11,12	22k
R13,14	1k0
R15,16	100R
R17	100k
R18	2k2
R19,20	100R
R21	22k 1 %
R22—R27	1k0
R28—R33	220R
R34,35	Kaltleiter 120° Siemens Typ P390 C40
R36	10R
R38	Kaltleiter 60° Siemens Typ P330-C13

Kondensatoren

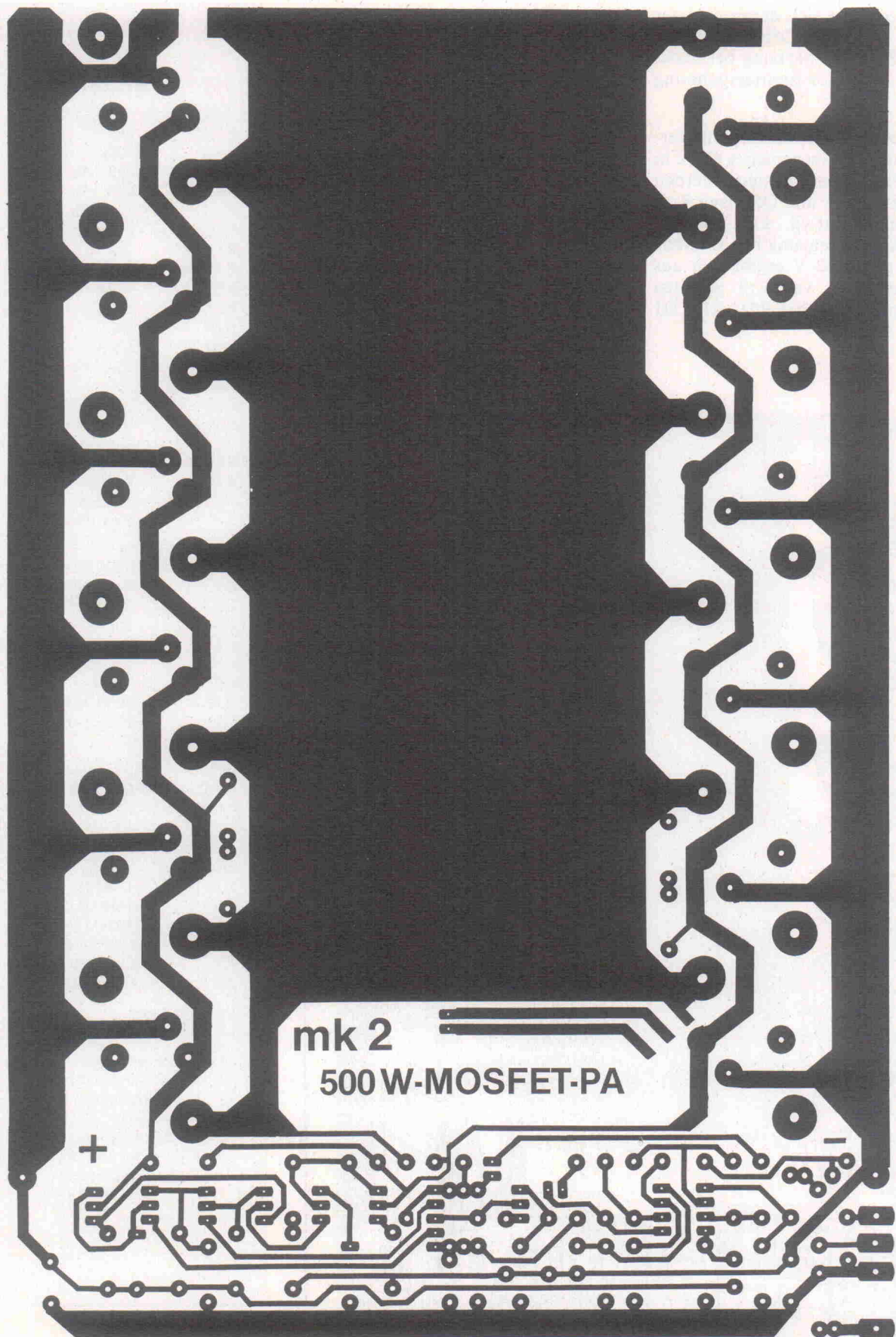
C1,2	0 μ 27 MKT/RM 7,5
C3,4	0 μ 68 MKT/RM 7,5
C5	1 μ 0/35 V Elko
C6	10 μ /35 V Elko
C7	220pF MKT/RM 7,5
C8	2n2 MKT/RM 5
C9	39p ker./RM 5
C10	220p MKT/RM 5
C11	100p ker./RM 5

Halbleiter

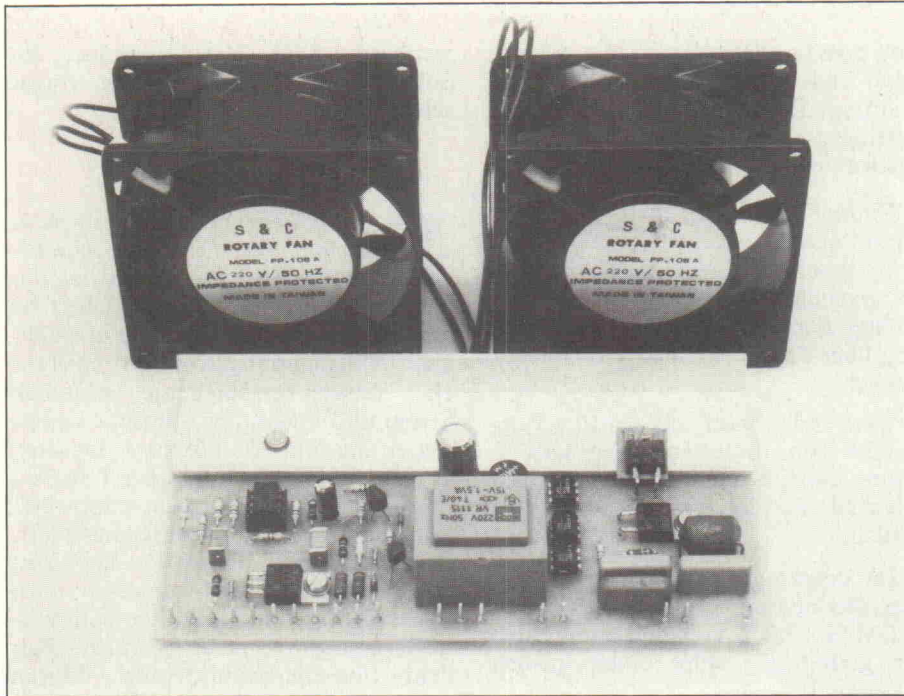
IC1	MC 4558
Q1,2	ECG 40
Q3,5,8,9	BF 871
Q4,6,7	BF 872
Q10—Q15	2SK 135
Q16—Q21	2SJ 50
D1—D5	1N4148
D6—D8	1N4005
Z1,2	10V/1,3 W
Z3	C4V7/400 mW
Z4	C5V6/400 mW
Z5	C6V8/400 mW

Verschiedenes

L1	FCX Drossel
24	Isoliernippel
24	M3x16 Schrauben
24	M3 Federringe
24	M3 Muttern
12	Glimmerscheiben
1	Kühlkörper 200 mm SK 53 (Fischer) Thermischer Widerstand 0,4 °K/W
1	Platine



Das Platinen-Layout der 500 W-MOSFET-PA.



Die Kontroll-Platine mit den beiden Lüftern.

und D2. Dies verhindert zugleich das sogenannte 'latchup': Wenn die Basisspannung an Q1/2 die Kollektorspannung überschreiten könnte, würden Q3 und Q5 sowie die gesamte Treiberschaltung stromlos werden und der Ausgang würde gegen die Betriebsspannung driften.

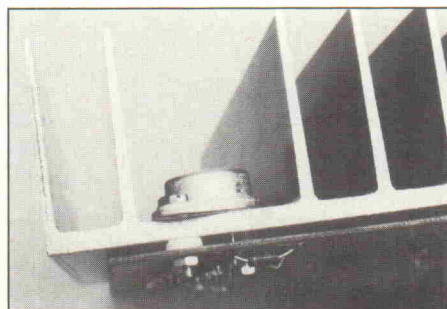
Treiberschaltung (Q4 bis Q8) positive Halbwelle: Der Differenzverstärker Q4/Q6 hat sowohl eine hohe Verstärkung als auch schnelles Schaltverhalten. Bei 3,5 mA Querstrom im Ruhezustand ist der Spitzenstrom auf 10 mA begrenzt.

Negative Halbwelle: Der aus Q8 gebildete Stromspiegel liefert ebenfalls 10 mA Spitzenstrom und verdoppelt die Leerlaufverstärkung. D6 erzeugt die Vorspannung für den Ruhestrom, ein Trimmer entfällt. Z4/Z5 in Verbindung mit D4/D5 begrenzen die maximale Gatespannung der Endtransistoren und damit den Ausgangsstrom auf ca. ± 35 A.

Für Stabilität gegen wilde Schwingungen sorgen C8 bis C11. Durch entsprechend dimensionierte Gate-Vorwiderstände wird das unterschiedliche Schaltverhalten der n- und p-Kanal MOSFETs symmetriert. Der auf der Platine befindliche Kaltleiter R38 dient zur Kühlkörpertemperaturüberwachung und wird elektrisch mit der Steuerplatine verbunden. Die Masseleitung auf der Platine ist 'lo-noise-

gnd' und wird über L1/R36 mit der Betriebsspannungsmittel verbunden.

Der Zusammenbau des Powermoduls dürfte keine Probleme bereiten. Bei der Bestückung beginnt man am besten mit den Widerständen, dann folgen die Lötnägel, Transistoren, Kondensatoren und Kaltleiter. Am Schluß wird der Kühlkörper montiert. Um eine einwandfreie Isolation und eine korrekte Positionierung zu gewährleisten, werden in alle TO3-Löcher Iso-Nippel gesteckt; das Loch für den Thermofühler wird mit etwas Wärmeleitpaste eingestrichen. Jetzt wird die Platine auf den Kühler gelegt, und nun kann man mit der isolierten Montage der Endtransistoren beginnen (siehe Skizze im letz-



Montage der Endtransistoren.

ten Heft). Nachdem alle Schrauben festgezogen sind, werden die Transistoren und die Gatevorwiderstände eingelötet. Wenn die restlichen Bauteile auf der Lötseite eingelötet worden sind (D4, D5, D7, D8, Z4, Z5), ist das Powermodul fertig.

Man sollte sich die Zeit nehmen, das Powermodul vor dem Einbau zumindest auf grobe Fehler zu testen. Als allererstes überzeugt man sich mit einem Durchgangsprüfer von der einwandfreien Isolation zwischen dem Kühlkörper und den Gehäusen der Endtransistoren. Bei 48 Löchern kann es schon einmal vorkommen, daß ein übriggebliebener Bohrspan einen versteckten Kurzschluß verursacht. Für erste Tests empfiehlt es sich, erst einmal klein anzufangen und das Modul aus einem Doppelnetzteil mit Strombegrenzung zu speisen. Es genügen schon ± 8 V Versorgungsspannung. Wenn die Ausgangsgleichspannung nur wenige mV beträgt und das Ausgangssignal bei Sinusansteuerung einwandfrei ist, kann man davon ausgehen, daß das Modul in Ordnung ist.

Jetzt muß nur noch ein dickes Netzteil her — und fertig ist der Verstärker. Nun, ganz so schnell geht das nun doch nicht. Eine solche Sparversion ist zwar grundsätzlich funktionstüchtig, es fehlen aber noch die nach der Checkliste erforderlichen Schutzschaltungen. Erst in Verbindung mit dieser Steuerplatine wird der Verstärker echt 'roadtauglich'.

Abgesehen von der bereits im ersten Teil besprochenen Kurzschlußsicherung befinden sich sämtliche Schutzschaltungen auf der Steuerplatine. Im einzelnen sind dies:

- automatischer Softstart
- Lautsprecherschutz (DC-Protect)
- Überwachung der Kühlkörpertemperatur

Die Steuerelektronik läßt sich grob in den 220-V-Leistungskreis und den Schwachstrom-Steuerteil einteilen. Einen Überblick über den funktionellen Zusammenhang vermittelt der Verdrahtungsplan. Damit auch bei abgeschalteter Endstufe (z. B. infolge von

Übertemperatur) die Funktionsfähigkeit der Steuerelektronik erhalten bleibt, enthält diese ein eigenes, nicht abschaltbares Netzteil. Bevor wir auf die Schaltungseinzelheiten eingehen, werden einige grundsätzliche Ausführungen zum Leistungskreis vorangestellt.

Im 220-V-Kreis müssen der Netztrafo und die Ventilatoren geschaltet werden. Als Leistungsschalter werden ausschließlich Triacs verwendet, die im Vergleich zu Relais kleiner, billiger und praktisch verschleißfrei sind. Außerdem erzeugen sie keine Abschaltfunken und die damit einhergehenden Störimpulse. Vergewegen wir uns hier einmal die typischen Eigenschaften von Triacs:

1. Triacs stellen elektronische Schalter dar; im Gegensatz zu Thyristoren können sie auch Wechselströme schalten.
2. Die Steuerelektrode heißt 'gate', die gemeinsame Elektrode 'MT1' und der Ausgang 'MT2'.
3. Um den Triac zu zünden, muß der Steuerelektrode ein Stromimpuls zugeführt werden. Dieser Triggerimpuls

kann positiv oder negativ sein; die Polarität kann sogar entgegengesetzt zur Richtung des Laststroms liegen: Der Arbeitsbereich erstreckt sich auf alle 4 Quadranten des Kennlinienfeldes.

4. Einmal gezündet, fließt der Laststrom ununterbrochen weiter. Erst wenn dieser auf einen Wert unterhalb des sogenannten Haltestroms absinkt, schaltet der Triac ab. Eine Abschaltung über die Steuerelektrode ist nicht möglich.

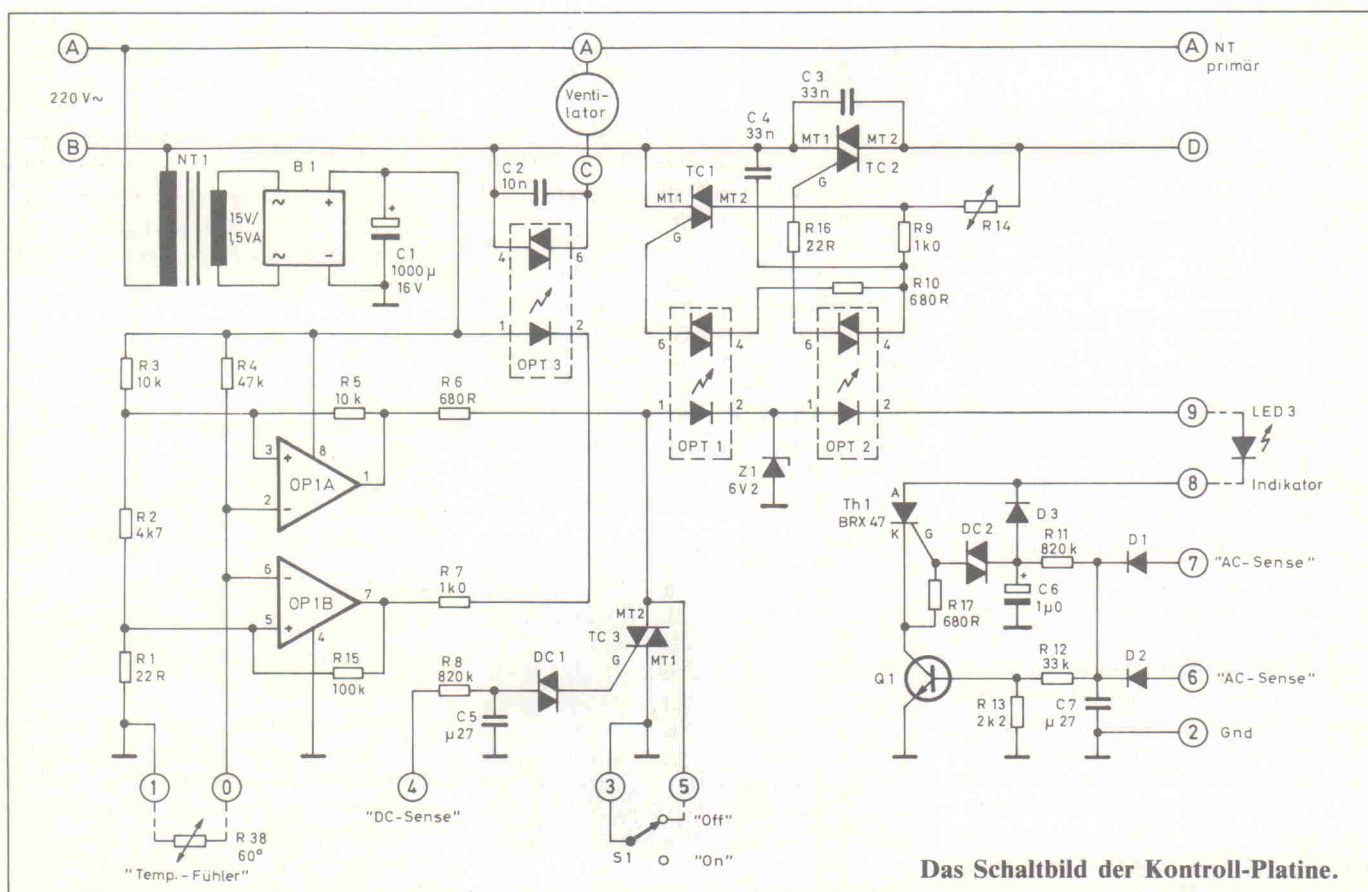
5. Verwendet man zur Ansteuerung anstelle von Impulsen einen Gleichstrom, können auch Lastströme weit unterhalb des Haltestroms geschaltet werden.

6. Im durchgeschalteten Zustand trägt das Spannungsgefälle über MT1 und MT2 1 bis 2 Volt und ändert sich nur geringfügig über einen großen Laststrombereich.

7. Triacs können auch ohne Ansteuerung von selbst zünden, wenn im Lastkreis ein kritischer Wert der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit (slewrate, in V/ μ sec) überschritten wird. Dieser Fall tritt besonders dann auf,

wenn die 50-Hz-Wechselspannung im Scheitelwert einer Halbwelle eingeschaltet wird.

Die verwendeten Ringkerntrafos stellen eine fast ideale induktive Last dar und lassen sich daher mit impulsgezündeten Dimmerschaltungen ebenso wenig wie mit üblichen Nullspannungsschaltern steuern. Die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung führt zur Unterschreitung des Haltestroms inmitten der Phase: Hierdurch fällt der Triac ab, und es ergibt sich ein mehr oder weniger unkontrollierter Phasenanschnitt. Dann stellt sich folgendes Problem: Schon kleinste Unsymmetrien zwischen positiver und negativer Halbwelle, verursacht durch leicht unterschiedliche Phasenanschnittwinkel, führen aufgrund der niedrigen Wicklungswiderstände rasch zu beträchtlich ansteigenden Gleichstromkomponenten. Man darf sich deshalb nicht wundern, wenn beim Betrieb eines Trafos über Dimmer sofort irgendwelche Sicherungen herausfallen.



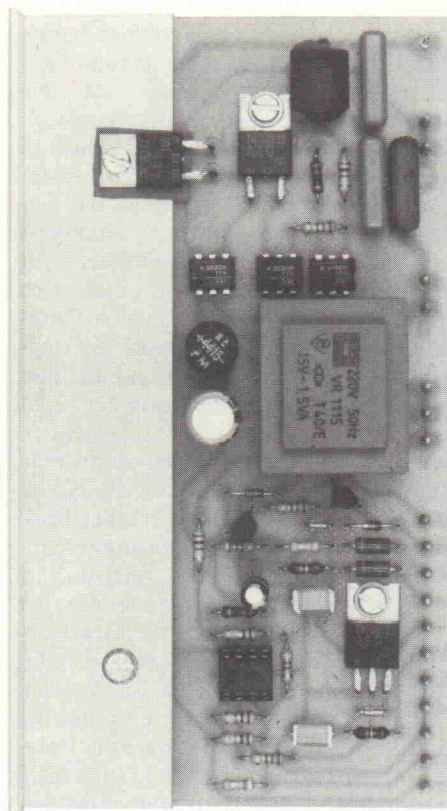
Das Schaltbild der Kontroll-Platine.

Abhilfe schafft ein passendes parallelgeschaltetes RC-Glied zur Phasenkompensation. Noch besser ist es, die Impulstriggerung durch eine Gleichstromansteuerung zu ersetzen (s. Punkt 5), die auch bei Unterschreitung des Haltestroms den Triac durchgeschaltet hält. Eine recht elegante Lösung ergibt sich in Verbindung mit einem speziellen Koppellement: Seit einiger Zeit gibt es Optokoppler, die anstelle des Fototransistors einen Diac-Ausgang enthalten. Dieses lichtempfindliche Diac verhält sich wie ein Schalter, wobei die Sperrspannung von 400 V die direkte Zündung zwischen MT2 und dem Gate ermöglicht. Der Ansteuerungsstrom wird auf diese Weise dem Laststromkreis entnommen, es entfällt eine gesonderte Stromversorgung für den Steuerkreis.

Hier noch einige Bemerkungen zu den verwendeten Triacs. Standardtypen wie der TIC 236 o. ä. erweisen sich als wenig geeignet. Zum einen reichen die kritischen Spannungsteilheiten nicht aus, um bei auftretenden Netzspannungsspitzen eine parasitäre Selbstzündung zu verhindern. Dieser Effekt kann den ganzen Softstart wirkungslos machen: Wenn z. B. nach einem Stromausfall im Scheitelwert der Netzspannung wieder eingeschaltet wird, kann auch ohne Ansteuerung der Haupt-Triac zünden und damit den vollen Einschaltstromstoß herbeiführen. Zum anderen stellen die relativ geringen Empfindlichkeiten und hohen Halteströme weitere Schwachpunkte dar. Hinzu kommt eine etwaige Unsymmetrie im Ausgangskreis: Messungen am TIC 236 ergaben eine Verlustspannung von 1 V in der positiven und 3 V in der negativen Halbwelle. Dieser Unterschied erscheint zwar geringfügig, führt aber schon zu einer nicht unerheblichen Gleichstrom-Komponente und äußert sich in hörbarem Brummen des Netztransformators.

Durchweg gute Erfahrungen wurden dagegen mit dem AEG-Typ TW 7 N 600 FZ 2 gemacht. Bei diesem 'gate-sensitive'-Triac ist die Restspannung symmetrisch (± 1 V). Weitere technische Daten: maximaler Triggerstrom $I_{GT} = 10$ mA; $I_{max} = 7$ A; Gehäuse T0220 mit vergrößerten Leitungsabständen.

Nach diesen allgemein gehaltenen Vorbetrachtungen kommen wir zur Schaltungsbeschreibung.



Die bestückte Kontroll-Platine.

Der Einschaltvorgang läuft automatisch in zwei Stufen ab. Um den Einschaltstromstoß wirksam zu begrenzen, wird der Netztrafo zunächst über einen Serienwiderstand eingeschaltet ('Softstart'). Erst wenn die Siebelkos bereits fast ihre volle Betriebsspannung erreicht haben, wird der Vorwiderstand überbrückt ('full power'). Das funktioniert folgendermaßen: Gehen wir zunächst davon aus, daß am Eingang 'DC-sense' (Gleichspannungsschutz) kein Signal anliegt. Solange der Schalter S1 sich in der Position 'off' befindet, wird der über R6 fließende Steuerstrom nach Masse abgeleitet. LED 1 und LED 2 bleiben stromlos, TC1 und TC2 erhalten keine Ansteuerung und unterbrechen den Primärstromkreis des Ringkerntrafos. Die Endstufe ist abgeschaltet. Beim Einschalten (S1 auf 'on') wird der Kurzschluß aufgehoben, und der Steuerstrom fließt zunächst über LED 1/Z1 ab. Mittels OPT1, R9 und R10 wird der Start-Triac TC1 gezündet und der Netztrafo über den in Serie liegenden Anlauf-Heißeleiter R14 'weich' eingeschaltet. Die Wahl fiel hier auf einen Heißeleiter anstelle eines Drahtwiderstandes, weil diese Bauteile extrem überlastbar sind und sich aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit für die Einschaltstrombegrenzung hervorragen

eignen: Im ersten Einschaltmoment ist R14 kalt und hat einen typischen Widerstand zwischen 30 und 70 Ohm. Zu diesem Zeitpunkt fällt praktisch die volle Netzspannung über dem Heißeleiter ab. In Sekundenbruchteilen heizt sich dieser gewaltig auf und verringert seinen Eigenwiderstand auf wenige Ohm. Auf diese Weise wird einerseits die Einschaltstromspitze aufgefangen, andererseits steht am Ende des Softstarts vor dem eigentlichen Einschalten fast die volle Netzspannung am Transformator an, so daß beim anschließenden Überbrücken von R14 keine nennenswerten Stromstöße im Primärkreis auftreten können.

Nachdem nun die Siebelkos fast auf ihre volle Betriebsspannung aufgeladen sind, besteht der nächste Schritt darin, mit dem Haupt-Triac R14 zu überbrücken und somit den Trafo voll an das Netz zu legen. Dies geschieht über OPT2 und LED 2. Der aus D1 und D2 bestehende Zweiweggleichrichter dient zur Überwachung der Netzspannung ('AC-sense'). Sobald sich die Sekundärspannung zu etwa 70 % aufgebaut hat, schaltet Q1 durch. Etwa 1 Sekunde später hat die Spannung an C6 + 20 V erreicht. Das Diac DC2 zündet den Kleinthyristor Th1, so daß jetzt die Reihenschaltung aus Q1, Th1, LED 3 und LED 2 leitend wird. Da die Ansprechspannung dieser Anordnung insgesamt noch unter der Zenerspannung von Z1 liegt, wird Z1 stromlos, und der Steuerstrom durchfließt LED 2. Hierdurch wird OPT2 aktiviert, und TC2 schaltet durch. Sobald OPT2 eingeschaltet ist, fließt wegen R10 praktisch der gesamte Steuerstrom in das Gate von TC2. TC1 fällt ab, und R14 kühlt aus.

Gelegentlich kommt es vor, daß die Netzversorgung ausfällt. Ganz egal, ob man einen herausgefallenen Netzstecker wieder einsteckt oder den ausgelösten Sicherungsautomaten wieder einschaltet, in jedem Falle sollte beim Wiedereinschalten das immer noch eingeschaltete Gerät automatisch per Softstart anlaufen. Dies setzt voraus, daß der Haupt-Triac rasch genug abgeschaltet wird.

Als Detektor für einen Netzspannungsausfall dient die Spannungs-Überwachungsschaltung um Q1. Der Siebkondensator C7 ist mit 0,27 μ F absichtlich

knapp bemessen, so daß schon nach einer kurzen Unterbrechung die Ladespannung soweit zusammenbricht, daß der Transistor Q1 sperrt und dadurch auch den Thyristor Th1 löscht. Dem entsprechend wird der Strom durch LED 2 unterbrochen, und der Haupt-Triac fällt schon bei kurzzeitigen Netzunterbrechungen ab. Die Wiedereinschaltung erfolgt erneut durch den Start-Triac über den inzwischen abgekühlten Anlaufheißleiter, genauso wie beim zuvor beschriebenen normalen Einschaltvorgang. Damit die Einschaltverzögerung für den Haupt-Triac (Schaltungsteil um Th1) korrekt arbeitet, wird über D3 bei laufendem Gerät C6 kurzgeschlossen. Beim Wiedereinschalten ist dieser Kondensator mit Sicherheit entladen. Bis zur Zündung von Th1 und damit auch des Haupt-Triacs muß C6 erneut von 0 auf 20 V aufgeladen werden, so daß die Verzögerungszeit von einer Sekunde auch nach kurzen Netzausfällen eingehalten wird.

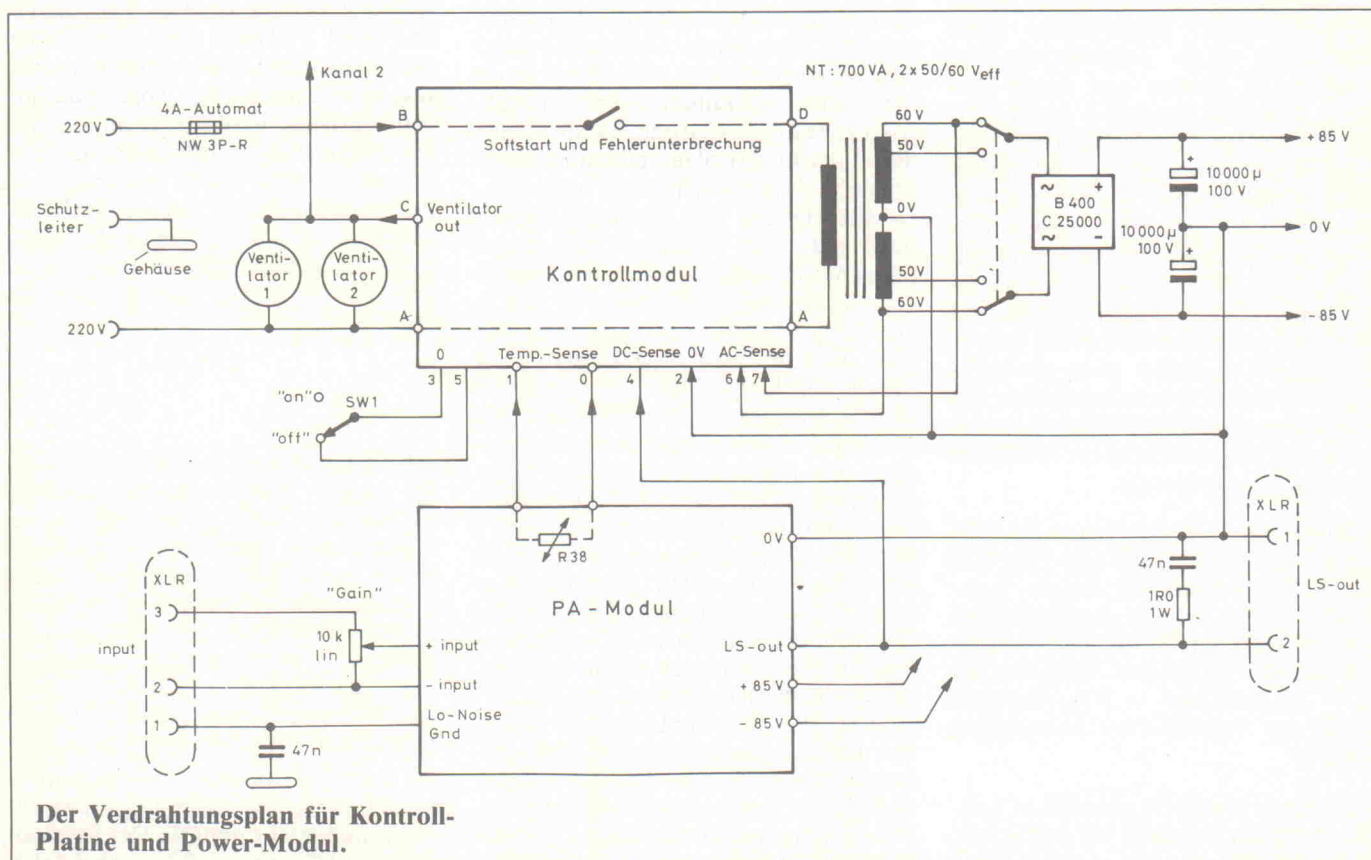
Zur Begrenzung der Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten auf sichere Werte dienen die Kondensatoren C2, C3 und C4.

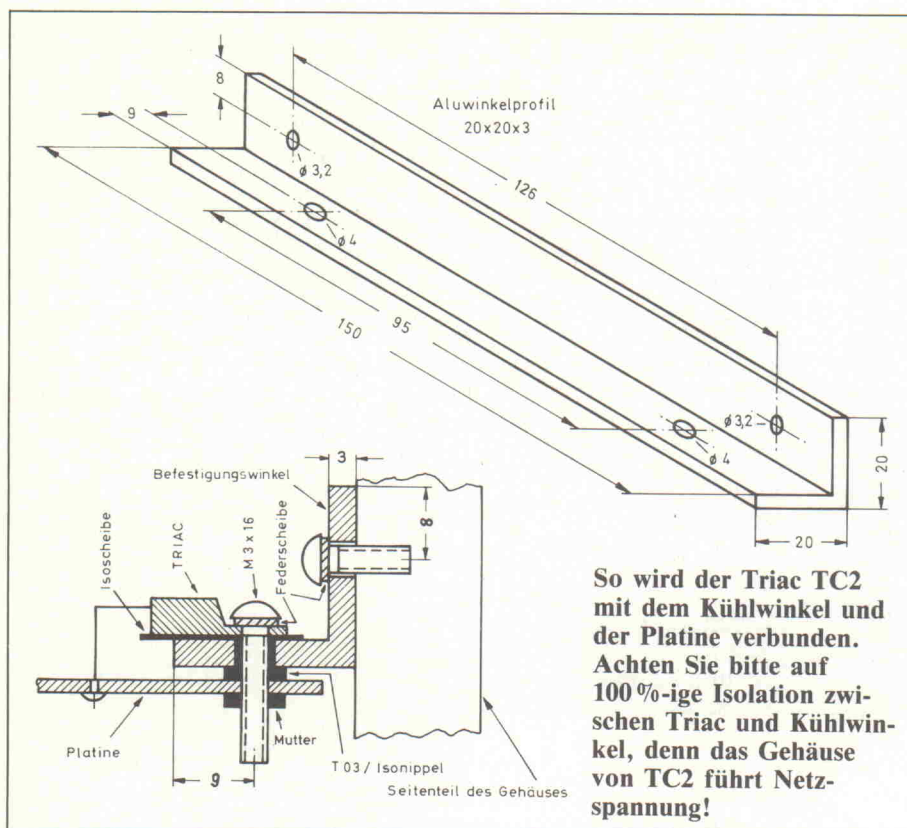
In der Regel bestehen entsprechende Schutzschaltungen aus einem Tiefpaß und einem Relais, das bei Gleichspannung die Lautsprecherleitung unterbrechen sollte. Ob es dazu in der Lage ist, darf angesichts der anstehenden Gleichstromleistungen bezweifelt werden. Versuche des Verfassers mit einem derben Hochrelais mit 15-A-Kontakten ergaben, daß sich schon beim Abschalten einer 4-Ohm-Last bei 40 V Gleichspannung ein dauernder Lichtbogen bildete und auf diese Weise eine Unterbrechung gar nicht möglich war. Zieht man außerdem in Betracht, daß die Schwingspulenwiderstände stets kleiner sind als die Nennimpedanz, so kann man bei einer Endstufe mit ± 85 V Versorgungsspannung Lautsprecherrelais getrost vergessen. Der hier beschrittene Weg ist völlig unüblich, simpel und wirkungsvoll. Das Lautsprechersignal gelangt über den Anschluß 'DC-sense' auf den Tiefpaß R8/C5. Sobald die Spannung an C5 etwa 20 V erreicht hat (die Polarität spielt hier keine Rolle), wird DC1 gezündet und TC3 getriggert. Dies bewirkt nichts anderes als die Schalterstellung des Schalters S1 in der Position 'off': Der Netztrafo wird primär-

seitig abgeschaltet. Schlimmstenfalls können sich dann noch die Siebelkos über den Lautsprecher entladen, bei einer durchschnittlichen Entladezeit von 50 msec ist das aber vergleichsweise harmlos.

Dieser Gleichspannungsschutz hat eine Selbsthalte-Funktion, d. h., nach einmaliger Auslösung bleibt das Gerät ausgeschaltet, eine automatische Wiedereinschaltung findet nicht statt. Die Ursache ist leicht einzusehen: Einmal gezündet, hält sich TC3 selbst. Zur Wiederinbetriebnahme schaltet man S1 kurz aus. Dadurch wird TC3 kurzgeschlossen und fällt ab. Jetzt läßt sich der Verstärker wieder einschalten, sofern kein echter Defekt vorliegt.

Das Herzstück der Schaltung besteht aus der Brückenschaltung R1, R2, R3, R4 und R34 sowie dem Dual-OpAmp OP1a und OP1b. Ab etwa 60 °C müssen die Ventilatoren eingeschaltet werden, beim Erreichen der Übertemperatur (95 °C) ist der Verstärker abzuschalten. Der Temperaturfühler ist ein Kaltleiter und hat thermischen Kontakt mit dem Kühl-





merscheibe und Isonippel unumgänglich. Natürlich gilt dies nicht für TC3. Dieser Triac liegt im Schwachstromkreis und behält seine 3 Anschlüsse. Damit der Printtrafo beim Transport nicht aus der Platine herausreißt (Alles schon dagewesen!), gibt man etwas Klebstoff auf die Mitte des Bodens und drückt ihn beim Einlöten ganz fest auf die Platine.

Um die Verdrahtung zu erleichtern, sind sämtliche Anschlüsse auf der Leiterbahnseite bezeichnet, und zwar in Übereinstimmung mit dem Schaltplan von 0 bis 9 (Schwachstromseite) bzw. von A bis D (220-V-Kreis). Außerdem sind die IC/Optokopplermarkierungen durch einen Punkt auf der Leiterbahnseite gekennzeichnet.

Bevor wir uns an die Mechanik machen, wird die Elektronik mit der Beschreibung einer passenden Aussteuerungsanzeige vervollständigt. Alternativ stellen wir sowohl eine Version mit Zeigerinstrumenten als auch mit LED-Ketten vor. Das Design der LED-Anzeige ist auf das Gehäusekonzept abgestimmt und ein wenig extravagant, hier hat nämlich Opas Dampfradio Pate gestanden: Wie beim 'magischen Auge' (bzw. 'magischen Band') erscheinen zwei aufeinander zulaufende Leuchtbänder. Die Breite des dazwischenliegenden 'Schattenbereiches' zeigt gut erkennbar die noch verbleibende Aussteuerungsreserve an: Bei Vollaussteuerung verschwindet der Schattenbereich völlig, und man sieht ein durchgehendes Leuchtbänder.

körper. Im Gegensatz zu Heißeitern weisen Kaltleiter im Übergangsbereich einen wesentlich höheren Temperaturkoeffizienten auf und ermöglichen auf diese Weise exakt definierte Schaltungspunkte mit geringer Temperaturhysterese. Bei Zimmertemperatur hat R38 etwa 80 Ohm, bei etwa 60 °C werden 100 Ohm überschritten (Beginn des Übergangsbereiches), die Spannungsdifferenz an den Eingängen von OP1b wechselt das Vorzeichen und der OP-Ausgang kippt von +15 V auf 0 V. Jetzt fließt Strom in LED 3, so daß der Diac-Ausgang von OPT3 die Ventilatoren einschaltet. Zusätzliche Lei-

zu, bei ca. 95 °C hat er 22 kOhm erreicht, so daß jetzt auch OP1a umschaltet und mit einem Schlage LED 1 und LED 2 stromlos werden: Der Netztrafo wird abgeschaltet. Nach entsprechender Abkühlung schaltet sich das Netzteil automatisch per Softstart wieder ein. Infolge der niedrigen Schalthysterese in der Größenordnung von 1 °C ergeben sich typische Ausfallzeiten von 30 Sekunden bis 1 Minute bis zum Wiedereinschalten.

Beim Zusammenbau der Steuerplatine (s. Bestückungsplan) sollte man sich stets vor Augen halten, daß der Bereich um TC1 und TC2 bis hin zum Netztrafo die volle Netzspannung führt. Um die Isolationsabstände zu vergrößern, werden von den 3 Optokopplern die Anschlüsse Nr. 5 ausgebrochen, dasselbe geschieht mit den Mittelanschlüssen ('MT 2') der Triacs TC1 und TC2. An den entsprechenden Stellen befinden sich auf der Platine weder Bohrungen noch Lötäugen. Die beiden Triacs werden über die Befestigungsschrauben kontaktiert. TC2 wird über den Befestigungswinkel ('Wärme-koppler') vom Gehäuseseitenprofil gekühlt. Da der Befestigungsflansch von TC2 Netzspannung führt, ist eine einwandfrei isolierte Montage mit Glim-

Besonders bei großen Veranstaltungen soll es vorkommen, daß die 220 V-Versorgung für die Bühne zusammenbricht.

stungs-Triacs sind nicht erforderlich, die geringe Stromaufnahme der Ventilatoren ermöglicht direktes Schalten mit dem Optokopplerausgang.

Bei weiterer Temperaturerhöhung nimmt der Kaltleiterwiderstand rasch

Auf dieser Platine befinden sich zwei identische, völlig separate Anzeigekanäle. Jeweils ein Kanal wird aus dem Netzteil der zugehörigen Steuerplatine versorgt (+18 Volt, unstabilisiert) und vom Lautsprecher-Ausgang (Anschluß 4 der Steuerplatine) angesteuert. Die Schaltung enthält neben dem Ansteuerbaustein einen Spitzenspannungsinweggleichrichter mit kurzer Ansprechzeit (wenige msec) und mittlerer Abklingzeit und stellt daher einen Spitzenspannungsmesser ('Peak-Levelindicator') dar. Als Ansteuerungsbaustein dient der gängige UAA180, der für eine lineare Leuchtbänderanzeige mit 12 LEDs vorgesehen ist. Zur Darstellung des zweiteiligen Leuchtbänderes müssen für jede Pegel-

Hochleistungsverstärker

stufe jeweils zwei korrespondierende LEDs aufleuchten. Aus der Schaltung ersieht man, daß anstelle einer LED pro Ausgang eine Reihenschaltung aus 2 LEDs tritt, so daß sich auf diese Weise mit nur einem Ansteuerbaustein $2 \times 12 = 24$ LEDs betreiben lassen. Anstelle einzelner LEDs werden Miniatur-8fach-LED-Reihen ('Arrays') eingesetzt. Im Gegensatz zu Einzel-LEDs, die man grundsätzlich zuerst auf gleiche Lichtausbeute ausmessen muß, weisen derartige Arrays von vornherein eine gleichmäßige Helligkeit auf. Außerdem werden die Bestückung und vor allem das Ausrichten wesentlich vereinfacht; ein Gesichtspunkt, der bei insgesamt 48 LEDs schon ins Gewicht fällt.

Die lineare Anzeigecharakteristik wurde hier bewußt der logarithmischen Kennlinie vorgezogen. Der Nachteil der logarithmischen Darstellung liegt

Stückliste Steuerplatine

Widerstände, 5 %, 1/4 W

R1	22R
R2	4k7
R3	10k
R4	47k
R5	10k
R6	680R
R7	1k0
R8	820k
R9	1k0
R10	680R
R11	820k
R12	33k
R13	2k2
R15	100k
R16	22R
R17	680R
R14	Valvo Heißeiter Typ 30-70E/5W/1A/ warm 5E

Kondensatoren

C1	1000µF/16 V stehend RM 5
C2	10nF/250V ~ RM 15

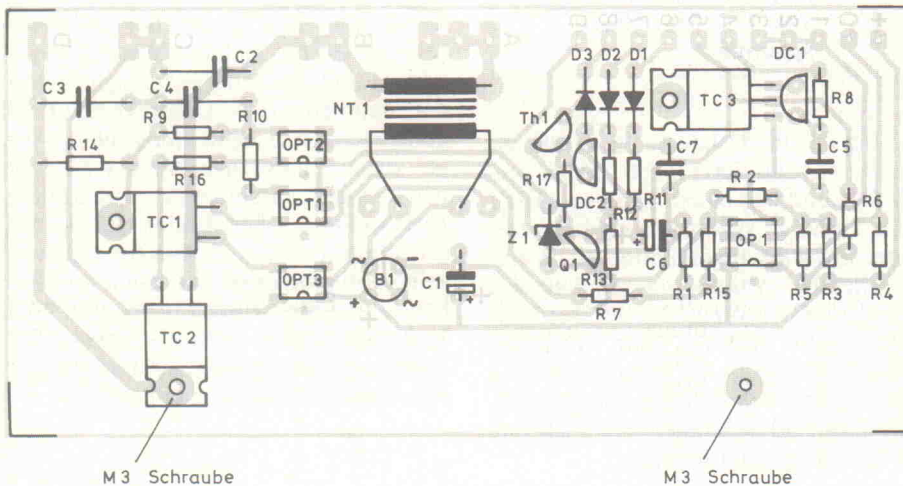
C3	33nF/250V ~ RM 15
C4	33nF/250V ~ RM 15
C5	0µ27 MKT RM 7,5
C6	1µ0 Elko RM 5
C7	0µ27 RM 7,5

Halbleiter

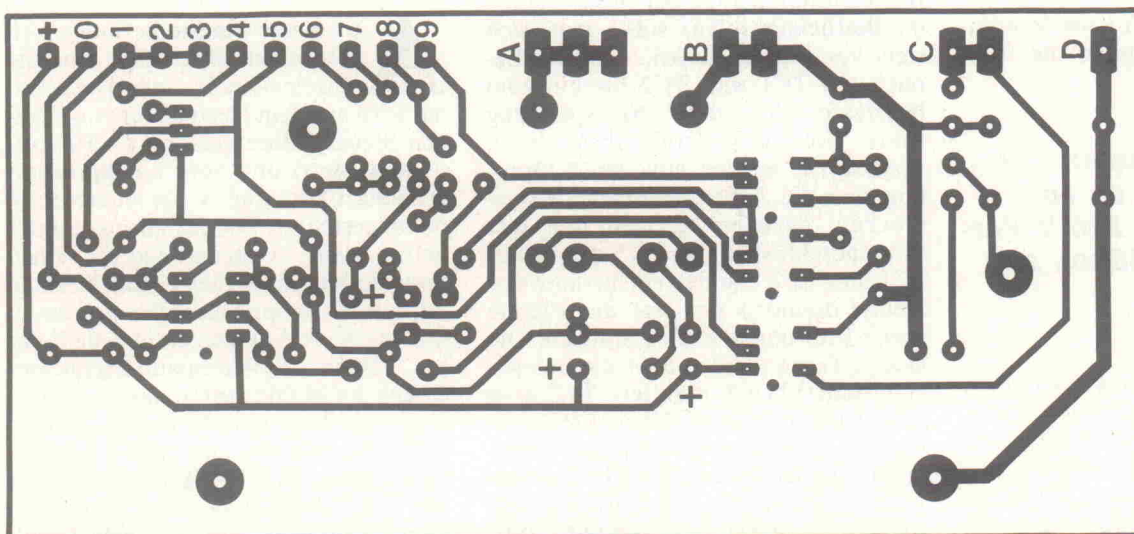
Q1	BC 547 o. ä.
D1, D2	1N4004
D3	1N4148
Z1	C6V2
DC1	ECG 6406 (Sylvania)
DC2	ECG 6406 (Sylvania)
Th1	BRX 47
TC1	TW 7 N 600 FZ 2 (AEG)
TC2	TW 7 N 600 FZ 2 (AEG)
TC3	TW 7 N 600 FZ 2 (AEG)
OPT1	MOC 3020 P (Motorola)
OPT2	MOC 3020 P (Motorola)
OPT3	MOC 3020 P (Motorola)
B1	Gleichrichter B 40 C 100
OP1	NE 532 (Signetics) oder LM 358

Verschiedenes

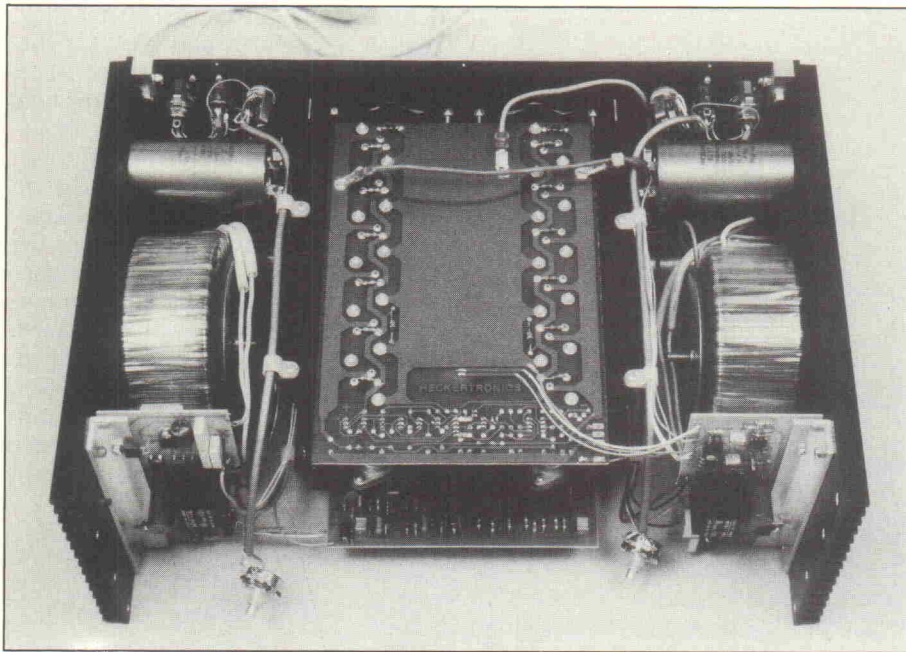
NT1	Printtrafo 1x15 V/1,5 VA
1 Platine	
1 Alu-Befestigungswinkel	20 x 20 x 3 mm, 150 mm lang
1 Isoscheibe TO 220	
2 Isonippel TO 3	
2 Schrauben M3 x 16	
2 Federscheiben M3	
2 Muttern M3	



einfach darin, daß bei satter Ansteuerung des Verstärkers der größte Teil der LED-Kette ständig leuchtet und nur die letzten 2 bis 3 LEDs noch Pegelunterschiede anzeigen können. Hinzu kommt, daß eine Abstufung (z. B. in 3-dB-Schritten) im Bereich der Vollaussteuerung doch schon etwas grob ist. Demgegenüber ist die lineare Skala dadurch gekennzeichnet, daß sich die



Bestückungsplan (oben) und Platinen-Layout (links) der Kontroll-Platine.



Ein zusammengebauter Stereoblock ohne Frontplatte.

Abstufung mit wachsendem Pegel kontinuierlich verringert (s. Tabelle). So beträgt die Anzeigegenauigkeit bei Vollaussteuerung 0,75 dB gegenüber 6 dB im Anfangsbereich.

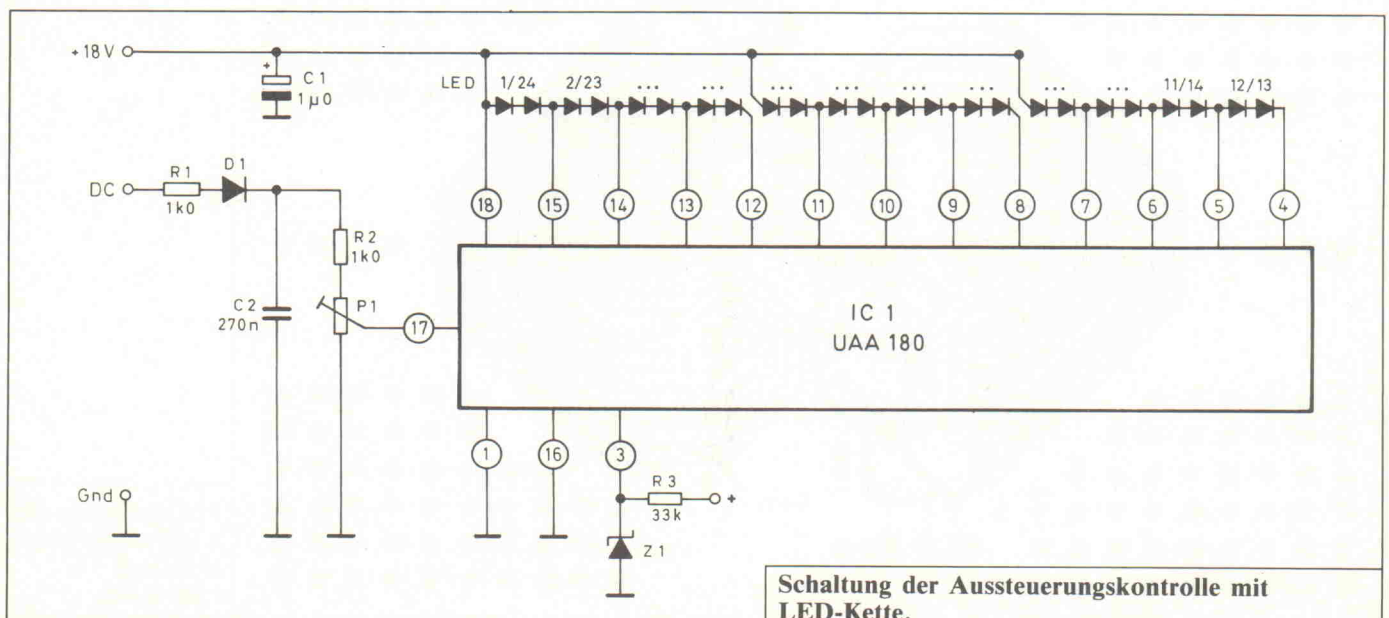
Die Display-Platine wird entsprechend dem Bestückungsplan (zunächst ohne LED-Ketten) bestückt. Diese werden am Schluß auf der Unterseite (= Leiterbahnseite) direkt eingelötet, wobei die verbreiterten Anschlußdrähte (= Kathoden)

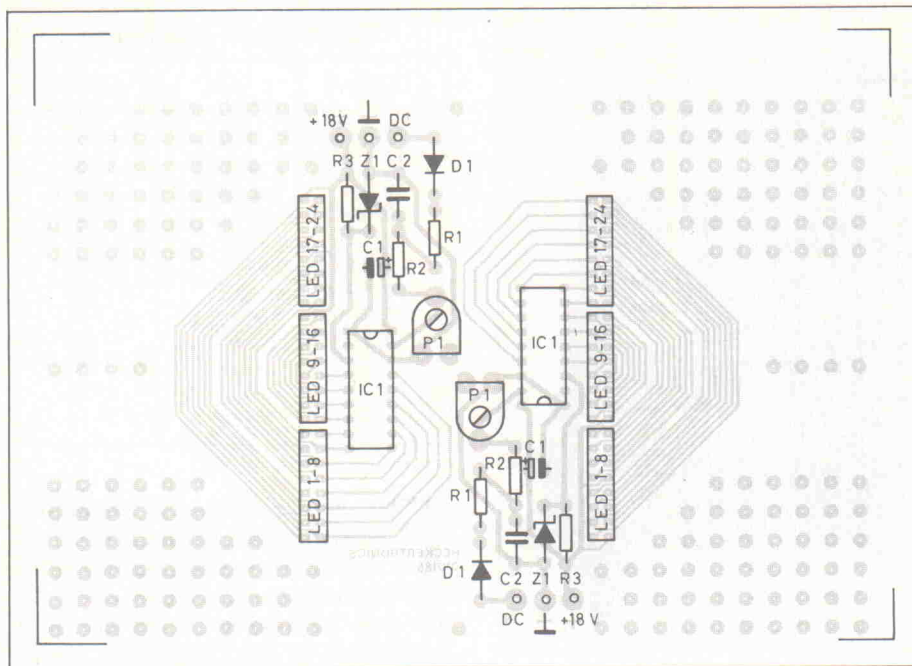
nach innen, also in Richtung Ansteuer-elektronik weisen müssen. Man kann auch die LEDs auf Fassungen sockeln. Hierfür benötigt man 6 Präzisions-IC-Fassungen mit gedrehten Kontakten (16polig)). Mit dem Seitenschneider entfernt man die Verbindungsstege und erhält 12 einzelne Kontaktreihen, die sich direkt nebeneinander setzen lassen.

Um diese Displayplatine auch universell einsetzen zu können, enthält das Layout bereits als Bohrhilfe ein Lochraster mit 5 mm Abstand.

Tabelle für die Anzeigeskala		
LED	dB	Watt
12/13	+1,5	550
11/14	+0,75	460
10/15	0	380
9/16	-1	310
8/17	-2	245
7/18	-3	185
6/19	-4,5	140
5/20	-6	95
4/21	-8	60
3/22	-10,5	35
2/23	-14	15
1/24	-20	4

Für unsere militanten Analog-Fanatiker haben wir natürlich auch Aussteuerungs-Messer mit Drehspul-Meßwerken vorbereitet. Wir haben dazu Meßwerke mit 500 μ A Empfindlichkeit in der Größe 86 x 64 mm verwendet. Die hier abgebildeten Skalenbeschriftungen können direkt auf die Skalenbleche geklebt werden. Die Ansteuerelektronik ist recht einfach ausgefallen. Zur Entkopplung des Meßkreises vom Lautsprecherausgang dienen die beiden 100- Ω -Widerstände; sie speisen die Gleichrichterbrücke, die am Ladekondensator (47 μ F) eine der Signalspannung entsprechende Gleichspannung bereitstellt. Über das 100-k-Poti und den 22-k-Widerstand wird das eigentliche Meßwerk angesteuert. Der zum Ladekondensator parallelgeschaltete Widerstand von 47 k bestimmt die Rücklauf-Zeitkonstante des Zeigers.





Bestückungsplan der Aussteuerungskontrolle mit LEDs.

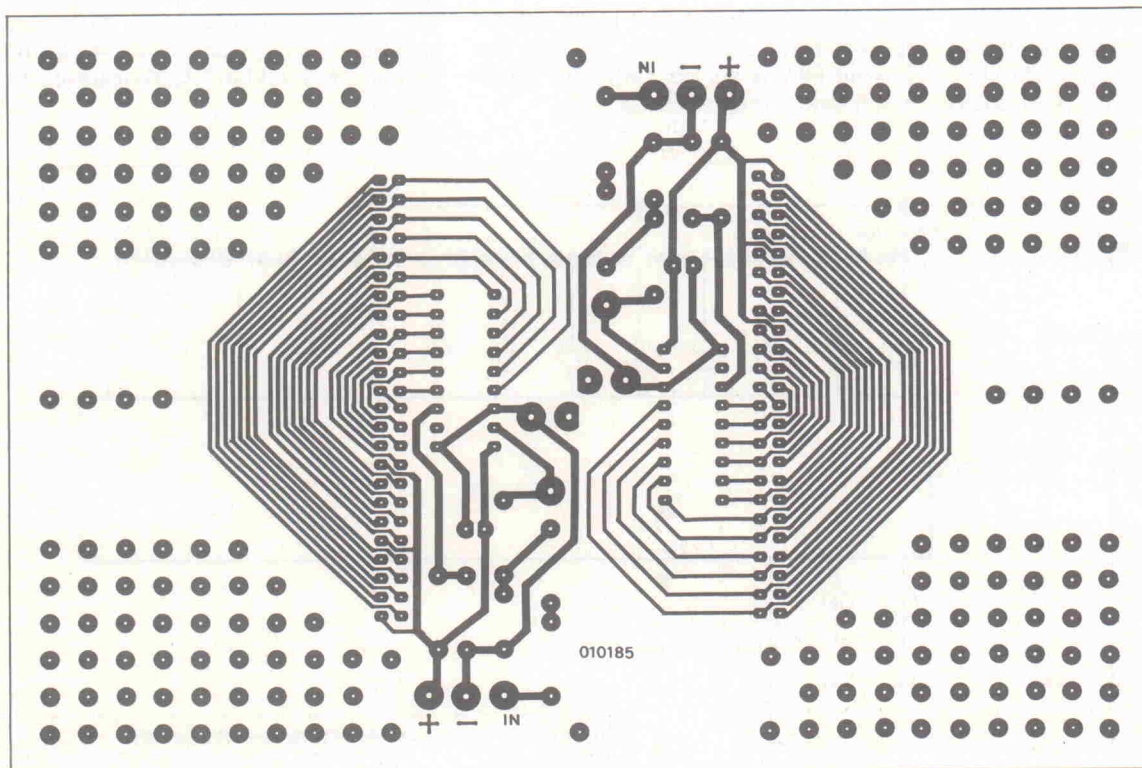
Da die im Handel erhältlichen Drehspulmeßwerke in bezug auf ihr Einschwingverhalten sehr unterschiedlich ausfallen, kann für das Einpegeln des Meßwerkes mit Musiksignalen kein allgemein gültiger Spannungswert angegeben werden. Deswegen sollte man die Endstufe mit einem 'sehr 'baßhaltigen' Musiksignal aussteuern und das

Lautsprechersignal mit einem Oszilloskop kontrollieren. Gerade wenn die Baß-Peaks anfangen, geclippt zu werden, wird das Meßwerk mit dem 100-k-Poti so eingestellt, daß der Zeiger die 500-W-Marke erreicht.

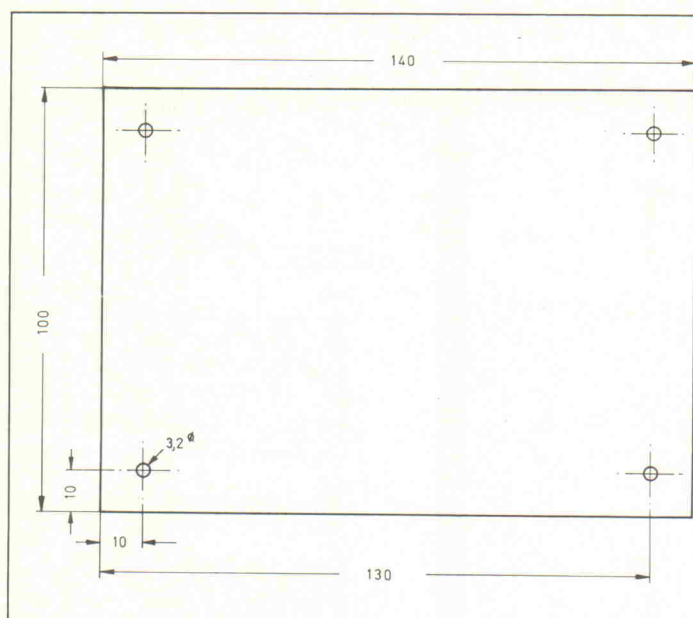
Meßtechnisch gut ausgerüstete Elektroniker verwenden natürlich für diesen Abgleich einen Tonburst mit 10 ms Dauer und 2 sec Pause. Damit wird die Anzeige auf 99 % Nennleistung eingestellt. Leider sind Zeigerinstrumente, die diesen professionellen Ansprüchen gerecht werden, erst in einer Preisklasse oberhalb 300,— DM erhältlich. Bei den von uns verwendeten Instrumenten muß man sowohl mit einer zu langen Anstiegszeit als auch mit einem Überspringen des Zeigers rechnen. Durch geschickte Wahl des Ladekondensators und des Parallelwiderstandes kann man den Meßwerken diese 'Ungezogenheiten' in gewissen Gren-

Stückliste LED-Display

R1,1'	1k0
R2,2'	1M0
R3,3'	33k
P1,1'	100k-Trimmer, RM 5 x 10
C1,1'	1µ0/25 V, RM 2,5
C2,2'	0µ27, RM 7,5
Z1,1'	C4V3/0,4 Watt
D1,1'	1N4004
IC1,1'	UAA 180
LED 1—24	6 x LD 478 (Siemens) Platine



Platinenlayout der Aussteuerungskontrolle mit LED-Kette.



▲ Layout für eine passende Analog-Skala.

▲ Bild 5. Bohrplan für die Befestigungslöcher der LED-Aussteuerungsplatine.

Symmetrischer und unsymmetrischer Betrieb sind ohne Änderung der Buchsenbeschaltung möglich.

zen abgewöhnen. Man sollte sich aber nicht dazu verleiten lassen, aus einem 2,50-DM-Schätzzeisen ein Präzisionsinstrument machen zu wollen; dieser Versuch ist vom Ansatz her zum Scheitern verurteilt!

Das Gehäuse besteht aus der Frontwand, der Rückwand, zwei identischen Seitenteilen und der Deckel-/Bodenplatte, den Verschraubungsprofilen, den Kühlkörpermontage-Profilen und der Plexi-Abdeckung für die LED-Anzeige.

Nachdem diese Teile mit allen Bohrungen und Durchbrüchen versehen worden sind, beginnt der Zusammenbau. Es empfiehlt sich, zunächst die Frontwand, die Rückwand und die Seitenprofile vor dem Zusammenbau möglichst vollständig zu bestücken und vorzuverdrahten.

Die Frontwand enthält die Display-Platine. Diese wird von hinten mit der vorn befindlichen Plexiabdeckung verschraubt. Zuvor sollten bereits ausrei-

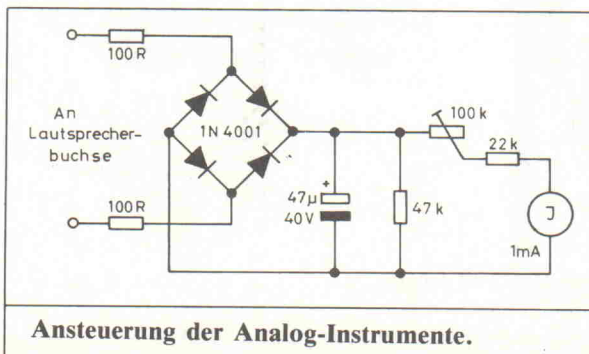
chend lange Leitungen für die Versorgungen, die Ansteuerungen und die Betriebsanzeige-LEDs angelötet werden. Die Potentiometer und Netzschalter können auch am Schluß montiert werden.

Die Seitenteile bestehen je aus einem Kühlprofil PR 158 und enthalten je ein Netzteil mit zugehöriger Steuerplatine. Die Befestigungsschraube für den Ringkerntrafo (M6-Gewinde) wird von außen durchgesteckt und von innen gekontert. Damit der Schraubenkopf überhaupt in den Raum zwischen zwei Kühlrippen paßt (ca. 7 mm), muß er vorher beidseitig angeschliffen werden. Die vorgesehenen Elkos messen 45 x 85 mm und haben einen isolierten M8-Gewindestutzen. Sie werden einfach in das Seitenprofil eingeschraubt und mit einer dünnen Mutter gekontert. Nachdem auch der Gleichrichter und die Steuerelektronik montiert sind, kann man die Elkos und den Gleichrichter verdrahten sowie die Anschlüsse 'AC-Sense' und 'Gnd' der

Steuerplatine mit dem AC-Eingang der Gleichrichterbrücke bzw. mit der Netzteil-Masseleitung verbinden (s. Verdrahtungsplan, Heft 3, Seite 55).

Die Rückwand: Darauf montiert man zunächst die Audiobuchsen, wobei sämtliche Klinkenbuchsen isoliert einzusetzen sind. Es folgt die Parallelschaltung von jeweils 3 Ein- und Ausgangsbuchsen entsprechend der üblichen Pinbelegung.

Die symmetrischen Eingänge: Pin 1 der XLR-Buchsen ist Gnd, Pin 2 der invertierende Eingang. Dieser wird mit dem mittleren Ring der Klinkenbuchse verbunden. Auf diese Weise wird bei unsymmetrischer Ansteuerung über einen Mono-Klinkenstecker der invertierende Eingang nach Masse gebrückt. Pin 3 (XLR) ist der nichtinvertierende



Ansteuerung der Analog-Instrumente.

Stückliste Aussteuerungsmesser (analog)

Widerstände

100R

100R

47k

22k

Poti 100k

Kondensator

47µ/40V

Dioden

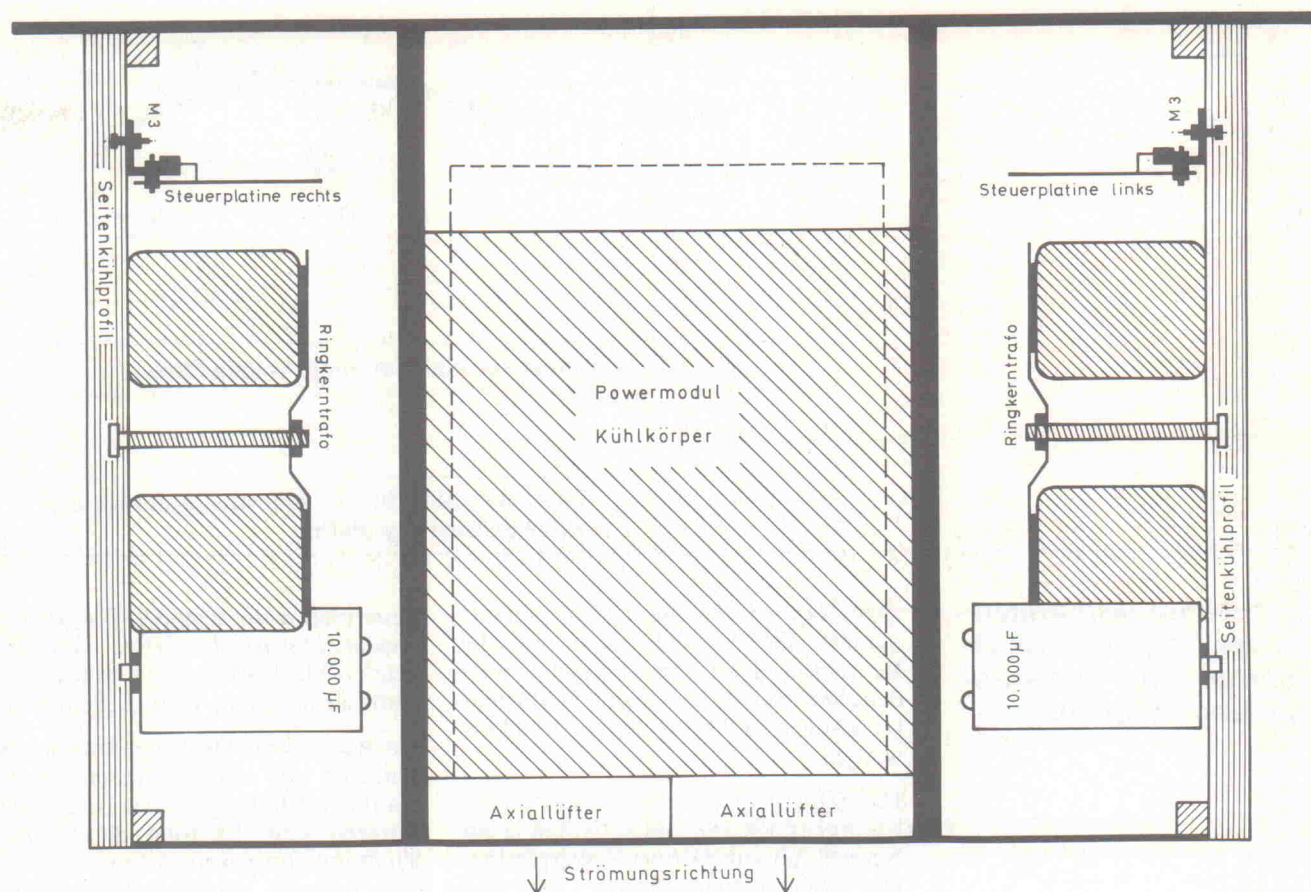
1N4001 (4 Stück)

Meßwerk

500µA/86 x 64 mm

Platine

Frontplatte

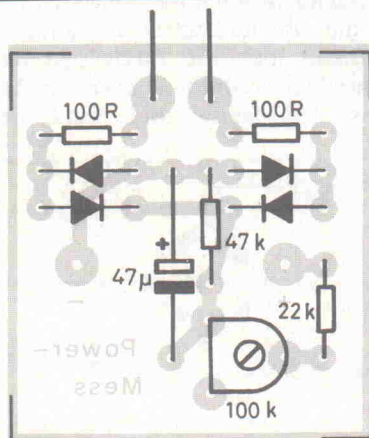
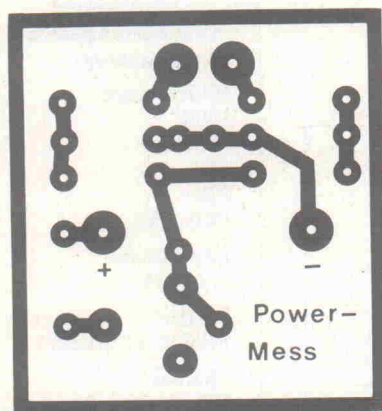
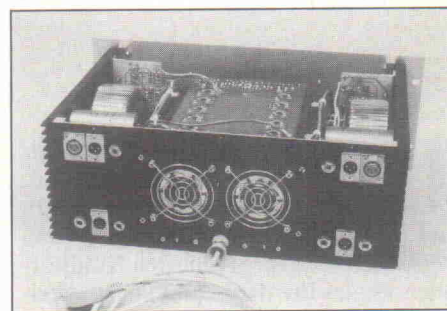


Die Zeichnung zeigt die Anordnung der Baugruppen und der Netzteile im Gehäuse.

Eingang und wird mit der Spitze der Klinke verbunden.

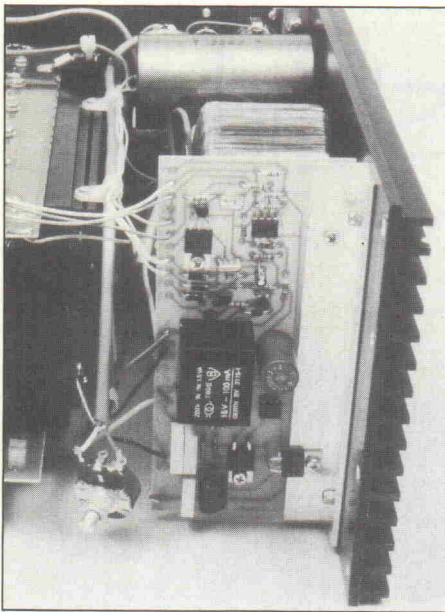
Die unsymmetrischen Ausgänge liegen auf Pin 1 (Masse) und Pin 2 (Ausgang), und parallel dazu befinden sich

zwei Mono-Klinkenbuchsen zum Anschluß von zwei Lautsprecherboxen. Das Boucherot-Glied am Ausgang (1 Ohm, 47 nF, siehe Schaltung Powermodul, Heft 3, Seite 55) wird direkt an einer der Buchsen angelötet.



Platinenlayout und Bestückungsplan der Analog-Meßinstrumente.

Jetzt kann man die beiden Lüfter montieren (Format 80 x 80 mm), von außen werden die Schutzgitter vorgesetzt. Es folgen die beiden Sicherungsautomaten, die Impedanzumschalter und die Netzkabeldurchführung. Nun kann man daran gehen, die Kühltunnelprofile mit der Rückwand zu verschrauben und dann die beiden Powermodule einzusetzen und zu verschrauben. Anschließend werden mit Hilfe der Winkelklötze aus Alu alle vier Seitenteile



miteinander verschraubt und die Tunnelprofile auch mit der Frontwand verbunden.

Es folgt die noch fehlende Verdrahtung des 220-Volt-Kreises (Sicherungsautomat, Netzkabel, Lüfter, Steuerplatine und Primärkreis des Netztrafos), des Impedanzschalters, der Einschalter sowie der Eingangs- und Ausgangsleitungen. Die Leitungen zur Steuerplatine und zum Powermodul, die Stromversorgungsleitungen für die Powermodule ebenso wie für die Anzeigeplatine folgen als letztes.

Es versteht sich von selbst, daß der 220-V-Kreis ausschließlich mit einwandfreier Netzleitung verdrahtet wird, der Querschnitt sollte mindestens $0,75 \text{ mm}^2$ betragen. Für die stromführenden Leitungen im Sekundärbereich, d.h. die Verbindungen zum Impedanzumschalter, zwischen Elkos und Gleichrichter, vom Netzteil zum Powermodul und auch für die Lautsprecherleitungen ist ein Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ anzuraten. Die Eingangsleitungen von den Eingangsbuchsen über die Potentiometer auf das Powermodul sollten eine gemeinsame Abschirmung enthalten.

Aus Sicherheitsgründen sollte das Metallgehäuse direkt mit dem Schutzleiter des Netzkabels verbunden werden. Damit beim Zusammenschalten mit anderen geerdeten Geräten keine Brummschleifen entstehen, wird die Elektronik 'weich' geerdet. Zu diesem Zweck wird jeder Kanal eingangsseitig über 47 nF mit dem Gehäuse verbunden. Am einfachsten lötet man den Kondensator direkt von Pin 1 der weiblichen XLR-Buchse auf den XLR-Gehäuseanschluß (die noch freie Lötöse). Nachdem das Gerät ausgiebig getestet worden ist, schraubt man noch die Boden- und Deckplatte an, wobei auf der Vorder-

seite Iso-Nippel als Distanzhalter eingesetzt werden müssen. Aus der Zeichnung ersieht man, daß sich durch diese Konstruktion insgesamt 4 Belüftungsschlitze für den Lufteintritt ergeben.

Damit sind wir am Schluß dieses Beitrages angekommen, und es folgen nur noch einige Hinweise für die Beschaffung der nicht gängigen Bauteile.

- Die Sicherungsautomaten tragen die Typenbezeichnung NW-3P-2-400, die zugehörige Montageplatte heißt NW-SP. Zu beziehen sind sie über das Vertriebsnetz von C & K (z. B. die Firmen PK, Berlin, Tel. (030) 782 50 91 / ELDI, Göttingen, Tel. (0551) 710 08 / Elkose, Hannover, Tel. (0511) 63 99 63.
- Der Impedanzumschalter ist eine 10 A / 380 V-Ausführung mit 6,3-mm-AMP-Anschlüssen und zu beziehen über apr, München, Tel. (089) 48 10 30. Die Typenbezeichnung lautet 20-646 NH/2.
- Die Lüfter 80 x 80 mm können u. a. von der Fa. Völkner in Braunschweig, Tel. (0531) 870 01, bezogen werden.
- Die Kabelverschraubung ist eine Polycarbonat-Trompetenverschraubung PG7 mit Knickschutz und Zugentlastung ('Gardena-Prinzip'). Bei der Firma Rose in Porta Westfalica, Tel. (0571) 50 41-0, lautet die Bestellnummer 08030109 und 08030909 für die passende Gegenmutter. Diese Teile sollen auch im Elektroinstallationshandel erhältlich sein.
- Die verwendeten Seitenprofile werden unter der Bezeichnung PR 156 und PR 158 von der Firma Alutronics in Halver, Tel. (02353) 54 05, angeboten.

HIFI nur in Hamburg P.A.

Open Air

AKTUELLES auf 100 qm VERKAUFSFLÄCHE vorführbereit

Audax
Beyma
Celestion
Dynaudio - EV
Emulation - Focal
H + H - Harman Kardon
Intertechnik - JBL

und viel Zubehör

PSL 320/400 Alu mit Open Air Beschichtung nur DM 398,-

Isophon - Peerless
Lowther - Magnat
Magnetostaten
MB - Matsushita
Quad - Sipe
Scan Speak
KEF - Siare
TDL - Vifa
Visaton
Seas

Dolomit II
Pyramide
42 cm hoch
Glanzackgehäuse
MDF 175,-
Bass beschichtet
16 cm, 80/100 Watt
1 kompl. Bausatz 98,-

Auszug aus HIFI-Vision 1/88
Beste Beratung für HiFi-Fans

BEWÄHRTE LAUTSPRECHERSYSTEME

in 2000 Hamburg 13 · Rentzelstr. 34
Tel.: 040/44 58 10

Bitte Katalog anfordern DM 5,- Sofortversand auch ins Ausland.
Garantie auf alle Artikel.

Vertrieb:
Sound

Clinic

Meisterbetrieb
Günther Christ
Aufhofstraße 5
6507 Ingelheim
West Germany
Tel. 06132/754 14

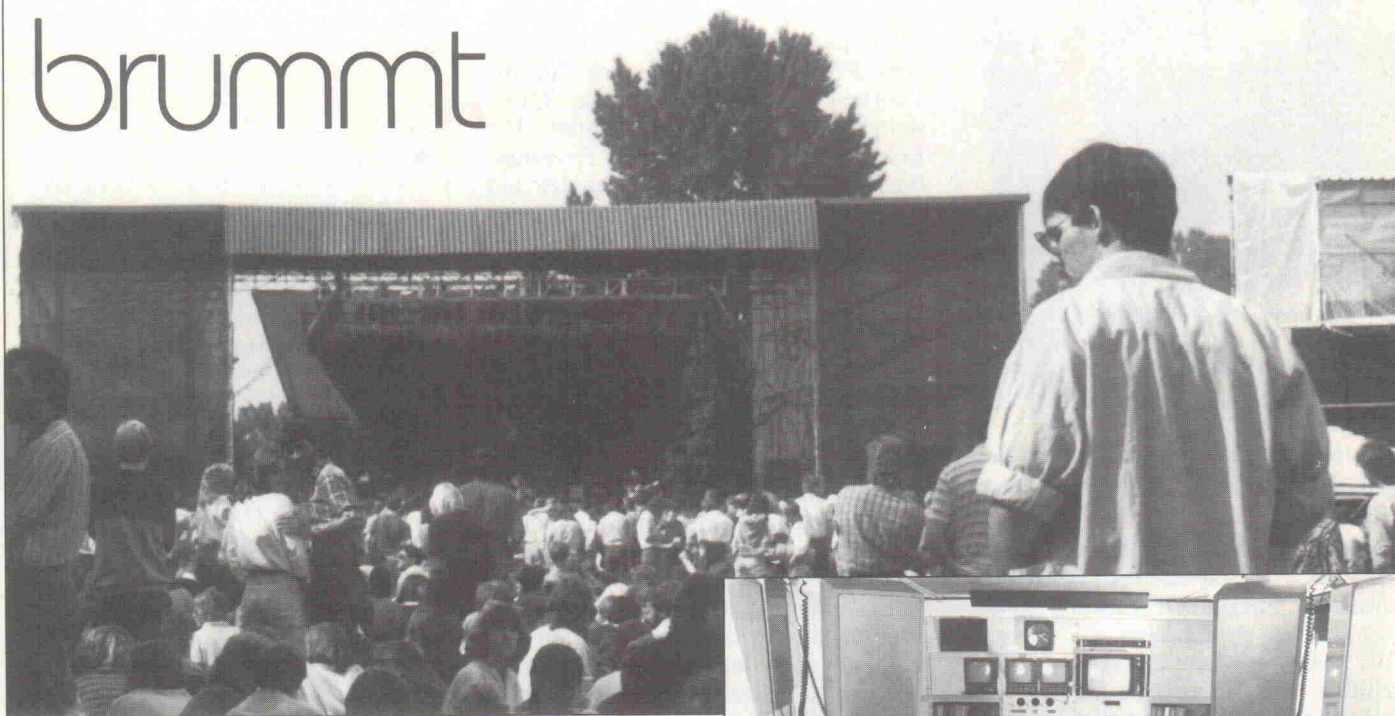
Power with Style

HH electron



VX-900 MOS-PET
High Performance Professional
Power Amplifier

'Wenn der Verstärker brummt



... ist nicht immer der Netztrafo schuld.'

G. Haas

Alle Verstärker der NF-Technik haben eines gemeinsam: Bei falscher Beschaltung sind sie brummempfindlich. Nicht nur der Hobbyelektroniker, auch Studioprofis treten den täglichen Kampf gegen das Übel an. Mit diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, woher Brummstörungen kommen, wie man Brummquellen ermittelt und wie man von vornherein derartige Fehler vermeidet.

Es gibt wohl keinen Besitzer einer Audioanlage, der es nicht wenigstens einmal mit einem brummenden Verstärker oder einer verbrumnten Tonbandaufnahme zu tun gehabt hätte. Meistens wird dann an den Verbindungskabeln gewackelt und gezogen, und oft läßt das lästige Brummen nach oder hört ganz auf. Fast jeder wird festgestellt haben, daß bei Fortfall bestimmter Verbindungen auch der Brumm weg ist. Andererseits gibt es Fälle, wo ein Verstärker auch ohne jegliche peripheren Anschlüsse Brumm im Lautsprecher produziert.

Daß es in verschiedenen Fällen zu Brummstörungen kommen muß, liegt prinzipbedingt auf der Hand: Alle Geräte decken ihren Energiebedarf aus dem Wechselstromnetz. Für die Audiotech-



nik wäre es ideal, wenn man aus der Steckdose Gleichspannung beziehen könnte, oder wenn es leistungsstarke Batterien in allen benötigten Spannungen zum Billigtarif gäbe. Leider ist dies nicht der Fall. Weiterhin hat Gleichstrom den sehr großen Nachteil, daß er nicht so einfach und preiswert auf nahezu beliebige Spannungswerte wie Wechselstrom zu transformieren ist. Wir müssen also damit leben, die überwiegende Zahl unserer Geräte aus dem 50-Hz-Netz zu speisen. Was Audioanlagen gegenüber dem Wechselstromnetz störanfällig macht, ist der nötige Arbeitsfrequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz. Die 50 Hz der Netzspannung liegen schon weit innerhalb des Arbeitsbe-

reiches der Verstärker. (Von 20 Hz bis 50 Hz sind 'nur' 30 Hz Abstand. In der Audio-technik muß aber in Oktaven gedacht werden, und 50 Hz sind dann immerhin eineinhalb Oktaven Abstand von 20 Hz. Von 10 kHz bis 20 kHz ist es jedoch nur eine Oktave! Der ganze Audiobereich umfaßt gut 10 Oktaven). Hochfrequenzverstärker haben es da schon wesentlich leichter. Als Beispiel nehmen wir den Mittelwellenteil eines Rundfunkempfängers mit einer unteren Grenzfrequenz von ca. 600 kHz. Die obere Grenzfrequenz liegt bei etwa 1600 kHz, gerade gut eineinhalb Oktaven Frequenzumfang. Außerdem ist die untere Grenzfrequenz um den Faktor 10.000 von 50 Hz entfernt.

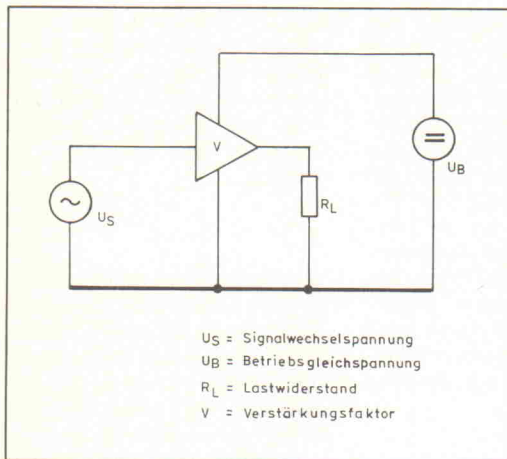


Bild 1. Prinzipschaltung eines Verstärkers.

Wenn Frequenzen so extrem auseinander liegen und noch dazu weit außerhalb des Arbeitsbereichs der Verstärker, ist eine wirksame Unterdrückung von unerwünschten Brummfrequenzen kein Problem. Es läge nun nahe, den Arbeitsbereich eines NF-Verstärkers erst deutlich über 50 Hz anfangen zu lassen. Dies stünde aber in krassem Widerspruch zu dem zu übertragenden Programmmaterial, denn eine Baßgitarre hat als tiefsten Ton 41,2 Hz, Kirchenorgeln, Synthesizer, Baßtrommeln, Blasinstrumente und eine Reihe elektronischer Instrumente können Frequenzen bis herunter zu 16 Hz erzeugen. Eine brummfreie Aufnahme und Wiedergabe von NF-Signalen ist also zwingend notwendig.

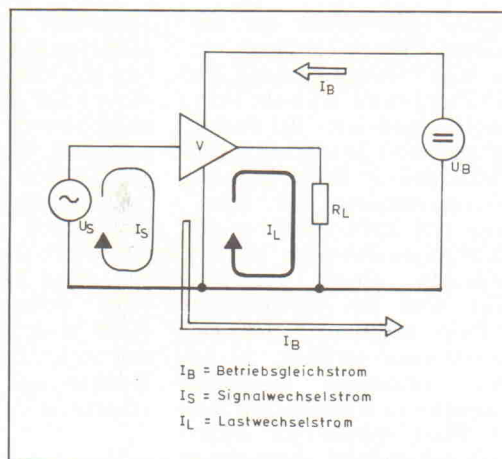
Wenn im Lautsprecher ein kräftiges Brummen selbst bei geschlossenem Lautstärkeregel hörbar ist, wird sehr schnell dem Netztrafo die Schuld gegeben, mit der Vermutung, daß dieser wohl durch sein Streufeld den Verstärker verseuchen muß. Dieses Streufeld induziert irgendwo im Schaltungsaufbau eine Spannung, die zwangsläufig mitverstärkt wird. Schließt

man den Trafo in einem Stahlblechgehäuse ein oder tauscht ihn gegen einen vermeintlich streuärmeren Rinkertrafo aus, stellt man meistens enttäuscht fest, daß das Brummen nur unmerklich nachgelassen hat. Was nun? Wie wir bereits erwähnt haben, muß ein NF-Verstärker eine Übertragungsbandsbreite von wenigstens 20 Hz bis 20 kHz haben, die Brummfrequenz liegt jedoch bei 50 Hz. Der Verstärker hat keine Möglichkeit, Störsignal von Nutzsignal zu unterscheiden und verstärkt alles, was er angeboten bekommt. Hier wird bewußt auf die Formulierung 'am Eingang angeboten' verzichtet, da es innerhalb einer Verstärkeranlage, wie wir noch sehen werden, eine Reihe von Signaleinspeisungsmöglichkeiten gibt. In der Regel wirken alle Störquellen im Verbund, man kann sie jedoch zumindest in der Theorie einzeln lokalisieren und ihren Einfluß qualitativ bestimmen. Im Grunde genommen lassen sich die Störquellen in vier Kategorien aufteilen:

1. Einstreuung durch das eingebaute Netzteil,
2. Störungen durch falsche Schaltungskonzeption,
3. Störungen durch falsche und/oder schlechte Masseleitungen,
4. Brummschleifen durch die Verkabelung zwischen Geräten.

Es gibt kein Patentrezept zur Beseitigung der Störungen. Dafür gibt es aber Regeln, die bei konsequenter Anwendung meist sicher zum Ziel führen. Dazu müssen wir einen einzelnen Verstärker näher untersuchen und danach eine Zusammenschaltung von mehreren Audiogeräten. In Bild 1 ist die Prinzipschaltung eines Verstärkers dargestellt. Die Signalquelle U_S speist eine Wechselspannung in den Verstärker ein, der diese um den Faktor v verstärkt und an den Lastwiderstand R_L abgibt. Der Verstärker wird aus der Gleichstromquelle U_B ge-

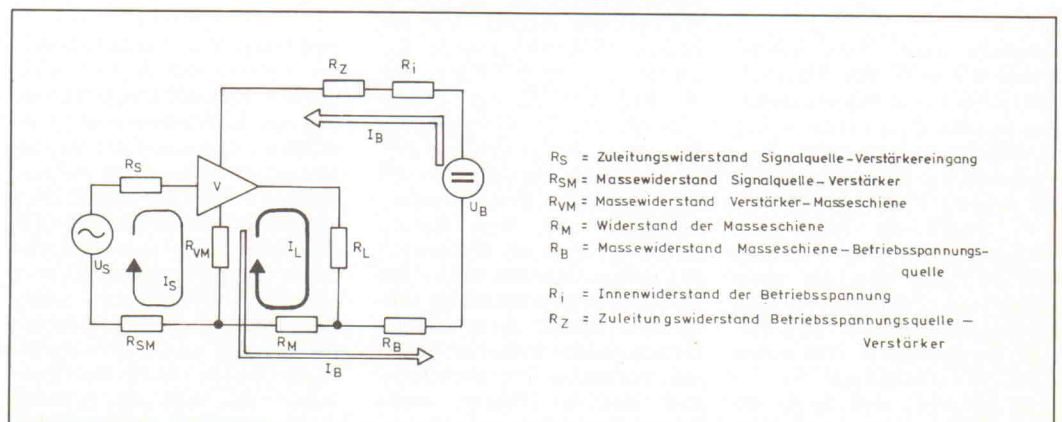
Bild 2. Verstärker mit Strömen.



speist. Alle Vorgänge sind auf die in Bild 1 dicker eingezeichnete Masseschiene bezogen. Im Grunde genommen eine einfache und einleuchtende Angelegenheit. Der Teufel steckt jedoch im Detail.

In Bild 2 sind die auftretenden Ströme eingezeichnet. Zum Teil müssen verschiedene Ströme die gleichen Leitungswege benutzen, was eigentlich kein

Bild 3. Erweiterte Verstärkerschaltung mit Masse- und Zuleitungswiderständen.



Problem wäre, wenn die Masse-schiene (aber auch alle anderen Leitungen) tatsächlich 0 Ω hätte. Weiterhin ist zu beachten, daß Ströme unterschiedlicher Größe und Richtung oft dieselben Leitungswege benutzen, was in Bild 2 durch verschieden dicke Richtungspfeile angedeutet ist. In Bild 3 ist die Schaltung deshalb um die endlichen Leitungswiderstände erweitert, wobei wir diese Schaltung wiederum in Detailschaltungen zerlegen und den Einfluß der einzelnen Masse- und Zuleitungswiderstände untersuchen werden.

Wie aus der Verstärktheorie bekannt, stellt die (ideale!) Betriebsspannungsquelle für Wechselspannungen einen Kurzschluß dar. In Bild 3 sind jedoch die realen Verhältnisse in Form von Zuleitungswiderständen eingetragen. Wenn wir zunächst den Stromkreis der Sig-

nalquelle oder direkt bei der Stromzuführung ein Elko sitzt. Je nach Stromaufnahme der Schaltung wird er mehr oder weniger groß sein. Bei Stromspitzen und Lastschwankungen übernimmt er einen Teil der Stromversorgung der Schaltung und kann sich über die Zuleitungswiderstände in Ruhepausen wieder aufladen. Hier wird das physikalische Prinzip ausgenutzt, daß ein Kondensator versucht, die an ihm vorhandene Spannung möglichst zu erhalten. Auf diese Weise werden die Zuleitungswiderstände weitgehend kompensiert.

Wesentlich kritischer sind die anderen drei Widerstände, vor allem weil durch sie, wie bereits erwähnt, verschieden große Ströme in unterschiedlichen Richtungen fließen. Am kritischsten erscheint R_{VM} , da durch ihn gleich drei Ströme fließen. Der nur in eine Richtung fließende Gleichstrom I_B

widerstand und dämpft das Eingangssignal und im Endeffekt die Verstärkung. Auch in diesem Fall werden beide Signalhalbwellen unterschiedlich behandelt. R_B bewirkt auf den ersten Blick auch nur einen Spannungsabfall wie die Widerstände R_i und R_z . Er kann sich jedoch sehr negativ auswirken, wenn der Verstärker auf einen niederohmigen Massepunkt in der Stromversorgung angewiesen ist. R_B kann Instabilitäten und Brummneigung verursachen.

Durch R_{SM} und R_S fließt nur der Strom der Signalspannungsquelle, und diese Widerstände würden nur die Höhe des Eingangssignals dämpfen. Wie wir aber gleich sehen werden, beeinflusst einer davon sehr stark die Brummempfindlichkeit des Verstärkers, womit wir schon die erste Störquelle ermittelt haben. Je nach Schaltungsauf-

sind. In professionellen Geräten geht man deshalb dazu über, verschiedene, getrennte Masseleitungen zu führen und diese nur an einem einzigen Punkt im Gerät zusammen zu schalten.

In Bild 4a sind die Verhältnisse am Eingang eines Verstärkers dargestellt. R_S ist in der Regel relativ klein gegenüber R_e und bildet mit ihm zusammen einen Spannungsteiler, der lediglich das Nutzsignal etwas bedämpft. Er kann, was die Brummempfindlichkeit anbelangt, getrost vernachlässigt werden. R_{SM} stellt den Zuleitungswiderstand von der Signalquelle U_S zur Verstärkermasse dar, die gegenüber R_{SM} sehr niederohmig sein soll. R_{SM} ist in der Regel kein einzeln lokalisierbarer Widerstand, sondern setzt sich zusammen aus dem Kabelwiderstand der Zuleitung und den Übergangswiderständen an Steckern und Lötstellen. Die Abschirmung des Zuleitungskabels wird im allgemeinen bei unsymmetrischen Systemen als Masseleitung benutzt. Diese ist zwangsläufig den überall vorhandenen Störfeldern ausgesetzt, die in ihr eine Störspannung induzieren. Ist ihr Widerstand nicht niederohmig genug, werden die Störspannungen nicht ausreichend bedämpft bzw. kurzgeschlossen. Sie addieren sich zur Signalspannung und wir erhalten das Ersatzschaltbild nach Bild 4b, in dem Signal- und Störquelle in Reihe geschaltet sind. Hier in diesem Fall ist der Brummverursacher eindeutig ein zu hoher Massewiderstand der die in die Leitung induzierten Störungen nicht kurzschließen kann.

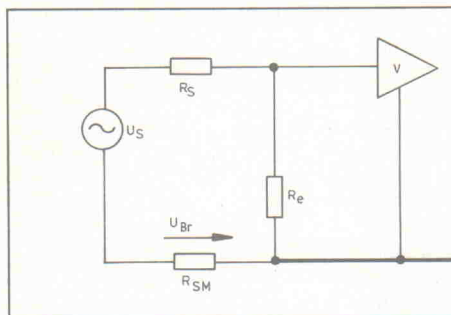


Bild 4a. Widerstände im Eingangskreis des Verstärkers und Entstehen der Brummspannung U_{Br} an R_{SM} .

nalquelle außer Acht lassen, haben wir es in den Masseleitungen mit den Widerständen R_B , R_M und R_{VM} zu tun, in der Betriebsspannungsleitung sind es R_i und R_z . R_i und R_z stellen für unseren Fall kein Problem dar: Durch sie fließt nur Gleichstrom in einer Richtung und es treten allenfalls unerwünschte Leistungsverluste auf. Ihr Einfluß läßt sich recht einfach kompensieren. Aus vielen Verstärkerschaltungen ist jedem bekannt, daß direkt an den OPs, auf der Endstufen-

erzeugt zunächst einen konstanten Spannungsabfall, der allerdings bei Aussteuerung des Verstärkers in einen pulsierenden Gleichstrom übergehen kann. Der Strom I_L muß drei Widerstände passieren, den Lastwiderstand R_L , an dem er Nutzleistung erzeugt, und die beiden Massewiderstände R_M und R_{VM} . Je nach Polarität der Wechselspannung hat I_L einmal die gleiche Richtung wie I_B , einmal die entgegengesetzte. Die beiden Signalhalbwellen werden deshalb unterschiedlich behandelt. An R_{VM} kommt noch der Strom der Signalquelle U_S dazu. Handelt es sich um einen nicht invertierenden Verstärker, haben beide Signalströme gleiche Polarität. Wenn der Verstärker im invertierenden Betrieb arbeitet, wirkt R_{VM} wie ein Gegenkopplungs-

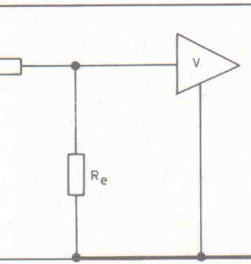


Bild 4b. Ersatzschaltbild für einen Verstärkereingang mit Brummeinstreuung.

bau können die Signalhalbwellen unterschiedlich behandelt werden. Dies beeinflusst zum einen den Klirrfaktor eines Verstärkers, zum anderen kann die Brummspannung einen unsymmetrischen Verlauf zeigen. Dies verursacht unterschiedlich viele Oberwellen, die je nach spektraler Zusammensetzung verschieden stark störend sind. Die Überlagerung verschiedener Ströme aus unterschiedlichen Quellen macht also Probleme, die nicht auf einfache Art in den Griff zu bekommen

Beim Anschließen einer Signalquelle an einen Verstärkereingang sind deshalb folgende Punkte zu beachten: Die Masseleitung von der Signalquelle zum Verstärkereingang soll so niederohmig wie möglich sein. Kritisch sind die Steckverbindungen: Hier sollten nur Ausführungen mit hochwertigen Kontaktmaterialien eingesetzt werden, die auch über lange Zeiträume hohe Korrosionsfestigkeit aufweisen

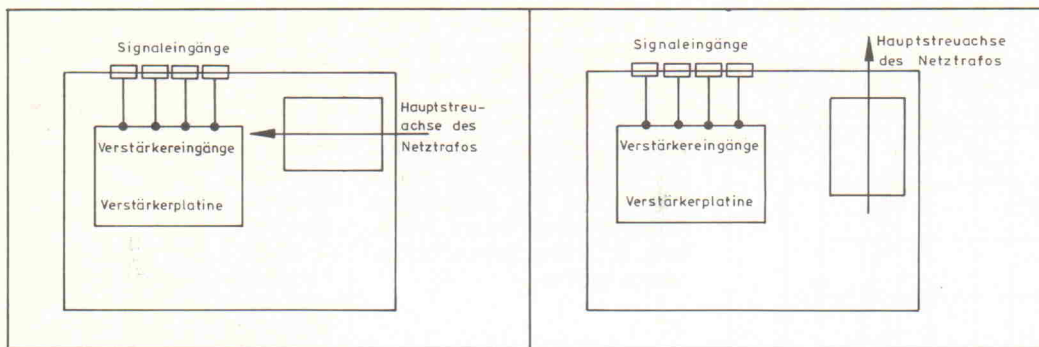


Bild 5a. Falsche Anordnung des Netztrafos in einem Verstärkerbau.

Bild 5b. Richtige Anordnung des Netztrafos in einem Verstärkerbau.

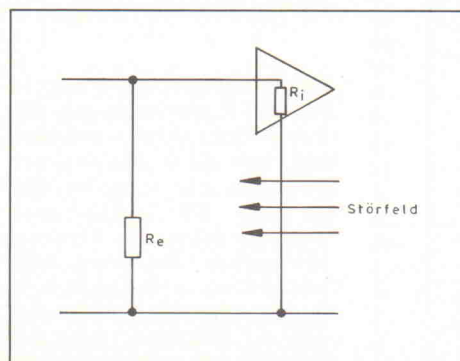
und geringe Übergangswiderstände im Milliohm-Bereich sicherstellen. Je empfindlicher der Verstärkereingang ist (z.B. hochverstärkende Mikrofoneingänge, Gitarrenverstärker mit hoher Empfindlichkeit für verzerrtes Spielen mit langem Sustain), desto kritischer ist diese Masseverbindung.

Am Verstärkereingang war es noch relativ einfach, die Brummquelle zu ermitteln. Im Verstärker selbst gibt es eine Reihe von möglichen Brummquellen, die nicht immer so leicht zu lokalisieren sind. Nehmen wir uns hier gleich den oft zu unrecht vermuteten Hauptübeltäter Netztrafo vor. Daß er ein Streufeld hat, dafür kann er was. Wenn dieses zu groß ist, kann der Konstrukteur bzw. der Hersteller — aber unter Umständen auch der Anwender — etwas dafür. Wenn er aber nichts dafür. Jeder Trafo hat eine Hauptstreuachse, in deren Richtung viele Feldlinien (statt sich im Eisenkern aufzuhalten) in der Luft vagabundieren. Ist nun diese Hauptstreuachse wie in Bild 5a auf den empfindlichen Eingangsverstärker oder auf die Eingangsbuchsen gerichtet, sind Brummstörungen vorprogrammiert. Was dabei prinzipiell geschieht, ist in Bild 6 dargestellt. Die Leitungen um den Eingangsverstärker zusammen mit dem Eingangswiderstand R_i und der interne Verstärkereingangswiderstand stel-

len eine Leiterschleife dar, die wie eine einzige Trafowindung wirkt. Durch das magnetische Störfeld wird eine kleine Spannung induziert, die einen Spannungsabfall vor allem an R_e hervorruft, der gegenüber anderen Widerständen relativ groß sein muß, damit ein Verstärker überhaupt funktioniert. Dieser Spannungsabfall wird entsprechend mitverstärkt. Wenn der Netztrafo in Bild 5b um 90° gedreht wird, ist diese Brummgefahr meist schon beseitigt. Wenn nicht, helfen oft ein Stück Weißblech oder eine kupferkaschierte Platte als Abschirmung, die natürlich gute Verbindung mit Masse haben müssen. Aluminium oder Messing sind für derartige Abschirmzwecke ungeeignet. Man sollte bei dieser Gelegenheit auch berücksichtigen, daß stromdurchflossene Leitungen ebenfalls Störfelder ent-

wickeln. Alle Kabel, die vom Netz zum Trafo hinführen, aber auch alle Wechselstrom führenden Leitungen vom Trafo zu den Gleichrichtern sollten deshalb paarweise verdreht werden. Dies bewirkt, daß sich die Felder bei gegensinnig fließenden Strömen überwiegend aufheben. Weiterhin müssen diese Kabel genügend Abstand von empfindlichen Verstärkerteilen haben, bzw. es muß eine Abschirmung zwischen ihnen und dem Verstärker eingefügt werden.

Bild 6. Der Eingangskreis eines Verstärkers stellt eine einzige 'Trafowindung' dar, in die durch das Störfeld eine Störspannung induziert wird. Die an den Widerständen R_i und R_e abfallenden Störspannungen werden mitverstärkt.



tisch leitfähigste Legierung überhaupt. Sie besteht neben Eisen zu über 75% aus Nickel. Damit die Abschirmwirkung perfekt ist, muß das Material nach der mechanischen Bearbeitung unter Schutzgas geglüht werden, damit die für die hohe magnetische Leitfähigkeit wichtige Kristallstruktur wieder hergestellt wird. Außerdem darf das Material nach der endgültigen Bearbeitung nicht mechanisch belastet werden. Wer also die teure Mu-Metall-Abschirmung vor dem Einbau fallen läßt und das verbogene Blech wieder gerade biegt, kann sie sich gleich sparen. Sie muß auf jeden Fall wieder geglüht werden! Für Heimwerker ist die Bearbeitung deshalb recht schwierig, man kann eigentlich nur mit fertig angebotenen Schirmungen arbeiten, die zudem sehr teuer sind (Einzelstücke liegen leicht bei 100 DM und mehr, sofern sie überhaupt erhältlich sind).

Die zweite Methode ist zwar auch aufwendig, jedoch für jeden nachvollziehbar. Man baut das Netzteil einschließlich Netztrafo(s), Gleichrichter, Siebelkos und Spannungsregler in einem getrennten Gehäuse auf und stellt es einige Meter entfernt vom Verstärker auf. Im Verstärkerteil kommen nur noch gesiebte Gleichspannun-

Sollten die eben beschriebenen Methoden nicht ausreichen, gibt es noch zwei sehr wirksame Möglichkeiten, das Netzteilbrummen zu vermeiden: Man kann den Netztrafo in Mu-Metall kapseln und die Wechselstromleitungen wie bereits beschrieben verlegen. Hier noch ein Hinweis zum Material Mu-Metall. Es handelt sich dabei um die magne-

Bild 7. Typischer Brummspannungsverlauf am Ausgang eines Verstärkers. Der Brumm-Spannung sind Spannungsspitzen überlagert, die jedesmal beim Öffnen des Gleichrichters durch Ladestromstöße entstehen.

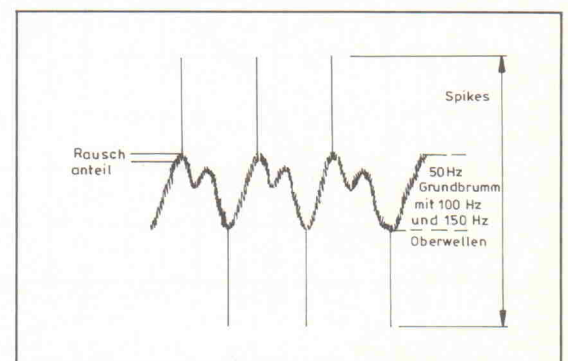


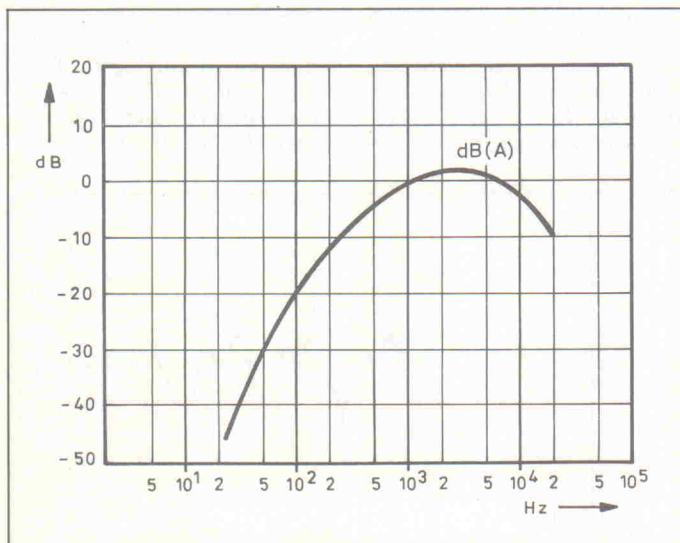


Bild 8a. Mit dem Bewertungsfilter nach CCIR 468 wird üblicherweise in der Studio-technik gearbeitet. Besonders stark fällt hier der Bereich 1 kHz...12 kHz ins Gewicht, da Rauschen in diesen Frequenzen als besonders störend empfunden wird.

gen an. Dies wird z.B. bei hochwertigen Studiogeräten und vor allem bei Profimischpulten praktiziert. Hier nutzt man den Effekt, daß bei elektromagnetischen Feldern die Intensität im Quadrat zur Entfernung abnimmt.

Wie bereits erwähnt, ist es sehr oft nicht das Streufeld des Trafos, welches den Verstärker zum Brummen bringt. Eine wichtige Ursache, die durchaus auch von geübten Elektronikern übersehen wird, ist die falsche Beschaltung und Leitungsführung vom Trafo zum Gleichrichter, Siebelko und weiter zum Verstärker. Man denkt, alles sei richtig verschaltet. Mit dem Oszilloskop registriert

Bild 8b. Die A-Bewertungskurve stammt ursprünglich aus der Ära der Röhrenverstärker, in der das Brummen durch die Röhrenheizspannung noch ein Problem darstellte.



man jedoch eine kleine Brummspannung am Verstärkerausgang, die sich trotz ihrer relativen Kleinheit im Lautsprecher sehr lästig anhört. Hier kommt es nun darauf an, das Oszilloskop richtig zu bedienen und das Meßergebnis richtig zu interpretieren. Nur so kann der wahre Störenfried ermittelt werden.

Dazu betrachten wir Bild 7, wo ein typisches Meßergebnis dargestellt ist. In der Regel registriert man die mit Verstärker-rauschen vermischte Brummspannung, die oft nicht nur die 50-Hz-Grundwelle, sondern die vom Brückengleichrichter verursachte 100-Hz-Oberwelle

und die Schärfe optimal eingestellt ist. Man wird erschreckt feststellen, daß sie ein Vielfaches an Amplitude des Grundbrumms zusammen mit dem Rauschen haben! Untersucht man diese Spikes mit einem Spektrumanalyzator auf ihren Oberwellengehalt, wird man feststellen, daß noch Anteile bis weit über 20 kHz vorhanden sind. Die Bewertungskurven in Bild 8a und b berücksichtigen die große Ohrempfindlichkeit im mittleren Frequenzbereich. Die Spikes verursachen genügend Spektralanteile gerade in diesem kritischen Bereich; damit erklärt sich die gehörmäßige Lästigkeit dieser Brummart. Nun gilt es die Ursache zu finden.

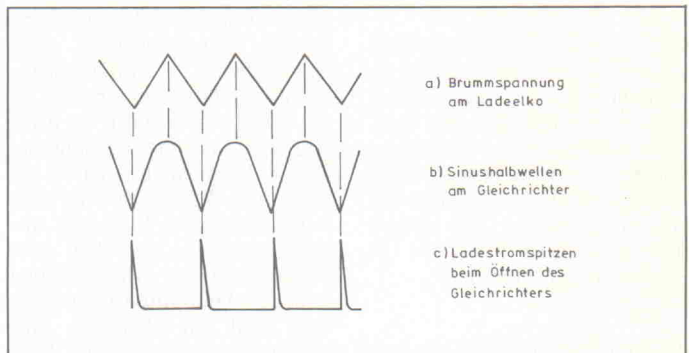


Bild 9. Aus diesen Diagrammen erklärt sich die Entstehung der Spikes in der Brummspannung.

und ebenfalls als Mischprodukt noch die 150-Hz-Oberwelle enthält. Ein 50-Hz-Brummtön würde sich als reiner Sinus gehörmäßig nicht sehr störend auswirken. Das menschliche Ohr hat in diesem Bereich eine stark verminderte Empfindlichkeit. Die wird auch in den Bewertungskurven der Geräuschspannungsfilter nach DIN 45 500 und CCIR 468 berücksichtigt (siehe Bild 8a und b). Hier werden die typischen Brummfrequenzen je nach Lästigkeit bei 50 Hz mit 25 bis 30 dB abgewertet, bei 100 Hz mit 20 dB und 150 Hz mit ca. 15 dB.

Was man aber beim Überprüfen der Brummspannung mit dem Oszilloskop beachten muß, sind die in Bild 7 eingezeichneten sehr schmalen Spikes im 100-Hz-Rhythmus! Meist wird bei der Messung nicht genau hingesehen oder das Oszilloskop wird nicht richtig eingesetzt. Die Spikes kann man nur erkennen, wenn die Helligkeit sehr weit aufgedreht

Man kann sich die Erklärung für die Entstehung der Spikes recht anschaulich herleiten. Schaltet man das Oszilloskop auf AC und betrachtet die Brummspannung am Siebelko gleich nach dem Gleichrichter, sieht es prinzipiell aus wie in Bild 9a. Direkt darunter in Bild 9b sind die dazugehörigen Halbwellen gezeichnet, wie sie ein Brückengleichrichter an einen ohm-

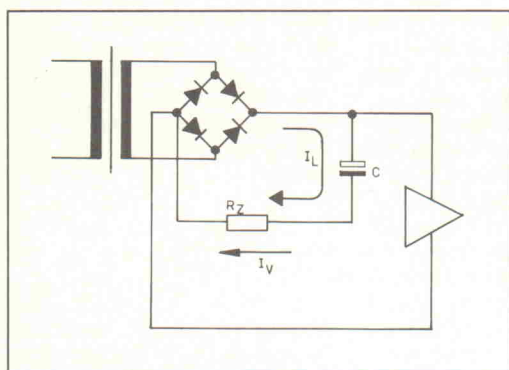


Bild 10. Dieses Prinzipschaltbild macht deutlich, wie durch falsche Verdrahtung des Netzteils Verstärkerbrumm entstehen kann.

schen Widerstand liefert. Jedesmal, wenn die Wechselspannung aus dem Trafo die am Elko verbliebene Restspannung überschreitet, öffnet der Gleichrichter. Damit entsteht ein Ladestromstoß und ein periodischer Stromfluß wie in Bild 9c.

Nun muß noch geklärt werden, wie sich die in Bild 9 gezeigten Verhältnisse auf den Verstärker auswirken. Oft wird aus Bequemlichkeit oder aber auch aus Unkenntnis der Sachlage ein falscher Aufbau gewählt. In vielen Fällen bietet es sich an, den voluminösen Elko irgendwo am Platinenrand oder außerhalb der Platine zu platzieren und den kleinen Siliziumgleichrichter für Printmontage an geschickter Stelle auf der Platine. Damit ist Verstärkerbrummen der lästigen Art vorprogrammiert. Und gerade hier wird dann der Fehler oft an falscher Stelle gesucht, nämlich beim Netztrafo.

Betrachten wir uns die Prinzipschaltung in Bild 10. Hier wurde z.B. wegen der bequemerer Verdrahtung die Masseleitung direkt am Gleichrichter angeschlossen. Vom Minuspol des Gleichrichters zum Siebelko ist der Zuleitungswiderstand R_Z wirksam. Der Verstärker muß, um ordnungsgemäß zu arbeiten, kontinuierlich Strom aus dem Elko beziehen können,

denn die 100-Hz-Halbwellen des Gleichrichters sind für ihn ungeeignet. Die Ladestromstöße I_L verursachen nun im 100-Hz-Rhythmus einen Spannungsabfall an R_Z , da der Elko aufgrund seiner niedrigen Impedanz auf jeden Fall mehr Strom zieht als der Verstärker.

Die Verstärkermasse liegt in der Schaltungsart nach Bild 10 nicht am niederohmigsten Punkt der Gleichrichter-Siebelko-Schaltung, so daß auch die Verstärkereingangsmasse diesen Spannungsabfall mitbekommt. Der Ladestrom des Elkos überlagert sich an R_Z mit

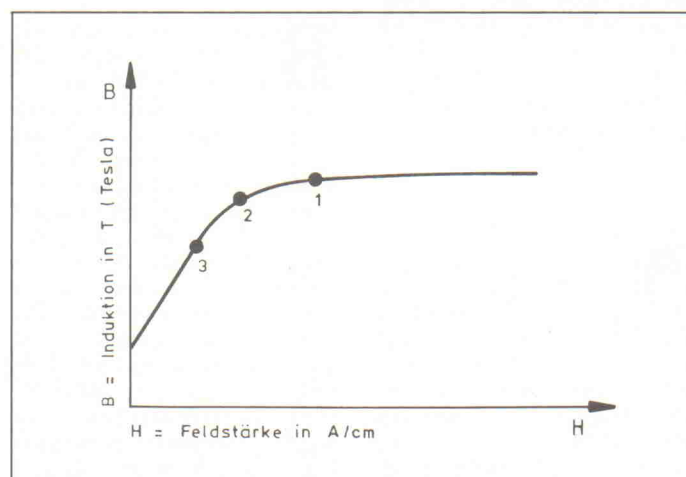


Bild 12. Sättigungskurve eines Trafoblechs.

Arbeitspunkte:

1: Unterdimensionierter Trafo ohne jegliche magnetische Reserven. Bei Vollast und/oder Netzüberspannung entwickelt er ein starkes Streufeld, kann aber auch im Normalbetrieb schon streuen.

2: Ausreichend dimensionierter Netztrafo mit etwas magnetischer Reserve. Arbeit gerade an der Grenze zu großem Streufeld bei Vollast und/oder Netzüberspannung.

3: Gut dimensionierter Netztrafo mit hohen magnetischen Reserven, sehr streuarm.

dem Entladestrom über den Verstärker. Wäre $R_Z = 0 \Omega$, gäbe es keine Probleme. Im Prinzip herrschen wieder Verhältnisse wie in Bild 4, nur mit dem Unterschied, daß das Problem 'hausgemacht' ist.

Nun könnte man den Querschnitt der Minusleitung zum Elko stark vergrößern, man wird allerdings immer Leitungswiderstände in der Größenordnung von 1 bis 10 m Ω zusammenbringen, vor allem auch weil die nötigen Lötstellen durch die höheren spezifischen Widerstand der Zinn-Blei-Legierung Übergangswiderstände verursachen. In Hochstrom- und Computerschaltnetzteilen verwendet man hier aus diesen

Bild 11. Richtige Netzteilverdrahtung; die mit * bezeichneten Punkte sind die Elkoanschlüsse. Die Zu- und Ableitungen müssen direkt an diese Punkte geführt werden.

Gründen Steck- und Schraubanschlüsse, da Messing, Aluminium oder Kupfer niedrigere Übergangswiderstände haben. Die Ladestromstöße können selbst bei kleineren Netzteilen in der Spitze durchaus in der Größenordnung von 10 A und größer liegen, was mindestens 10 mV Spannungsabfall an 1 m Ω hervorruft. Wenn auch nur ein Teil dieser 10 mV Störspannung über die Masseleitungen an den Verstärkereingang gelangt (siehe Bild 4), ruft dieses zwangsläufig einen lästigen Brumm hervor, da die kleine Brummspannung durch die Gesamtverstärkung stark angehoben wird. In Bild 11 ist prinzipiell die richtige Verdrahtung von Trafo, Gleichrichter, Elko und Zuführung der Verstärkerbetriebsspannung gezeichnet. Die Leitungsführung ist so ausgelegt, daß sich die verschiedenen Stromkreise nicht gegenseitig beeinflussen, da keine Überlagerung stattfindet.

Mit dem bisher beschriebenen wäre allerdings nur die halbe Wahrheit gesagt. Es gibt eine weitere Möglichkeit, wie die Spikes nach Bild 7 entstehen. In Bild 12 ist die typische Sättigungskurve für einen Trafokern mit drei möglichen Arbeitspunkten bei Vollast eingezeichnet. Ist der Trafo aus Sparsamkeit zu knapp ausgelegt, d.h. wird er bei Normallast recht nahe an der Sättigungsgrenze betrieben, kann er bei größeren Ladeelkos jedesmal beim Öffnen der Gleichrichterdioden in die Sättigung getrieben werden. Weiterhin kommt es vor, daß schon bei geringer Netzüberspannung der Trafo in Dauersättigung betrieben wird. Ist ein Eisenkern magnetisch gesättigt, sind

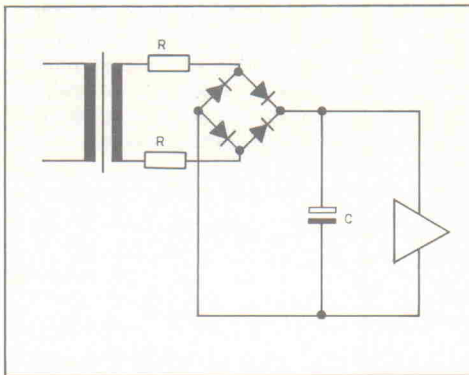


Bild 13. Netzteil mit eingebauten Strombegrenzungswiderständen R zur Verminderung der Ladestromspitzen.

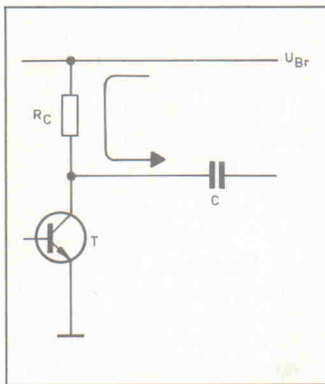


Bild 14. Wenn der Betriebsgleichspannung Brummspannung überlagert ist, kann sie bei dieser Verstärkeranordnung über R_C und C an den Eingang der nachfolgenden Verstärkerstufe gelangen und wird mitverstärkt.

dargestellten Prinzip versuchen, auch wenn er magnetisch richtig ausgerichtet ist. Damit ist auch erklärt, warum der Austausch eines normalen Trafos gegen einen vermeintlich streuarmer Ringkerntrafo dieses Problem nicht immer grundsätzlich löst. Ein zu knapp dimensionierter Ringkerntrafo kann in solchen Fällen mehr Streufeld entwickeln, als z.B. ein gut dimensioniertes Exemplar mit hochwertigen M-, MD- oder EI-Blechen.

A bhilfe gibt es auf zwei Arten. Erstens kann man den Trafo, wie bereits angedeutet, gegen einen besser dimensionierten austauschen, der so konstruiert wurde, daß ausreichende magnetische Reserven für jeden Betriebsfall (Vollast, gelegentliche Überlast, Netzüberspannung) vorhanden sind. Diese Trafos haben dann gegenüber anderen Ausführungen bei gleicher Kerngröße eine geringere Leistungsangabe, oder anders herum, bei gleicher Leistungsangabe einen größeren Kern. Ein weiterer Vorteil eines ausreichend dimensionierten Trafos ist eine wesentlich geringere Eigen erwärmung selbst bei Dauervollast.

Die zweite Möglichkeit ist in Bild 13 dargestellt. In die Leitungen zum Gleichrichter sind die beiden Widerstände R eingefügt, die den Ladestromstoß als reale ohmsche Widerstände begrenzen. Zwei gleiche Widerstände sind wegen der Symmetrierung günstig, ein einzelner tut es aber auch. Je nach Verstärker und Stromverbrauch sind Werte zwischen $0,1 \Omega$ und mehreren Ohm angebracht. Wenn der Ladestromstoß gerade beim Öffnen der Gleichrichterdioden etwas begrenzt wird, kommt der Trafo nicht in die Sättigung und der störende Spike wird vermieden. Wird allerdings ein zu knapp dimensionierter Billigtrafo eingesetzt, helfen diese Widerstände auch nicht weiter.

B isher untersuchten wir die Möglichkeiten der Brummeinschleifung über die Masseleitungen. Brummen kann sich auch auf weitere Arten innerhalb des Verstärkers einschleichen, z.B. über die Versorgungsspannung. Wie in Bild 9a bereits dargestellt wurde, ist die am Ladeelko vorhandene Gleichspannung mit einer Brummspannung überlagert. Oft wird aus Kostengründen auf eine Stabilisierung der Betriebsspannung verzichtet bzw. sie ist wegen verstärkerspezifischer Eigenschaften nicht sinnvoll (Leistungsstufen). Dann muß der passiven Brummsiebung um so mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Damit wir überhaupt einen Ansatzpunkt haben, muß eine Formel zur Ermittlung der Größe der Brummspannung definiert werden. Exakte Formeln sind zu umfangreich und schlecht zu handhaben. Wenn die genau errechneten Ergeb-

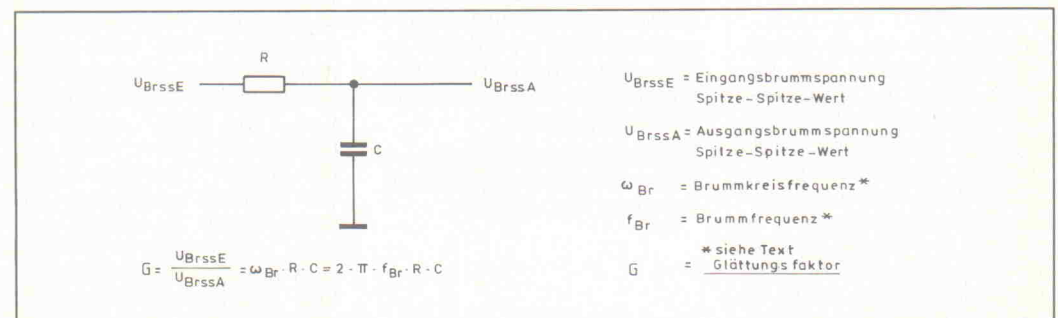
nisse mit praktischen Meßwerten verglichen werden, kommt man zu dem Schluß, daß die Näherungsformel bei weitem ausreicht. Für Zweiweg- und Brückengleichrichter gilt die Formel

$$U_{BRSS} \approx \frac{I_L}{2\pi C_L}$$

Man erhält also die ungefähre Brummspannung als Scheitel-Scheitel-Wert (bequem zu messen mit dem Oszilloskop), indem der Ladestrom I_L durch zweimal die Netzfrequenz f und den Ladeelkondensator C_L geteilt wird. Der Faktor 2 steht für Brücken- und Zweiweggleichrichter, da hier der Elko mit 100-Hz-Halbwellen nachgeladen wird. Bei Einweggleichrichtung ist dieser Faktor 1.

Wenn nun die Brummspannung am Ladeelko ermittelt werden soll, muß die Ruhestromaufnahme des Verstärkers als I_L eingesetzt werden, denn im Leerlauf ist der Brumm besonders lästig. Bei Aussteuerung wird in der Regel der Brumm durch das Nutzsignal übertönt und kann gehörmäßig nicht mehr wahrgenommen werden. Werden z.B. Vorstufen aus dieser ungesiebten Betriebsspannung mit versorgt, kann ein gewisser Brummanteil

Bild 15. Berechnungsunterlagen für eine Brummsiebung mit RC-Gliedern.



praktisch alle magnetisierbaren Eisenteilchen ausgerichtet. Soll weitere Energie durch die Spulen übertragen werden, müssen sich die Feldlinien ihren Weg durch die Luft suchen. Mit anderen Worten, der Trafo entwickelt ein starkes Streufeld (siehe auch 'Der Übertrager, das unbekannte Wesen', Elrad 6/87 und 7/8/87). Dieses Streufeld kann dann z.B. den Verstärker nach dem in Bild 6

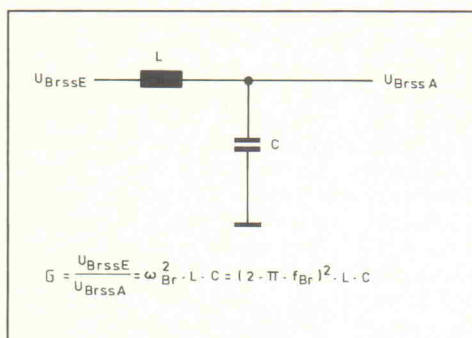


Bild 16. Berechnungsunterlagen für eine Brummsiebung mit LC-Gliedern.

in den Verstärker eingeschleppt und mitverstärkt werden. Es ist aber auch oft der Fall, daß diese Brummspannung in der Eingangsstufe des Endverstärkers auftaucht. Wenn auf der Versorgungsleitung noch Brummspannung vorhanden ist, kann in einer Schaltung nach Bild 14 diese über den Widerstand R_C zur nachfolgenden Verstärkerstufe gelangen und wird weiterverstärkt. Je nach Arbeitspunkteinstellung wird sie zwar etwas abgeschwächt, jedoch nicht vollständig unterdrückt. Es müssen also geeignete Siebmaßnahmen in der Betriebsspannungsleitung getroffen werden. Auch bei der Verwendung von Operationsverstärkern ist der Betriebsspannungssiebung Aufmerksamkeit zu widmen, da auch deren Brummspannungsunterdrückung nicht beliebig groß ist.

Die einfachste und am häufigsten angewandte Siebung ist die RC-Siebung, wie sie in Bild 15 dargestellt ist. Der Widerstand R bildet zusammen mit dem Kondensator C einen Tiefpaß, der die Brummfrequenz ausfiltert. Man kann auch den Glättungsfaktor G definieren, das ist der Faktor, um den die Brummspannung vermindert wird, wie er in der Formel in Bild 15 aufgeführt ist. Für die Brummfrequenz f ist die Frequenz einzusetzen, die der jeweilige Gleichrichter liefert. Für Brücken- und Zweiweggleichrichter müssen 100 Hz eingesetzt werden, für Einweggleichrichter sind 50 Hz einzusetzen. Der Vorteil der RC-Siebung ist, daß sie sehr preiswert aufgebaut werden kann. Der Nachteil ist, daß an R je nach Ladestrom ein mehr oder weniger großer Spannungsabfall auftritt. Diese

Art der Siebung ist nur bei kleinen Strömen sinnvoll bzw. wo am Siebwiderstand ein gewünschter Spannungsabfall gleich mit erzeugt wird.

In Bild 16 ist ebenfalls eine Tiefpaßschaltung dargestellt, jedoch ist statt des Widerstandes R die Drossel L eingesetzt. Was bei der dazugehörigen Formel auffällt ist, daß die Brummkreisfrequenz quadratisch eingeht. Was in Bild 15 nur mit relativ großen Werten für R und C als Glättungsfaktor machbar ist, kann mit der Schaltung nach Bild 16 schon mit wesentlich kleineren Werten erreicht werden. Wer es nachrechnet, wird sehen, daß das Quadrat seine Wirkung zeigt.

Die LC-Siebung ist überall da sinnvoll, wo hohe Spannungen den Einsatz von Halbleiterschaltungen unsicher machen (Röhrenverstärker), oder wo die in Halbleiterschaltungen übliche Strombegrenzung dynamische Probleme verursacht. Dies kann z.B. bei Transistorendstufen der Fall sein, die die Strombegrenzung von stabilisierten Netzteilen ansprechen lassen würde, wenn sie dringend benötigte Spitzenströme bei Aussteuerung ziehen würden. Dies würde sich durch kratzigen Klang bemerkbar machen. Netzsiebdrosseln haben den unschlagbaren Vorteil, daß sie einerseits sehr niederohmig sein können und deshalb nur geringe Spannungsverluste verursachen und doch sehr hohe Siebfaktoren sichern, auf der anderen Seite sind sie äußerst robust. Spitzenströme, Spannungsspitzen und Übertemperaturen können Halbleiternetzteile zerstören, machen aber einer richtig konstruierten

Siebdrossel auch über eine Dauer von Minuten nichts aus.

Wer nun eine LC-Siebung einsetzen will, muß noch einige Dinge beachten, so einfach die Schaltung auch ist. Es hat wenig Sinn, die Brummspannung nach der Siebkette auf wesentlich weniger als 10 mV_{SS} zu glätten, indem die Induktivität der Drossel zusammen mit der Siebkapazität auf höchste Werte getrieben wird. Dies würde nur immense Kosten beimäßigem Nutzen verursachen. Brummspannungen um 10 mV_{SS} liegen bereits in der Größenordnung der praktisch immer vorhandenen Rauschspannung. Verschwindet die Brummspannung im Rauschen, ist sie nicht mehr hörbar. Die eingesetzte Drossel muß dem Verwendungszweck angepaßt sein und enthält einen Eisenkern. Um die Siebwirkung zu

Es wurde bereits auf Spannungsregler in der Halbleitertechnik hingewiesen. Auch hier darf man nicht blindlings auf die alles ausfilternde Black-Box vertrauen, ein genaues Studium der Datenblätter ist unbedingt angebracht. Zwei Angaben sind für die Brummsiebung wichtig, die Brummunterdrückung in dB und die minimale Spannungsdifferenz (Drop-Out-Voltage). Positive, integrierte Spannungsregler haben bei richtiger Beschaltung eine typische Brummunterdrückung von ca. 60 bis 70 dB, mehr ist selten erreichbar. Bei negativen Spannungsreglern liegen die Werte technisch bedingt meist um 10 dB schlechter. Haben wir am Ladeelko 5 V_{BrSS}, so ist nach einem Spannungsregler mit 60 dB Brummunterdrückung mit 5 mV_{BrSS} zu rechnen, ein Wert mit dem sich

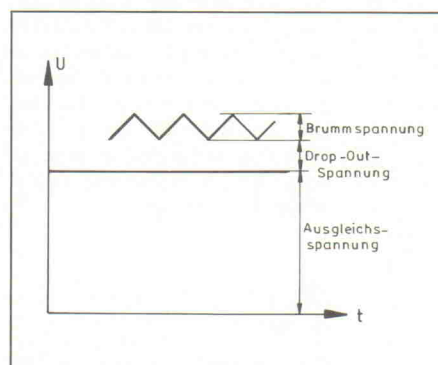


Bild 17. Wichtige Spannungsverhältnisse an einem Spannungsregler.

definieren, genügt nicht allein die Angabe der Induktivität, sondern es müssen der Grundstrom und der maximal auftretende Spitzenstrom angegeben werden. Die Drossel wird in der Regel so konstruiert, daß der Ruhestrom des Verstärkers den Kern magnetisch kaum beansprucht, was durch einen entsprechenden Luftspalt erreicht wird. Die Drossel wird weiterhin so ausgelegt, daß der maximale Spitzenstrom den Kern nicht in die Sättigung bringt (siehe auch Bild 12), dann ist auch bei vollem Ladestrom die Siebwirkung gewährleistet. Man muß hier unterscheiden zwischen dem Gleichstromanteil, der durch die Drossel fließt und den Eisenkern möglichst wenig magnetisieren soll, und dem Wechselstromanteil, der durch die Drossel optimal ausgefiltert werden soll.

leben läßt, da die Rauschspannung in ähnlicher Größenordnung liegt.

Wesentlich kritischer ist die nötige Spannungsdifferenz des Spannungsreglers. Ganz gleich, ob der Spannungsregler diskret aufgebaut ist oder als IC vorliegt, je nach Ladestrom benötigt er zwischen Eingang und Ausgang eine Spannungsdifferenz von ein bis drei Volt. Wehe, man kommt unter die Mindestspannungsdifferenz, die Brummspannung steigt schlagartig an und das noch sehr unsymmetrisch, was einen hohen Oberwellenanteil garantiert! Man muß auch darauf achten, daß zwischen Ausgangsspannung und dem Tiefpunkt der Ladekondensatorentladung genügend Spannungsdifferenz besteht (Bild 17). Es gibt nun zwei einfache Mittel, diesem

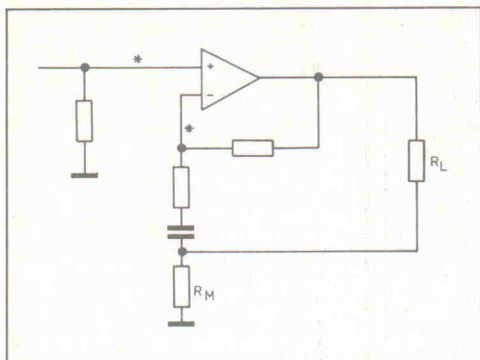


Bild 18.
* = Empfindliche Stellen eines Verstärkers für Einstreuungen.
 R_M = Massewiderstand (siehe Text).

Problem zu begegnen. Man kann die Eingangsspannung deutlich erhöhen, was leider auch eine entsprechende Erhöhung der Verlustleistung zur Folge hat. Man kann andererseits auch den Ladeelko vergrößern und damit die Brummspannung erniedrigen. Verdopplung der Elkokapazität halbiert die Brummspannung. In der Praxis wird man einen Kompromiß zwischen Elkokapazität und Eingangsspannungserhöhung suchen, da sowohl große Elkos als auch groß dimensionierte Kühlkörper teuer sind. Bei der gesamten Kalkulation muß auch berücksichtigt werden, daß die Netzspannung schwanken kann. Sind zu wenig Reserven eingeplant, kann es zu unliebsamen Störungen bei Netzunterspannung kommen.

Zum Schluß der Betrachtung der verstärkerinternen Brummquellen müssen noch Lautsprecherleitungen und Gegenkopplung behandelt werden. Ist der Massepunkt der Lautsprecherleitung unglücklich gewählt, ergeben sich wieder Masseübergangswiderstände, an denen sich Brummspannungen aufbauen können. Zu den Lautsprechern hat man meist lange, nicht abgeschirmte Zuleitungen, die oft in der Nähe von Netzspannung führenden Leitungen liegen und Störungen auffangen können. Meistens sind diese Leitungen wegen ihrer Niedertemperatur unkritisch, in hartnäckigen Fällen lohnt sich aber auch hier die Suche nach der Störquelle.

In Bild 18 ist ein Verstärker prinzipiell dargestellt. Die mit * gekennzeichneten Punkte sind

auf jeden Fall empfindlich für Störspannungen, da nach ihnen mit großen Verstärkerfaktoren zu rechnen ist, sie müssen deshalb schaltungstechnisch sorgfältig behandelt werden. Wenn der Massepunkt falsch gewählt wurde, wirkt sich der in Bild 18 eingezeichnete Widerstand R_M aus. Fängt die Rückleitung von R_L Störungen auf, verursachen diese einen Spannungsabfall an R_M , der über den Gegenkopplungszweig in den Verstärker eingespeist wird. Instabilitäten und Brummen können die Folgen sein. Auch hier gilt gleiches wie zu Bild 11 gesagt. Die Stromkreise müssen so angelegt sein, daß sie sich nicht gegenseitig beeinflussen.

Nachdem wir sowohl Verstärkereingang als auch die verstärkerinternen Brummquellen behandelt und die Vermeidung von Brummstörungen aufgezeigt haben, muß nun die Zusammenschaltung von Audiogeräten genauer untersucht werden. Hier hat man es in der Regel mit den sogenannten Brummschleifen zu tun, die schon eingangs erwähnt wurden. Wer seine Heimstereoanlage genauer betrachtet hat, wird festgestellt haben, daß die meisten Geräte ein Netzkabel mit dem sogenannten Euro-Stecker ohne Schutzleiter haben. Alle Bedienelemente und das Gehäuse sind voll isoliert und ein entsprechender Netztrafo sorgt für sichere Netztrennung. Auf diese Weise wird der VDE-Vorschrift Genüge getan und man vermeidet die lästigen Brummschleifen. Es kommt jedoch durchaus vor, daß ein Gerät ein Metallgehäuse hat und somit ein Netzkabel mit Schutzkontakt zwingend vorgeschrieben ist (Bei Geräten mit Metallge-

häuse muß dieses an den Schutzleiter angeschlossen sein. Denn wenn ein blankes, an 220 V angeschlossenes Kabel auf das Gehäuse fällt, muß sichere Ableitung der gefährlichen Spannung gewährleistet sein!). Auch wenn alle Geräte bis auf eines keinen Schutzleiteranschluß haben, kann es zu starkem Brummen kommen. Der Brumm wird schlagartig weg sein, wenn z.B. der Antennenstecker des Tuners gezogen wird oder wenn das Kabel zwischen Tuner und Verstärker entfernt wird. Was ist passiert? Die Dachantenne muß aus Feuer- und Blitzschutzgründen mit Erde verbunden sein (Fundament-Erder, Blitzableiter, metallisches Wasserrohr). Der Schutzleiter des Stromnetzes muß ebenfalls mit der Erde verbunden sein. Ist nun ein Gerät der Hifi-Anlage mit dem Schutzleiter verbunden und die Antenne aus o.g. Gründen auch, entsteht zwangsläufig eine Brummschleife.

Es wird also Zeit, das Phänomen der Brummschleife genau-

er zu untersuchen. Im Prinzip ist eine Brummschleife nichts anderes als eine Leiterschleife (eine einzige, sehr große 'Trafowindung'), wie in Bild 6 bereits dargestellt. Der einzige Unterschied ist der, daß die Leiterschleife nicht innerhalb eines Gerätes liegt, sondern über die Hausverkabelung verläuft. Hier wirken eine Reihe von Störfeldern und Massepunkten zusammen, so daß die effektive Brummspannung besonders hoch sein kann. Wir sitzen nun in einer Zwickmühle. Die VDE-Vorschrift verlangt aus sicherheitstechnischen Gründen zwingend den Schutzleiteranschluß sowohl für Dachantenne als auch für Geräte mit Metallgehäuse. Metallgehäuse sind auch wünschenswert wegen der guten Abschirmung. Audiogeräte müssen ebenfalls über die Verbindungsleitungen massenmäßig verkoppelt werden. Doppelte Massen verursachen aber in der Audiotechnik leider Störungen; andererseits kann oder darf sogar weder auf die eine noch auf die andere Masse verzichtet

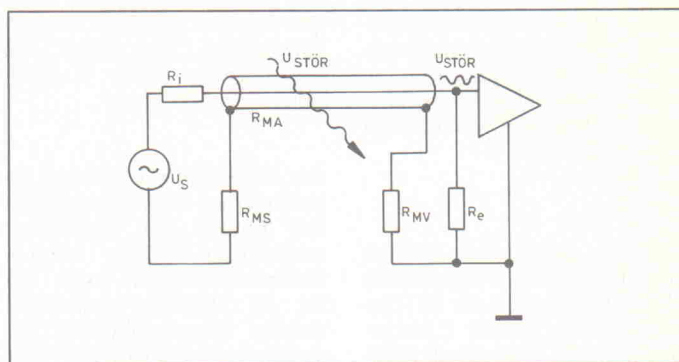


Bild 19a. Verhältnisse am Verstärkereingang beim Anschluß einer Signalquelle mit einadrig abgeschirmter Leitung.

R_i = Innenwiderstand der Signalquelle

R_{MS} = Widerstand Signalmasse-Abschirmung

R_{MA} = Widerstand der Abschirmung

R_{MV} = Widerstand Abschirmung-Verstärkermasse

R_e = Verstärker-Eingangswiderstand

werden. Würden die Masseverbindungen nur über die Schutzleiter geführt, wären die Brummstörungen noch größer. Hier gelten die Prinzipien nach Bild 3 und 4.

Daß es brummfrei gehen muß, ist bekannt, denn Rundfunk, Fernsehen und alle Schallplattenaufnahmen usw. werden brummfrei geliefert. Das Prinzip ist auch ganz einfach: In der Studientechnik wird eine zentrale Masse gewählt und die liegt da, wo Leitungen zusammengeführt sind, am Mischpult. Sie Signalleitungen werden zudem symmetrisch erdfrei geführt. Damit sind beliebige Verkopp-

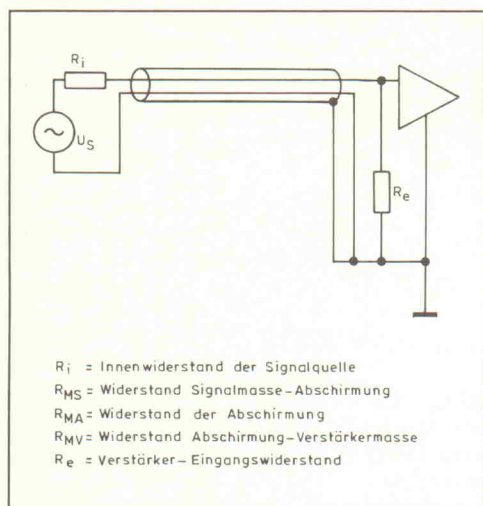


Bild 19b. Stör-unempfindlichere Leitungsführung bei unsymmetrischem Aufbau.

lungen von Audiogeräten möglich, auch wenn jedes einzelne Gerät mit dem Schutzleiter verbunden ist, ohne daß Brumm Schleifen entstehen.

Was hier mit wenigen Worten beschrieben wurde und was sehr einfach klingt, muß zum besseren Verständnis doch genauer erklärt werden. Dazu muß etwas weiter ausgeholt und als erstes die Wirkungsweise einer symmetrischen Leitung untersucht werden. Damit die unterschiedlichen Verhältnisse deutlicher werden, betrachten wir die physikalischen Gegebenheiten und Zusammenhänge an einer unsymmetrischen Leitung und arbeiten danach die Vorteile einer symmetrischen und dann erdfrei symmetrischen Leitungsführung heraus. In Bild 19a ist eine einfache, abgeschirmte Leitung als Verbindung von Signalquelle und Verstärker dargestellt. Wird nun eine Störspannung induziert, kann diese nur durch den niedrigen Innenwiderstand R_i der Signalquelle und den relativ niedrigen Eingangswiderstand R_e des Verstärkers bedämpft werden. Der verbleibende Rest erscheint als Eingangssignal am Verstärkereingang und wird zwangsläufig mitverstärkt. Normalerweise müßte die Abschirmung so dicht sein, daß der Innenleiter vom Störsignal nicht erreicht werden kann. Dies kann man leider nur mit vollkommen dichten Metallrohren, rohrähnlich aufgebauten Abschirmungen oder Mehrfachabschirmungen erreichen.

Der den Innenleiter erreichende Rest des Störsignals addiert sich zum Nutzsignal und wird mit verstärkt.

Wesentlich kritischer sind zudem die Massewiderstände R_{MS} , R_{MA} und R_{MV} . Bei der Besprechung von Bild 4 hatten wir bereits den Massewiderstand R_{SM} als Massezuleitungswiderstand von der Signalquelle zum Verstärkereingang und dessen Wirkung behandelt. In Bild 19a ist dieser aufgeteilt in drei Einzelwiderstände. R_{MS} dürfte am unkritischsten sein, da im allgemeinen die Zuleitungen von der Signalquelle (Tonabnehmer, Mikrofonkapsel, u.ä.) zur Abschirmung sehr kurz sind und somit kaum Störfeldern ausgesetzt sind. Wenn R_{MS} allerdings aufgrund einer schlechten Lötstelle oder einer korrodierten Steckverbindung relativ hochohmig wird, ist die Signalquelle selbst nur sehr schlecht oder garnicht mit Masse verbunden. Der Verstärkereingang liegt offen und fängt sich über die Signalquelle sehr starke Störungen ein. Dieser Fehler ist leicht zu lokalisieren, da außer starkem Brummen kaum noch Nutzsignalanteile den Verstärkereingang erreichen.

Kritischer hingegen ist schon R_{MA} . Benutzt man ein Kabel mit zu hohem Massewiderstand (dieser kann sich auch über längere Entfernungen aufbauen), werden die auf die Abschirmung auftreffenden Störsignale nicht mehr wirksam nach Masse kurzgeschlossen. Einadrig abgeschirmte Kabel sind

also nur für begrenzt lange Leitungswege brauchbar. Man kann sich allerdings in dieser Hinsicht etwas behelfen, wenn unsymmetrischer Betrieb nicht vermeidbar ist. Es muß dafür gesorgt werden, daß die Signalquelle bis hin zur niedrigsten Frequenz eine sehr kleine Ausgangsimpedanz hat, d.h. ihr Innenwiderstand sollte $R_i \leq 1 \Omega$ sein. Dies ist durch geeignete Leitungstreiber möglich, die wir aber erst im Zusammenhang mit der Besprechung von Leitungstreibern für symmetrische Leitungen genauer behandeln. An dieser Stelle wird dann auch der entsprechende Hinweis für den unsymmetrischen Betrieb gegeben.

Der kritischste Massewiderstand ist R_{MV} , dessen negative Wirkung im Gesamtzusammenhang bereits ganz am Anfang behandelt wurde. Hier greifen wir dessen Wirkung nochmals im Detail auf. R_{MV} kann entweder der Steckerübergangswiderstand sein, oder der Zuleitungswiderstand von der Eingangsbuchse zum Verstärkereingang oder beides. Diese Stelle ist besonders kritisch. Wird hier nicht annähernd 0Ω erreicht, wirkt sich dies besonders bei hochverstärkenden Eingängen verheerend aus. Die gesamte Abschirmung ist über diesen Widerstand hochgelegt und fungiert als Antenne für sämtliche Störsignale.

In hochwertigen Geräten findet man deshalb entweder durchweg oder wenigstens bei hochverstärkenden Eingängen (magnetischer Tonabnehmer, Moving-Coil-Eingang, Mikrofoneingang, u.a.) vergoldete Cinch-Stecker, DIN-Stecker höchster Qualität oder die sehr kontaktsicheren und sehr niederohmigen XLR-Steckverbinder. Bei der Auswahl der Steckverbinder und deren Kontaktmaterialien ist zu beachten, daß sie für sogenannte 'trockene Schaltkreise' geeignet sein müssen. Unter trockenen Schaltkreisen versteht man die Stromkreise, wo schaltungsbedingt nur sehr kleine Spannungen und Ströme auftreten können. Übliche Audiosignalquellen liefern Spannungen im Bereich von 0,1 mV bis zu einigen Volt, die zudem komplexe Frequenz-

gemische zwischen 20 Hz und 20 kHz enthalten. Nun ist es keine große Kunst, z.B. 220 V, 5 A und 50 Hz sicher über einen Kontakt zu bringen, da Spannungen und Ströme in dieser Größenordnung Fett-, Oxid- und Schmutzschichten leicht durchbrennen können. Ein Moving-Coil-Tonabnehmer z.B. liefert aber nur Spannungen von 0,1 mV bis 1 mV bei einer Quellimpedanz von 20Ω . Ströme im Mikroamperebereich, die kaum Chancen zum Durchschlagen von Kontaktverschmutzungen haben.

Von der Eingangsbuchse zum Massepunkt des Verstärkers ist deshalb oft ein Massekabel mit einem Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ oder mehr notwendig. Dies erscheint auf den ersten Blick und ohne genaueres Verständnis als unsinnig, da in diesem Teil der Schaltung eigentlich nur Ströme in der Größenordnung von Mikroampere fließen. Kabelquerschnitte in der Größenordnung von $0,14 \text{ mm}^2$ sind hier eigentlich schon weit überdimensioniert. Aber nach all den gemachten Betrachtungen wissen wir es ja jetzt besser.

In Bild 19b ist noch eine sehr störunempfindliche Schaltungsart für unsymmetrische Leitungen gezeigt. Der Schirm, der alle Störungen auffängt, wird hier nicht mehr als Signallückleitung sondern als reine Abschirmung benutzt. Die Masseleitung der Signalquelle kann deshalb auch etwas hochohmiger ausfallen, ohne daß deshalb gleich mit großen Brummeinstreuungen zu rechnen ist. Ist die Signalquelle jedoch ein Gerät, das mit dem Schutzleiter Verbindung hat. Tritt nach wie vor das Problem der Masseschleife auf.

Wie wir gesehen haben, bereiten bei unsymmetrischem Betrieb verschiedene Leitungs- und Übergangswiderstände sowie die gesamte angewandte Schaltungstechnik Probleme, die nur in gewissen Grenzen beherrschbar sind. Bei symmetrischer Signalführung sehen die Verhältnisse ganz anders aus. Hier liegt die

Hochleistungsverstärker

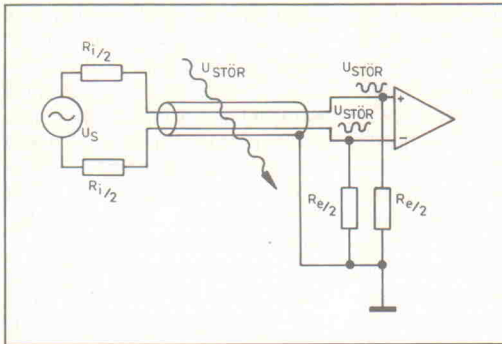


Bild 20. Symmetrischer Aufbau von Verstärkereingang und Signalquelle. An den Verstärkereingängen erscheinen Störspannungsreste im Gleichtakt und werden unterdrückt. Die Signalspannung U_S erscheint im Gegentakt und wird verstärkt.

Betonung auf symmetrisch! In Bild 20 ist eine Prinzipschaltung dafür dargestellt. Der Innenwiderstand R_i der Signalquelle ist hier als zweimal $R_i/2$ eingezeichnet worden. Damit soll die Symmetrie der Signalquelle angedeutet werden. R_i ist in der Regel kein tatsächlich eingebauter einzelner Widerstand, sondern konstruktionsbedingt vorhanden. Bei einem dynamischen Mikrofon z.B. ist R_i der Spulenwiderstand der Tauchspule, der sich auf die gesamte Wicklung verteilt. Elektrische Symmetrie ist bei derartigen Signalquellen meistens ausreichend gegeben bzw. schon bei der Konstruktion berücksichtigt.

Der Verstärkereingang wird als Differenzverstärker ausgelegt. Je besser seine Gleichtaktunterdrückung ist, was durch konstruktive Maßnahmen erreicht werden kann, desto besser funktioniert die Sache. Weiterhin muß R_e ebenfalls an beiden Eingängen möglichst gleich groß sein. In der professionellen Studioteknik werden je nach Anwendungsfall Abweichungen der Symmetrie von weniger als 0,1% zugelassen, und je nach Frequenzbereich können diese Abweichungen auch die 0,01%-Marke unterstreichen!

Wie in Bild 20 eingezeichnet, erscheinen die Störsignale in gleicher Phasenlage an beiden Verstärkereingängen. Nun ist es unerheblich, ob R_i hoch- oder niederohmig ist, welche Werte R_e hat und ob Zuleitungswiderstände vorhanden sind. Sofern alles symmetrisch bleibt, sind keine negativen Auswirkungen bemerkbar. Wenn nun noch eine einigermaßen gute Abschirmung vorhanden ist, können symmetrische Leitungen über lange Strecken ohne Beeinträchtigung der Signalqualität geführt werden. Die Steckverbindungen müssen natürlich ebenfalls hohen Anforderungen genügen, denn wenn eine Signalader hochohmig, die andere niederohmig an den Verstärkereingang gelangt, ist Unsymmetrie vorhanden, und man kommt der bereits besprochenen unsymmetrischen Leitungsführung nahe. Sind geringe Übergangs- und Leitungswiderstände bei der Abschirmung vorhanden, wirken sich diese bei weitem nicht so verheerend aus, wie bei unsymme-

trischer Leitungsführung. Der Schirm ist nicht mit Signalstrom belastet und somit findet keine Überlagerung von Signal- und Störströmen an endlichen Leitungs- und Übergangswiderständen statt.

In Bild 20 wurde zwar die symmetrische, aber nicht die erdfrei symmetrische Schaltungstechnik zur Kopplung von Signalquelle und Verstärker dargestellt. Die Vorteile der symmetrischen Technik sind ja nun hinreichend bekannt, die Nachteile der nicht erdfreien Kopplung müssen allerdings noch herausgestellt werden, sie wurden ja mehrfach im Zusammenhang mit der unsymmetrischen Leitungsführung angedeutet. In Bild 21 sind die Verhältnisse aus Bild 20 nochmals in anderer Weise dargestellt. Wenn Mikrofone und Tonabnehmer die Signal-

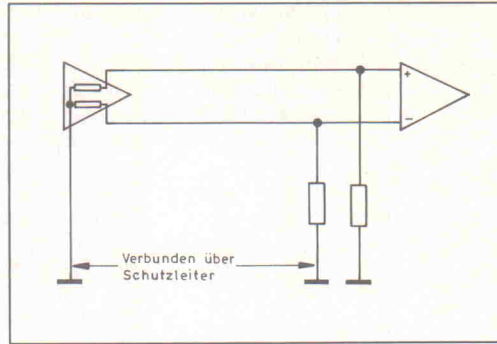
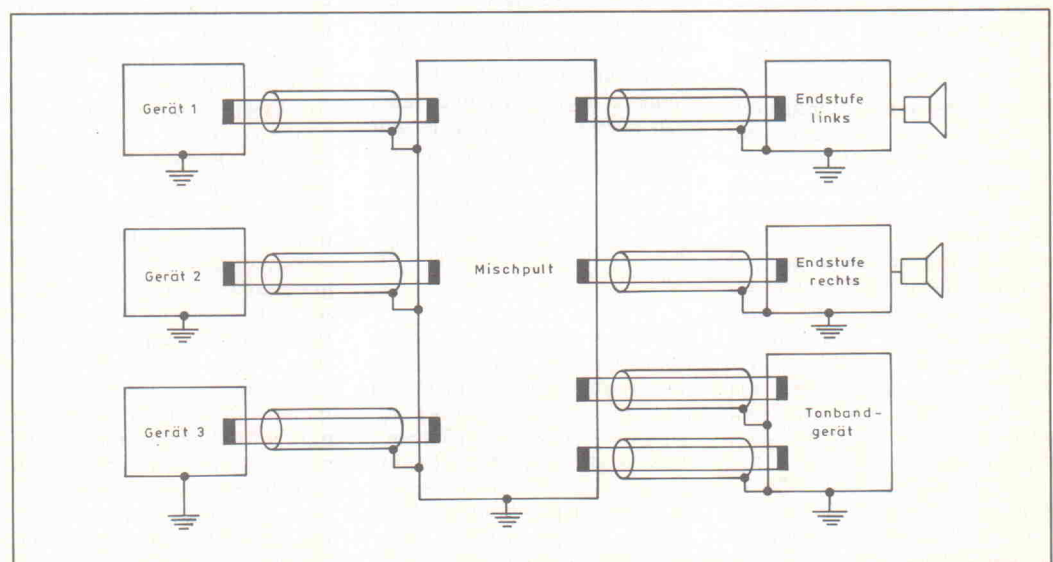


Bild 21. Symmetrische, nicht erdfreie Leitungsführung.

quelle sind, funktioniert die nicht erdfreie symmetrische Schaltungstechnik meist problemlos, da diese Signalquellen keinen Schutzleiteranschluß benötigen. Werden aber verschiedene Geräte mit Schutzleiteranschluß gekoppelt, die aus dem Wechselstromnetz gespeist werden, sieht es ganz anders aus. Ein elektrisch symmetrischer Ausgang hat zwangsläufig über Verstärker-Innenwiderstände galvanische Verbindung mit Masse und somit mit dem Schutzleiter. Gleiches gilt für elektrisch symmetrierte Eingänge. Über nicht unbedingt genau definierbare Innenwiderstände, wie in Bild 21 eingezeichnet, können sich Störspannungen aufbauen und in die Anlage einschleichen. Sind sendendes und empfangendes Gerät räumlich weit auseinander, herrschen nicht mehr eindeutig definierbare Masseverhältnisse über die Schutzleiter. Hier gibt es Abhilfe durch die erdfrei symmetrische Leitungs-

Bild 23. Prinzipieller Aufbau einer erdfrei symmetrisch gekoppelten Anlage mit mehreren schutzgeerdeten Geräten.



führung und das Beachten der bisher gemachten Betrachtungen.

Erdfrei symmetrisch können Geräte nur gekoppelt werden, wenn Übertrager zur Anwendung kommen. Dann sind sämtliche Geräte einwandfrei galvanisch getrennt und Masse-schleifen, die Brummstörungen hervorrufen, sind bei richtiger Beschaltung unmöglich. In Bild 22 ist eine typische Schaltung gezeigt. Der Sender speist das Signal unsymmetrisch in die Primärwicklung eines Übertragers ein. Die Sekundärseite des Übertragers hat keinerlei Verbindung zu irgendeiner Masse und stellt das Signal erdfrei symmetrisch zu Verfügung. Der Schirm der symmetrischen Leitung darf nur auf einer Seite angeschlossen sein! Und dies geschieht am besten auf der Empfängerseite. Man denke in diesem Zusammenhang wieder an die verteilten Massewiderstände. Baut sich auf dem Schirm ein Störpotential auf, kann es einerseits bequem über die jetzt unkritische Masse abgeleitet werden. Andererseits hat es keine wesentliche Wirkung wegen der angestrebten und schaltungstechnisch herbeigeführten, hohen Gleich-taktunterdrückung. Die symmetrische Leitungsführung gewährleistet eine sehr stör-nempfindliche Signalübertragung, wenn die beschriebenen Grundregeln beachtet werden.

Nun ist es angebracht, noch eine Prinzipschaltung für die Verdrahtung einer Verstärkeranlage zu zeigen und zu besprechen, um den ganzen Komplex in die Praxis umzusetzen. Dazu nehmen wir eine Modellanlage, wie sie in professionellen Studios, bei PA-Anlagen aber auch in Heimstudios typisch ist. In Bild 23 ist eine derartige Konfiguration dargestellt. Alle Einzelgeräte haben erdfrei symmetrische Ein- und Ausgänge. Die Signalübertragung findet nur über die Adernpaare statt, die Abschirmung hat reine Schirmwirkung im Gegensatz zur unsymmetrischen Leitungsführung, wo der Schirm meist die Funktion des Rückleiters übernimmt. Deshalb wird der

Schirm nur an einer Seite auf Masse gelegt, üblicherweise am empfangenden Gerät. Dann kann es ruhig Störsignale auffangen, die dann über den niederohmigen Masseanschluß im Empfänger abgeleitet werden. Entscheidend bei dieser Schaltungstechnik ist, daß jedes Einzelgerät ordnungsgemäß an den Schutzleiter angeschlossen werden kann. Die Geräte können auch in verschiedenen Räumen verteilt sein und ihre Energieversorgung von verschiedenen Phasen des Stromnetzes beziehen. Ebenfalls können die Schutzleiter an verschiedenen Punkten mit Erde verbunden sein. Und zu guter Letzt dürfen die einzelnen Gerätemassen je-

destudio sowie in allen Leitungswegen der Post Übertrager eingesetzt werden. Wenn Übertrager konstruiert und richtig eingesetzt werden, sind diese stillen Helfer 'unhörbar'.

Zum Schluß ist es angebracht, exemplarisch einige Musterschaltungen zu bringen, damit die Theorie auch für den in die Praxis umsetzbar ist, der sich noch nie an erdfrei symmetrische Technik mit Übertragern herangetraut hat. Hier sollen nur hochpegelige Aus- und Eingänge kurz behandelt werden, da z.B. der Mikrofonanschluß bei elektronisch symmetrierten Eingängen

spannung immer vorhanden sein, bei symmetrischer unterdrückt er einerseits Offsetspannungen des OPs, andererseits blockt er Gleichspannungen ab, die eventuell durch das nachfolgende Gerät eingeschleift werden können. Der am Ausgang vorhandene Entladewiderstand R_A sorgt dafür, daß statische Ladungen von C_K abgeleitet werden. Standard-OPs haben sehr niedrige Ausgangswiderstände, können aber nur Lasten bis auf etwa 2Ω herunter treiben. Darunter sinkt die maximale Signalthöhe drastisch ab. Ebenfalls kann der Klirrfaktor ansteigen und die Anstiegsgeschwindigkeit des Ausgangssignals abfallen.

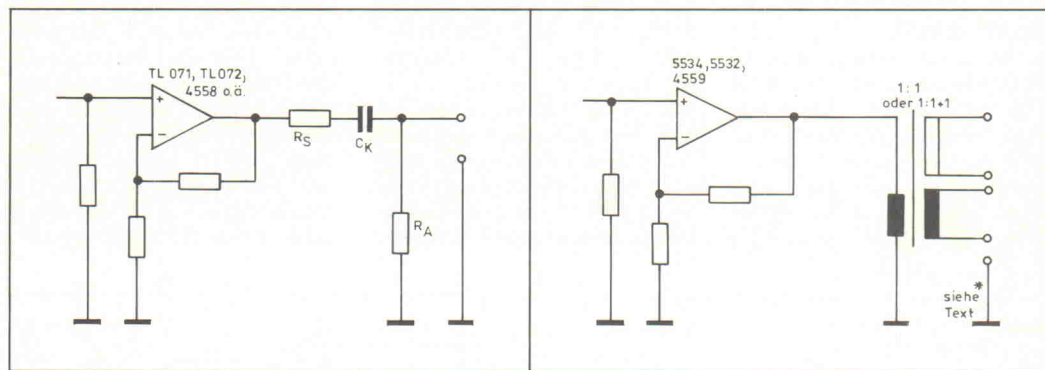


Bild 24a. Typische Ausgangsschaltung unsymmetrischer Geräte.

keine Erdschleifen verursacht. Meistens treten die Probleme auf, wenn vom Mischpult zu räumlich weit entfernten Endstufen Signalübertragung stattfinden soll oder wenn die Line-Ausgänge von elektronischen Musikinstrumenten mit einem Mischpult, Verstärker oder Aufnahmegerät verbunden werden sollen. Viele dieser Geräte lassen sich sehr leicht mit Ausgangsübertragern nachrüsten. Oft genügt auch schon ein erdfreier Ausgang um die Brummschleife zu unterbrechen.

In Bild 24a ist eine für viele Geräte typische Ausgangsstufe dargestellt, wobei die Betriebsspannung symmetrisch ist. Üblicherweise sind Standard-OPs eingesetzt, die zwar kurzschlußfest sind, aber zur Sicherheit den Schutzwiderstand R_S in der Signalleitung haben. Dieser dämpft auch eventuell auftretende Schwingneigung auf längeren Leitungen. Der Koppelkondensator C_K muß bei unsymmetrischer Betriebs-

Bild 24b. Nachrüstmöglichkeit von unsymmetrischen Ausgängen auf erdfrei symmetrisch durch Line-Übertrager und Treiber-OP (siehe auch Text).

Wenn in den Geräten OPs mit der Standard-Pinbelegung eingesetzt sind, können diese durch solche ersetzt werden, die in der Lage sind, noch niederohmiger Lasten zu treiben. Als Einzel-OP ist der NE 5534 sehr gut geeignet, als Doppel-OPs sind die Typen NE 5532 und 4559 brauchbar. Sie haben alle eines gemeinsam: Sie können Lasten bis herunter zu 600Ω treiben und sind außerdem noch sehr rauscharm. Beim Einsatz dieser OP-Typen kann dann auch ein sehr niederohmig ausgelegter 1:1-Line-Übertrager direkt angesteuert werden, der wiederum das Signal niederohmig und erdfrei symmetrisch auf die Leitung gibt, dadurch ist die für diese

Hochleistungsverstärker

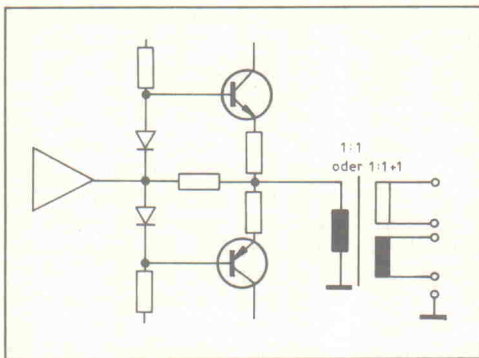


Bild 25. Line-Treiber für niederohmige Lasten.

Zwecke sehr gut geeignete Spannungsanpassung gewährleistet. Die Signalmasse wird üblicherweise an der Ausgangsbuchse mit herausgeführt. Dann hat man die Wahl, je nach Einsatzbedingung den Schirm auf die Masse des sendenden Gerätes zu legen oder auf die der Empfängerseite. In Bild 25 ist eine weitere Variante eines Line-Treibers für Übertrager gezeigt, die das Signal nicht nur sehr niederohmig abgibt, sondern bei Bedarf auch etwas Leistung zur Verfügung stellt. Dies kann notwendig

gelegt sind, können auf die eben beschriebene Art symmetriert werden. Falls der Austausch der OPs nicht möglich ist, muß ein Buffer dazwischen geschaltet werden, wie in Bild 24b und 25 gezeigt, was meist auch keine Probleme bereiten dürfte. Statt der 1:1-Übertrager können auch 1:1+1-Übertrager eingesetzt werden, wie in Bild 25 angedeutet. Diese haben zwei galvanisch getrennte Ausgangswicklungen, die dann auch zwei erdfrei symmetrische Signale zur Verfügung stellen. Damit können zwei Empfänger

trisch gibt es keine Masse in dem Sinn, wie bei unsymmetrischer Verschaltung! Die Signalübertragung findet auf einem symmetrischen Adernpaar statt. Bei Telefonleitungen gibt es auch keine Masse, sondern eine a-Ader und eine b-Ader, auf denen sich alles abspielt. Bei symmetrischer Leitungsführung gibt es lediglich einen Schirm, hier wird zur Unterscheidung immer ausdrücklich von Schirm und nicht von der Masse gesprochen, der an einer geeigneten Stelle mit Masse verbunden sein muß!

Line-Eingänge lassen sich mit Übertragern ebenso erdfrei symmetrisch gestalten wie Ausgänge. Im Prinzip wird nur ein Übertrager vor den Eingangsverstärker gesetzt, wie in Bild 27. Auch hier sind niedrige Übersetzungsverhältnisse von 1:1 und 1:2 üblich, zum Teil wird sogar untersetzt. Vorhandene Verstärker haben einen durch die Schaltungsaus-

legung vorgegebenen Eingangswiderstand. Wenn wie in Bild 24 bis 26 gezeigt, sehr niederohmig auf den Leitungen gefahren wird, ist es durchaus angebracht, den Eingangswiderstand durch einen zusätzlichen Anschlußwiderstand R zu senken. Angenommen der Verstärker hat einen Eingangswiderstand von gut 50 Ω und für R wird ein Wert von 4,7 k Ω eingesetzt, dann hat der Übertrager im interessierenden Arbeitsbereich eine überwiegend konstante ohmsche Last als Abschlußwiderstand. Dies wirkt sich auf das gesamte Übertragungsverhalten von Übertragern, Leitungen und angeschlossenen Verstärkern günstig aus.

Daß auch bei unsymmetrischem Betrieb brummfreie Übertragung möglich ist, wurde bereits erwähnt und darauf hingewiesen, daß wir darauf noch zu sprechen kommen. Wie wir wissen, begünstigen sehr niederohmige Verbindungen die Störunterdrückung. Wenn die unsymmetrisch betriebenen Geräte sehr niederohmige Ausgänge und relativ niederohmige Eingänge besitzen, kann brummfreier Betrieb auch mit meterlangen Leitungen erreicht werden. Nur ein Gerät darf allerdings Verbindung mit dem Schutzleiter haben, alle anderen müssen über die sonstigen Kabelverbindungen niederohmig mit diesem Gerät verbunden sein. Es bietet sich an, das zentrale Gerät mit dem Schutzleiter zu verbinden, den Verstärker, weil hier die meisten Verbindungen zusammenlaufen. Falls über die Erdung der Antenne über den Tuner eine Brummschleife entsteht, muß in der Antennenleitung ein Hochfrequenz-Trennübertrager installiert werden.

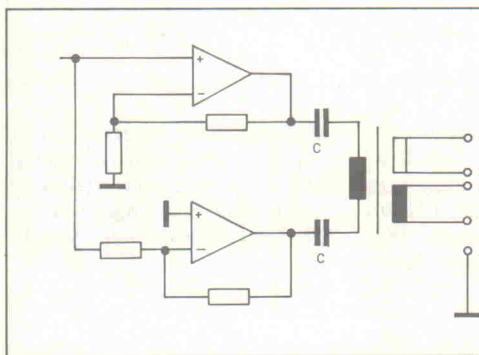


Bild 26a. Line-Treiber mit Koppel-Cs bei unsymmetrischer Betriebsspannung und OPs in Brückenschaltung.

sein, wenn nicht nur sehr niederohmige Verbraucher angeschlossen werden. Es kann ja beispielsweise durchaus der Fall sein, daß das folgende Gerät einen Eingangswiderstand von 600 Ω hat und gleichzeitig mit einem 600- Ω -Kopfhörer das Signal überwacht werden soll. Bei nur 300 Ω Last wäre ein Einzel-OP überfordert. Geräte, die an ihren Ausgängen nicht erdfrei symmetrisch aus-

gleichzeitig mit Signalen versorgt werden, z.B. das Mischpult und die Mehrspurbandmaschine. Bei einer Reihe von Geräten findet man elektrisch symmetrierte Ausgänge wie in Bild 26a dargestellt. Hier gilt im Prinzip dasselbe wie in Bild 24a. Man kann die Schaltung so abändern, daß eine Konfiguration wie in Bild 26b entsteht um den Ausgang erdfrei symmetrisch zu machen.

Wer noch nie erdfreisymmetrische Geräte zusammengeschaltet hatte, für den stellt sich immer wieder die Frage, wohin mit der Masse? Bei erdfreisymme-

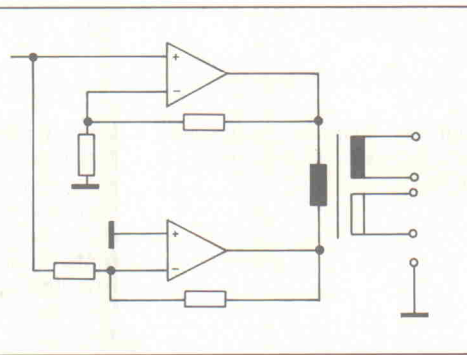


Bild 26b. Schaltung wie in Bild 26a, jedoch für symmetrische Betriebsspannung.

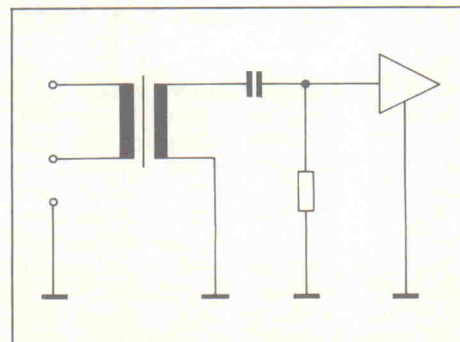
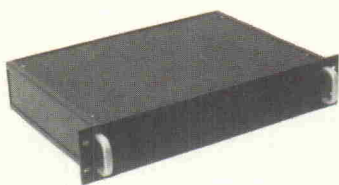


Bild 27. Erdfrei symmetrischer Verstärkereingang.

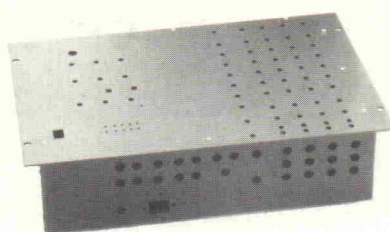


19"-VOLLEINSCHUB
Stabiler Volleinschub aus 1,5 mm Stahlblech. Deck- und Bodenblech abnehmbar. Frontplatte aus 4 mm Alu. Gehäuse schwarz kunststoffbeschichtet. Griffe gegen Aufpreis lieferbar. Tiefe 245 mm

1 HE	DM 45,—
2 HE	DM 55,—
3 HE	DM 66,50
4 HE	DM 74,50

über 100 weitere 19"-Einschübe im Lieferprogramm.

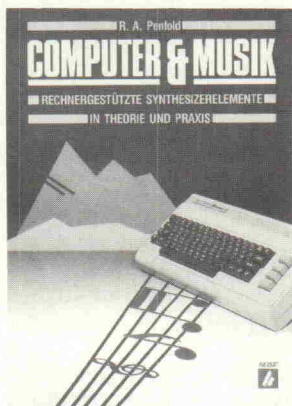
Katalog über das gesamte Lieferprogramm gegen **DM 3,—** im Briefmarken.



AUDIO-/ ELA-/ ELEKTRONIKGEHÄUSE
Gehäuse und Frontplattenbearbeitung nach kundenspezifischen Angaben, auch bei kleineren Serien. Wir bearbeiten auf modernen CNC-gesteuerten Maschinen. Ausstattungen, Siebdruck, Unterlaserdruck, Eloxieren, Gewindebolzenschweißen, eigene Kunststoffbeschichtung, usw..

elcal-systems, Inh. Ros. Amann, Tiefental 3, 7453 Burladingen 1, Telefon (0 74 75) 17 07, Telex 767223

Computer für Mucker



COMPUTER & ELEKTRONIK

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

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.



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

Im Buch- Fachhandel oder beim Verlag erhältlich. 537/2.4



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

Information + Wissen

Information für
Computer
Technik

MPTEX

elrad

WIF-VISION

VIDEO

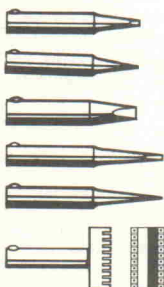
TRUCK LIFE

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



ERSA MS 6000

Leistungsfähige Elektronik-
Lötstation



Breites Einsatzsspektrum durch leicht auswechselbare ERSADUR-Dauerlötspitzen und Auslöteinsätze

Leistungsstarkes keramisches PTC-Heizelement (60W/350°C)

Stufenlose Temperaturwahl von 150 ... 450°C

Potentialausgleichsbuchse



Nennen Sie mir den nächsten Fachhändler ☐
Senden Sie mir ausführliche Unterlagen ☐
Senden Sie mir die kostenlose ERSALötspindel ☐

ERSA

Löttechnik

ERSA Ernst Sachs KG,
GmbH & Co.
Postfach 126151
D-6980 Wertheim
Tel. (0 93 42) 8 00-0

Impressum:

elrad Remix 2
Tonstudio im Selbstbau

Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

Helstorfer Straße 7
Postfach 610407
3000 Hannover 61
Telefon: 0511/53 52-0
Telefax: 923 173 heise d
Kernarbeitszeit 8.30—15.00 Uhr

Technische Anfragen nur mittwochs 9.00—15.00 Uhr
unter der Tel.-Nr. (05 11) 53 52-171

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,
Michael Oberesch, Thomas Latzke, Hartmut Rogge

Ständiger Mitarbeiter: Eckart Steffens

Redaktionssekretariat: Dominik Schilling

Technische Assistenz: Angelika Braun, Martina Rabe,
Marga Kellner, H. J. Berndt

Grafische Gestaltung: Ben Dietrich Berlin,
Wolfgang Ulber (verantw.), Dirk Wollschläger

Fotografie: Lutz Reinecke

Verlag und Anzeigenverwaltung:
Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG
Helstorfer Straße 7
Postfach 610407
3000 Hannover 61
Telefon: 0511/53 52-0
Telefax: 923 173 heise d
Telefax: 0511/53 52-129

Geschäftsführer: Christian Heise, Klaus Hausen

Objektleitung: Wolfgang Penseler

Anzeigenleitung: Irmgard Diogens

Disposition: Gerlinde Donner-Zech, Pia Ludwig,
Christine Paulsen, Sylke Teichmann

Vertrieb: Anita Kreutzer

Bestellwesen: Christiane Gonnermann

Herstellung: Heiner Niens

Druck:
Druckhaus Dierichs, Frankfurter Str. 168,
3500 Kassel, Ruf (05 61) 203-0.

Satz:
Hahn-Druckerei, Im Moore 17, 3000 Hannover 1
Ruf (05 11) 7083 70

Vertrieb (auch für Österreich und die Schweiz):

Verlagsunion Zeitschriften-Vertrieb
Postfach 5707
D-6200 Wiesbaden
Ruf (061 21) 266-0

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, Einrichtung 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 elrad erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes. Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Printed in Germany

© Copyright 1988 by Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG

ISSN 0931-4180

Titelfoto: Lutz Reinecke

Die Inserenten

Audax-Proraum, Bad Oeynhausen	7	MiK Elektroakustik, Walldorf	71
AUDIO ELECTRIC, Markdorf	5	MM-Musik Media, Augsburg	Umschlagseite 4
		MONARCH, Bremen	103
blue valley, Kassel	5	Müller, Stewede	57
		Musik Produktiv, Ibbenbüren	5
Diesselhorst, Minden	57	Open Air, Hamburg	89
Doepfer, Gräfelfing	7	SAE, München	25
Eggemann, Neuenkirchen	57	Seidel, Minden	5
Elcal-Systems, Burladingen	103	Sound Clinic, Ingelheim	89
ERSA, Westheim	103	Sound & Drumland	Umschlagseite 3
EXPERIENCE electronics, Herbrechtingen	57	SOUND-EQUIPMENT, Bochum	71
		SOUNDRENT, Obertshausen	71
Hall, Adam, Usingen	5, 25	SCHMITRONIC, Pulheim	71
KELLERER & PARTNER, Frankfurt	Umschlagseite 2	RTW, Köln	71
KEMTEC, Gütersloh	7	Worch, Stuttgart	5

Die komplette HIFI VISIONEN-Edition – Sternstunden für die HiFi-Anlage

Bitte liefern Sie mir folgende HIFI VISIONEN:

<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 1	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 2	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 3	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 4	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 5	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 6	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 7	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Oldie-CD 8	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 1A	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 2	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 3	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 4	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 5	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 6	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 7	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 8	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 9	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 10	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-CD 11	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Klassik-Pop-CD 1	à DM 38,50 =

<input type="checkbox"/> Stück	Klassik-CD 1	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Klassik-CD 2	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Klassik-CD 3	à DM 38,50 =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-LP 1	à DM 30,- =
<input type="checkbox"/> Stück	Pop-LP 2	à DM 30,- =
<input type="checkbox"/> Stück	CAR-MC-1	à DM 20,- =
<input type="checkbox"/> Stück	Bernard Lavilliers: Voleur de Feu	à DM 33,- =

zuzüglich DM 3,- für Porto und Verpackung

Die Auslieferung von HIFI VISIONEN erfolgt nur gegen Zahlungsnachweis. Bitte fügen Sie Ihrer Bestellung einen Verrechnungsscheck (Euroscheck) oder den Einlieferungsschein einer Bareinzahlung auf das Postgiro Hannover, Konto-Nr. 9305-308 oder Kreissparkasse Hannover, Konto-Nr. 000-019968, bei.

Vor- und Nachname _____
Straße _____
PLZ, Ort _____
Datum _____ Unterschrift _____

Coupon an: Verlag Heinz Heise GmbH & Co. KG, Vertriebsabteilung,
Helstorfer Straße 7, 3000 Hannover 61

Programm - **FILME**
Gestaltung:

Personal - **STARS**
Abteilung:

Probier - **GERÄTE**
Stube:

Gerüchte - **KLATSCH**
Küche:

Nachrichten - **AKTUELLES**
Dienst:



Pflicht -
Lektüre:

video vision

VIDEO

VISION



Verlag Heinz Heise
GmbH & Co. KG
Helstorfer Straße 7
3000 Hannover 61
Tel. (05 11) 53 52 - 0

Sound & Drumland
STUDIO DIVISION

OTARI
Professionelle Aufzeichnungsgeräte.
Digital und Analog.

DDA
Studiomischpulte der Extraklasse.
Splitting und Inline.


Mikrophone von Weltruf.
Sofort aus Berlin lieferbar.

Eventide
Studiomultieffekte
für erlesene Ansprüche.
Das neue H 3000 in Digitalqualität.


Studio-Synchronizer auf die man
sich verlassen kann.

lexicon
Digitale Effektsysteme.

SEQUENTIAL
CIRCUITS INC
Prophet 3000 Sampler.
Innovative Technik zum erschwing-
lichen Preis.

E-mu
Systems
EMU III Digital-Workstation.
... mehr als nur ein Keyboard.

Wir bieten Ihnen mehr als nur
den besten Preis!
Innovative Technik, fachkundige
Beratung, zuverlässige Instal-
lation, schneller Service und
kulante Abwicklung sind unsere
Stärken!
Testen Sie uns.

Geöffnet Mo - Fr 10.00 - 18.30 - Sa 10.00 - 14.00
Pariser Straße 9/Ecke Fasanenstraße · 1000 Berlin 15
U-Bahn Spichernstraße · 030/884 30 30

... der Sound aus Berlin!

KEYBOARDS

HOMERECORDING & COMPUTER

ZEITSCHRIFT FÜR TASTENINSTRUMENTE UND HEIMSTUDIO

ALLES ÜBER MIXER, MIKROFONE UND MASTERN JEDEN MONAT NEU!

Bitte senden Sie mir ein kostenloses
Probeexemplar der Zeitschrift

KEYBOARDS

Meine Anschrift: _____

Coupon einsenden an: Musik-Media-Verlag, Abt.
Versand, Sachsenring 73, D-5000 Köln-1. Bitte
DM 3,- in Briefmarken pro Heft beilegen. Danke.

REMIX 2