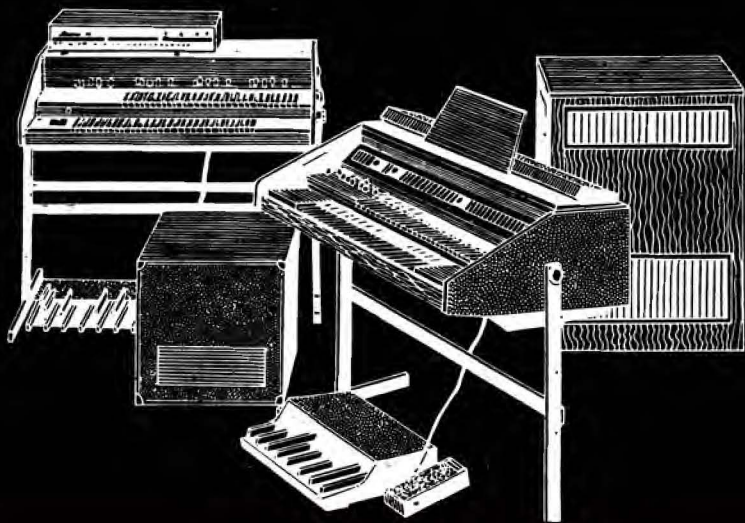


# **amateurreihe**

# **electronica**



**Georg Engel**

**Elektromechanische und voll-  
elektronische Musikinstrumente  
Teil 4**



electronica · Band 135  
Elektromechanische und  
vollelektronische Musikinstrumente.  
Teil 4





GEORG ENGEL

# **Elektromechanische und vollelektronische Musikinstrumente**

**Teil 4: Bauanleitungen**



**MILITÄRVERLAG  
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN  
REPUBLIK**

1. Auflage, 1975, 1. – 15. Tausend

© Militärverlag

der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1975

Cheflektorat Militärliteratur

Lizenz-Nr. 5

LSV 3539

Lektor: Dipl.-Phys. Hans-Joachim Mönig

Zeichnungen: Gudrun Maraun

Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Ingeburg Zoschke

Korrektor: Hannelore Martens

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam

Redaktionsschluß: 15. November 1974

Bestellnummer: 745 705 9

EVP 1,90 Mark

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	8
12. Gehäusegestaltung .....	10
13. Hinweis zum Selbstbau eines elektronischen Musikinstruments .....	17
13.1. Voraussetzungen für den Eigenentwurf und Selbstbau eines Instruments .....	18
13.2. Technologische Planung .....	19
13.3. Werkzeuge, Maschinen, Vorrichtungen, Prüf- und Meßgeräte .....	23
13.4. Fremde Arbeitsleistungen .....	26
13.5. Materialbeschaffung .....	27
13.6. Kosten für ein Selbstbauinstrument .....	28
14. Selbstbaupraxis .....	30
14.1. Planung der Größe und Ausführungsform eines zu bauenden Instruments .....	30
14.2. Auswertung von Erfahrungen aus der Praxis .....	32
14.2.1. Erkenntnisse aus der Bauausführung der elektronischen Orgel K1 (Bild 3.3) .....	32
14.2.2. Bewährung des Polyphons K2/3 (Bild 3.2) ..	35
14.2.3. Erfahrungen mit der elektronischen Heimorgel K4 (Bild 3.4) .....	35
15. Beispiele des Entwurfs verschiedener Instrumente .....	37
15.1. Entwurf eines kleinen Polyphons .....	37
15.2. Bauplanung für ein 2manualiges Polyphon .....	38
15.3. Vorschlag für den Aufbau einer elektronischen Orgel mit 2 Manualen und Pedal ....	39
15.4. Instrumente mit 3 und mehr Manualen ....	41

16.	Bauvorschlag für ein klangschönes Polyphon .....	44
16.1.	Leistungsvermögen der Grundtypen und ihrer Varianten .....	44
16.2.	Technische Daten und Dispositionen .....	45
16.3.	Übersichtsschaltpläne .....	50
16.4.	Schema des mechanischen Gesamtaufbaus der Instrumententypen A und B .....	50
17.	Bauanleitungen .....	60
17.1.	Generatorsatz .....	61
17.1.1.	Frequenzabgleich der Generatoren .....	69
17.2.	Tastenkontaktsätze und Klaviaturen .....	72
17.3.	Klangformungsteil (Register) .....	88
17.4.	Effekteinrichtungen .....	94
17.5.	Regelung und Anpassung der Lautstärke ....	98
17.6.	Verstärker und Lautsprecher .....	99
17.7.	Stromversorgungsteil .....	101
17.8.	Inbetriebnahme eines Instruments .....	103
18.	Möglichkeiten nachträglicher Erweiterungen	104
19.	Erfahrungen aus der Reparaturpraxis .....	106
20.	Entwicklungstendenzen im elektronischen Musikinstrumentenbau .....	114
21.	Ergänzungen .....	119
21.1.	Gedruckte Leiterplatten .....	120
21.2.	Elektronische Musikinstrumente zur effektvollen Wiedergabe von Solostimmen .....	121
21.3.	Musiksynthesizer (informatrische Erläuterungen) .....	129
21.4.	Funktionsprinzip elektronischer Schlagzeuge	130
	Schlußbetrachtungen zu Teil 1 bis Teil 4 .....	132
	Literaturverzeichnis .....	133
	Bildnachweis .....	136

**Teil 1 bis Teil 3 enthalten folgende Hauptabschnitte:**

**Teil 1: Technisch-musikalische Einführung**

- 1. Allgemeine und technisch-musikalische Einführung**
- 2. Töne und Klangfarben mechanischer Musikinstrumente und die Elektroakustik**
- 3. Elektroakustische Instrumente**
- 4. Vorzüge und Nachteile elektroakustischer Musikinstrumente**
- 5. Normen im Musikinstrumentenbau**
- 6. Technische Grundkenntnisse zum Verständnis des Aufbaus und der Wirkungsweise elektroakustischer Musikinstrumente**
- 7. Schlußbetrachtungen**

**Teil 2: Der mechanische und der elektrische Gesamtaufbau kleiner und großer Instrumente**

- 8. Praktische Versuche**
- 9. Beispiele des Gesamtaufbaus elektromechanischer und vollelektronischer Musikinstrumente**

**Teil 3: Der spezifische Aufbau von Baugruppen und Instrumenten**

- 10. Schaltungs- und Aufbauvarianten von Baugruppen und Instrumenten**
- 11. Verdrahtung der Baugruppen**

## Vorwort

In dieser Broschüre werden Fragen des Selbstbaus elektronischer Tasteninstrumente beantwortet. Die Ausführungen vermitteln praktische Erfahrungen, die für die eigene Arbeit ausgewertet werden können.

Der Autor war bemüht, den Selbstbau von Instrumenten durch einfache technologische Hilfsmittel und Verfahren zu erleichtern. Dem Amateur wird nicht zugemutet, sich zunächst für einige Tausend Mark Werkzeuge, Maschinen und Meßgeräte zu kaufen, um eventuell Konstruktionen bauen zu können, die für den Selbstbau zu kompliziert sind.

Die Bauanleitung für ein polyphon spielbares Tasteninstrument berücksichtigt weitestgehend individuelle Wünsche beim Bau des Instruments. Es werden 6 Aufbauvarianten vorgestellt, die gleiche konstruktive Grundelemente aufweisen.

Die Baubeschreibungen geben über die wichtigsten Einzelheiten des Selbstbaus aller mechanischen und elektronischen Baugruppen sowie über die Gesamtmontage der Instrumente Aufschluß. Der Amateur kann eigene Vorstellungen über den konstruktiven Aufbau seines Polyphons in die Bauunterlagen einarbeiten. Der dafür notwendige Spielraum ist bei jeder Variante gegeben.

Die Weiterentwicklung elektroakustischer Musikinstrumente schreitet schnell voran. In jedem Jahr kommen neue Modelle in den Handel. Daher sollte man sich beim Selbstbau eines Instruments über Neuheiten informieren und sie gegebenenfalls nutzen.

Auch das Angebot an Bauelementen erweitert sich, so daß der Einsatz integrierter Schaltkreise beim Bau der einzelnen Funktionsgruppen erwogen werden kann.

In Teil 4 wird auf den Inhalt, vor allem aber auf das um-

fangreiche Bildmaterial von Teil 1 bis Teil 3 zurückgegriffen.

Die letzten Abschnitte wenden sich Soloinstrumenten als Vorstufe vollelektronischer Polyphone zu. Solche Instrumente können Amateure aufbauen, die nicht sofort mit dem Selbstbau eines größeren polyphonen Musikinstruments beginnen möchten. Der Materialaufwand ist verhältnismäßig gering. Die Schaltungen lassen sich später ohne Schwierigkeiten auch in ein Polyphon einbauen. Damit erweitern sich die musikalischen Ausdrucksmöglichkeiten der Instrumente.

Abschließend werden der Begriff Musiksynthesizer und das Funktionsprinzip eines elektronischen Schlagzeugs erläutert. Diese Instrumente gehören in das Randgebiet der Thematik, sie eignen sich z. B. besonders für akustische Untermalung von Hörspielen und werden daher häufig in Tonstudios eingesetzt.

Sonneberg, im April 1973

*Georg Engel*

## 12. Gehäusegestaltung

Wie sich der Verwendungszweck und der technische Aufbau der Instrumente unterscheiden, so unterschiedlich sind ihre Gehäuse gestaltet.

Tanzkapelleninstrumente müssen für den *Transport* eingerichtet sein. Ihre Gehäuse haben abnehmbare Beine, oder ihre Untergestelle sind einschwenkbar. Gleiches gilt für andere Bedienungselemente und Zubehör.

Holzgehäuseoberflächen werden bisweilen mit Folien belegt oder mit Kunststoffplatten versehen. Weiterhin gibt es Gehäuse aus Aluminiumspritzguß und anderen Blechteilen, die lackiert, verchromt und eloxiert wurden. Auch Plastteile werden oft effektivvoll mit Metallteilen kombiniert.

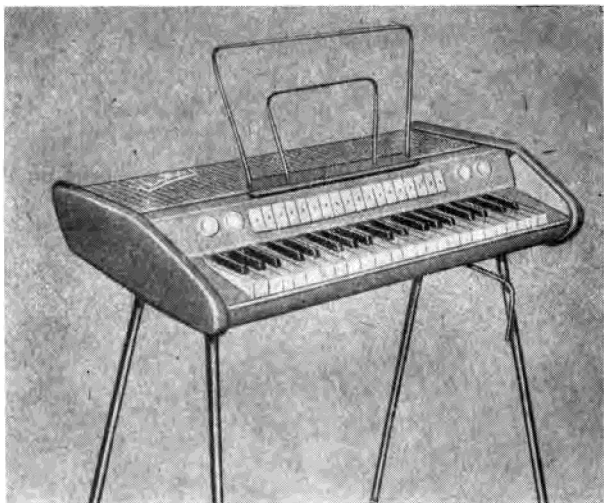


Bild 12.1 Ansicht der Ionika EMP 1



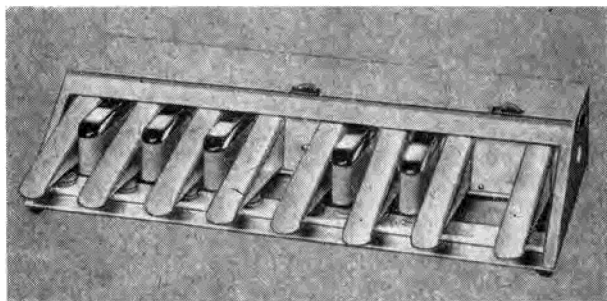


Bild 12.2 Pedalzusatz

Polyphone und elektronische Orgeln für den Hausgebrauch weisen Gehäuseformen im Stil moderner Möbel auf. Sie sind mit Edelhölzern furniert und mattiert oder poliert. Bild 12.1 bis Bild 12.8 zeigen eine Auswahl typischer Gehäuseformen und -ausführungen. Sie können als Vorlage für eigene Entwürfe genutzt werden. Man beachte die Lage der Bedienungselemente.

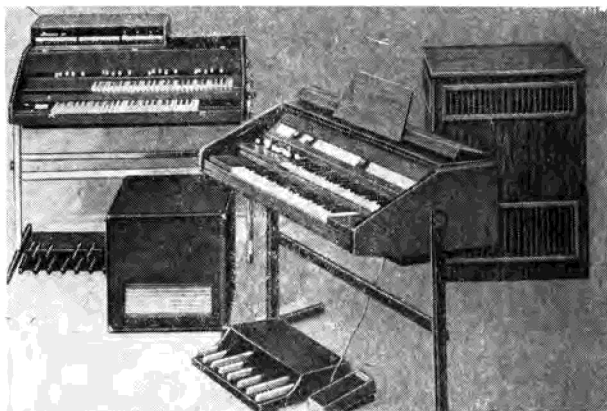


Bild 12.3 Gehäusegestaltung von Polyphonen und Lautsprecherboxen

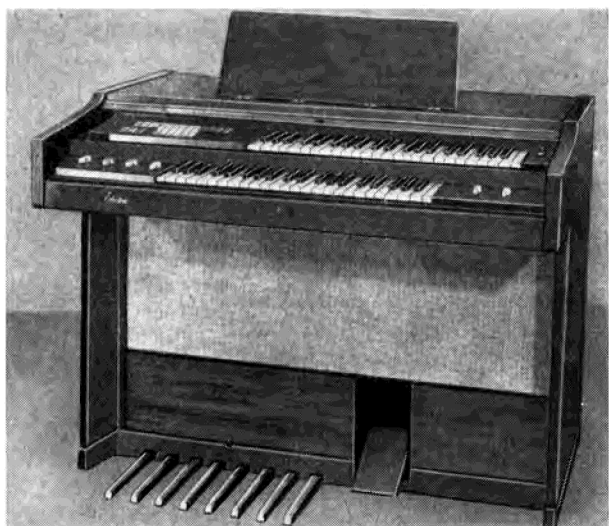


Bild 12.4 Ein Polyphon mit versetzten Klaviaturen

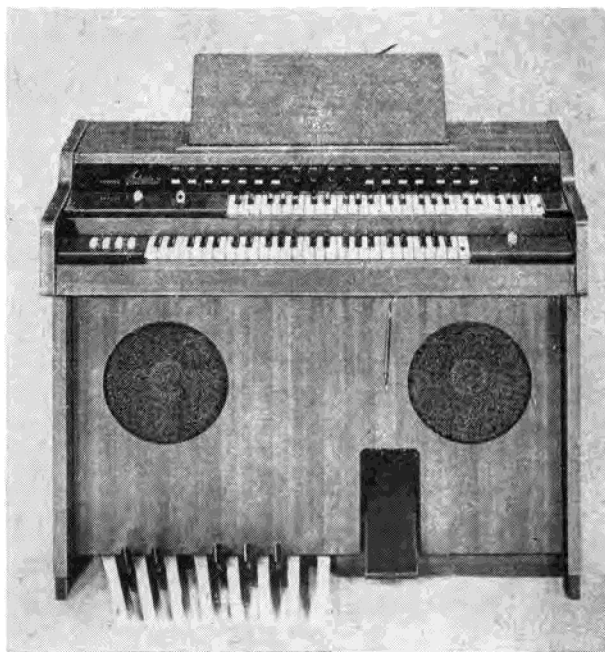


Bild 12.5 Gehäuse eines japanischen Polyphons

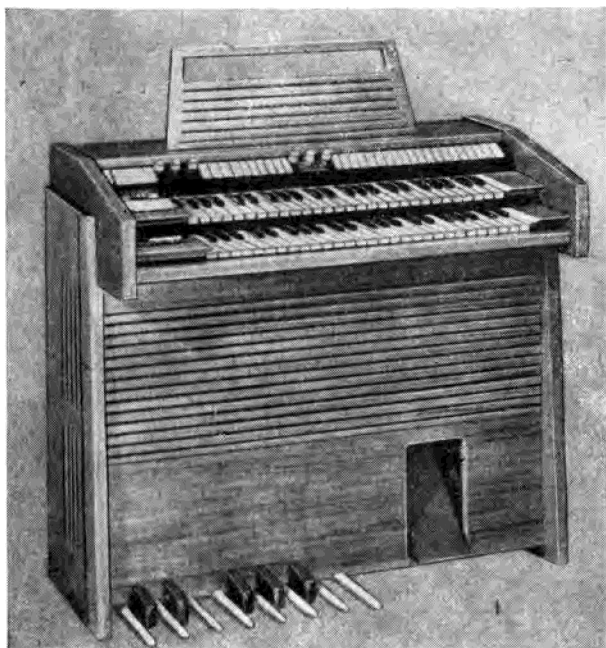


Bild 12.6 2manualiges Polyphon mit Stummelpedaltasten

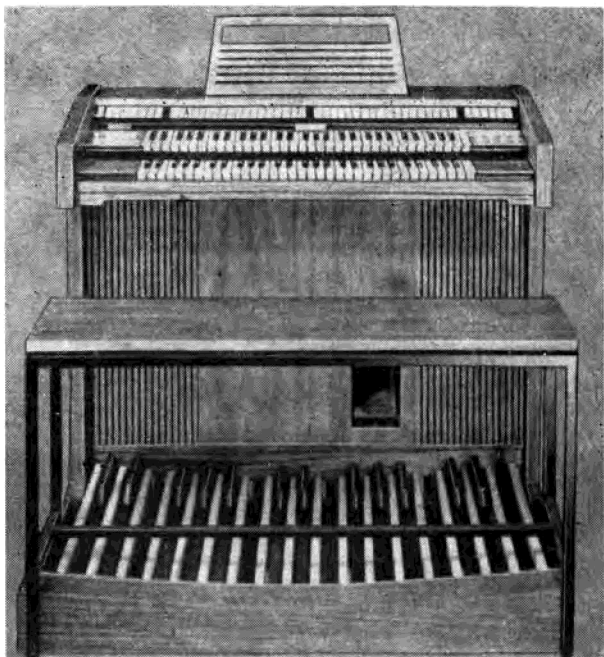


Bild 12.7 Elektronische Orgel mit Vollpedal



Bild 12.8 3manualige elektronische Orgel mit Vollpedal

### 13. Hinweise zum Selbstbau eines elektronischen Musikinstruments

Der Aufbau und der Arbeitsablauf beim Selbstbau lassen sich bei kleinen Instrumenten leicht planen. Die Menge des benötigten Materials ist verhältnismäßig gering. Für den Entwurf des Instruments genügen skizzenhafte Zeichnungen. Beherrscht man die Thematik, können eigene Gedanken in die Praxis umgesetzt werden, anderenfalls ist es ratsam, nach Musterbeispielen zu bauen.

Der Selbstbau größerer Instrumente erfordert viel gedankliche Arbeit. Zuerst sollten Übersichtsschaltpläne und Aufbauschemen skizziert werden, mit denen man sich einen

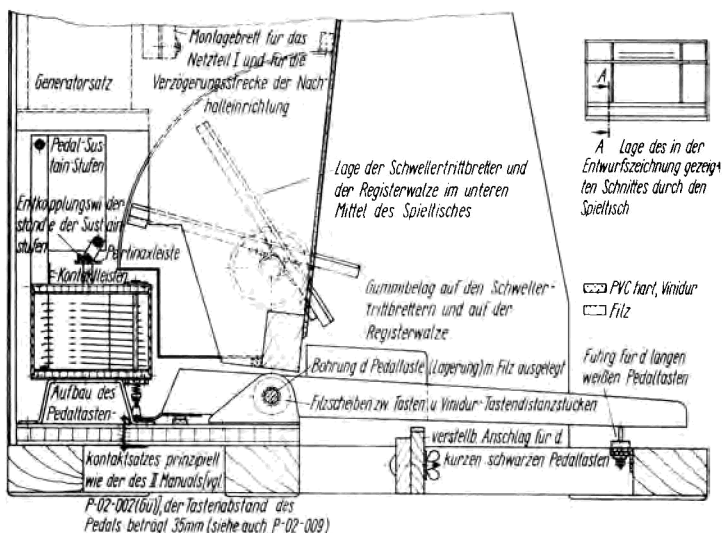


Bild 13.1 Beispiel für eine Entwurfszeichnung (im Maßstab 1 : 1 anzufertigen)

Gesamtüberblick verschaffen kann. Besteht Klarheit über die Größe und prinzipielle Ausführung des Instruments, müssen Zeichnungen mit genauen Maßangaben (Ansichten und Schnittdarstellungen) im Maßstab 1 : 1 angefertigt werden. An Hand dieser Zeichnungen lassen sich die Abmessungen und die Lage der Baugruppen und ihre Verdrahtung untereinander festlegen bzw. überprüfen. Beispiele für Zeichnungen zeigen Bild 10.10 und Bild 13.1. Während der Bauplanung eines Instruments sind noch andere Faktoren zu berücksichtigen, auf die im folgenden eingegangen werden soll.

### **13.1. Voraussetzungen für den Eigenentwurf und Selbstbau eines Instruments**

Der Eigenentwurf großer elektronischer Instrumente verlangt, daß der „Konstrukteur“ über dem Stoff steht. Er muß vorausdenken können und räumliche Vorstellungskraft besitzen, denn er hat den Aufbau der mechanischen und elektronischen Baugruppen und des gesamten Instruments festzulegen. Unklarheiten über die Funktion und den Platzbedarf der Schaltungen und der Baugruppen dürfen nicht bestehen. Es ist unumgänglich, entworfene Baugruppen oder einzelne Schaltungen im Detail *mechanisch und elektrisch zu erproben*, um sicherzugehen, daß sie allen Anforderungen standhalten (siehe Abschnitt 5. und Abschnitt 8.). Der Selbstbau großer Instrumente setzt neben theoretischen Kenntnissen auch praktische Fertigkeiten voraus. Beim Selbstbau müssen bestimmte Technologien angewendet werden. Der Einsatz der verschiedenen Einrichtungen, der Werkzeuge, Geräte und Maschinen bei der Anfertigung aller Teile eines Instruments sollte abgewogen und geplant sein. Man konstruiert einfach und robust, um die Teile in unkomplizierter Weise herstellen zu können. Die Inanspruchnahme fremder Arbeitsleistungen sollte man soweit wie möglich umgehen, damit die Ausgaben für ein Instrument in vertretbaren Größenordnungen bleiben.



## 13.2. Technologische Planung

Schon beim Entwurf eines Selbstbauinstruments sind technologische Fragen zu berücksichtigen. Der Autor entwarf die Instrumente K2/3 und K4 in der Weise, daß sie mit *einfachen* Werkzeugen und Maschinen zusammengebaut werden konnten. Bild 13.2 zeigt eine elektrisch angetriebene Schleifmaschine mit angebauter Kreissäge. Daneben stehen 2 Bohrstände für elektrische Bohrmaschinen. Die Kreissäge wurde nachträglich selbst an die Schleifmaschine montiert. Vorher waren 2 Schleifscheiben vorhanden. Die Schleifmaschine sowie die kombinierte Ausführung Schleifmaschine—Kreissäge mit dem gleichen Motor wird im Handel angeboten. Der große Bohrstand wurde an die elektrische Handbohrmaschine KM 12 angepaßt.

Inzwischen gibt es andere, meist kleinere elektrische Bohrmaschinen mit Ständer. In dem kleinen Bohrstand befindet sich ein Motor mit sehr hoher Drehzahl, an dessen Welle ein kleines Bohrfutter für Bohrer unter 1 mm Durchmesser befestigt wurde.

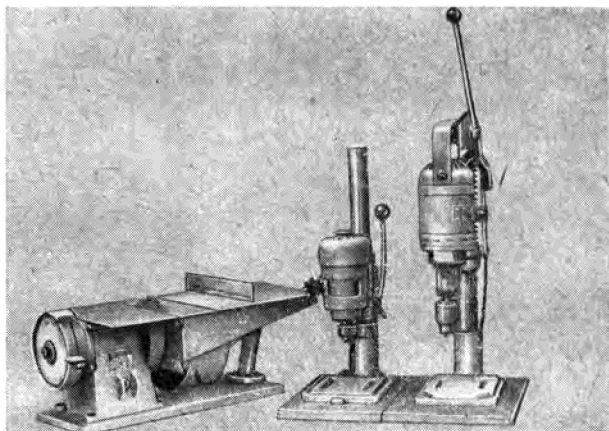


Bild 13.2 Heimwerkermaschinen

Mit diesen einfachen Maschinen konnten 95 % aller anfallenden maschinellen Arbeiten beim Bau der Instrumente ausgeführt werden. Die kleine Kreissäge mit einem scharfen Sägeblatt verarbeitet bis zu 35 mm starke Eichenholzbretter zu Leisten. Die Maschinen, teilweise mit einem geringen Kostenaufwand selbst auf- oder umgebaut, eignen sich sehr gut für die Ausführung vieler Arbeiten, die im Haushalt und in der Bastelwerkstatt anfallen. Vom Handel werden jetzt Heimwerkermaschinen mit Zubehör angeboten, die man vielseitig beim Basteln einsetzen kann.

Die zum Bau elektronischer Musikinstrumente verwendete Kreissäge muß eine Schnittführung mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,2$  mm zulassen, denn mit der Säge werden z. B. die Pertinaxplatten für die Kontaktträgerplatten der Tastenkontaktsätze zugeschnitten. Dabei kommt es wie überhaupt im Musikinstrumentenbau auf *Maßhaltigkeit* und sehr gute *Winkligkeit* aller Einzelteile an. Manche Bohrarbeiten lassen sich wirtschaftlich nur mit *Bohrlehren* aus-

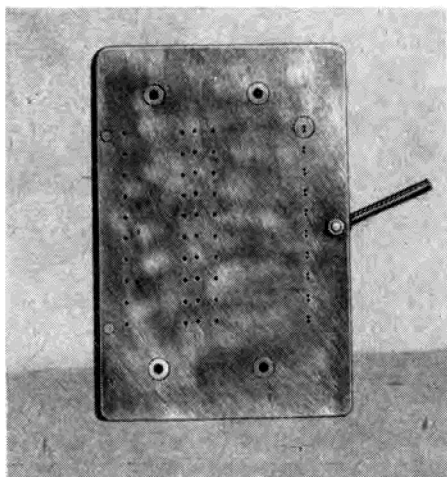


Bild 13.3 Bohrlehre zum Bohren der Tastenkontaktplatten nach Bild 10.11

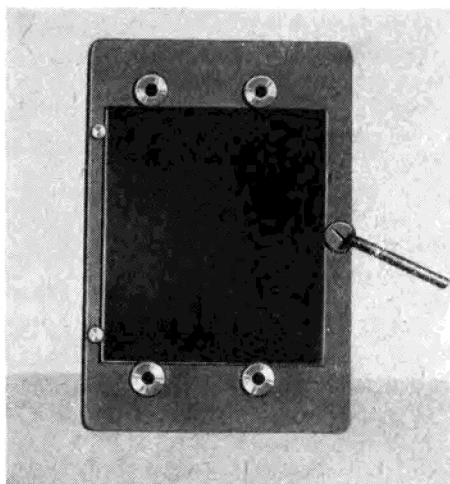


Bild 13.4 Tastenkontaktplatine in die Bohrlehre nach Bild 13.3 eingespannt

führen. Die Bohrlehren müssen mit *Präzision* angefertigt werden (genau anreißen, körnen und bohren). 2 Lehren sind unentbehrlich zum Bohren der Kontaktschieber und der Kontaktplatten (Bild 13.3 bis Bild 13.5).

Einige Arbeitsgänge wird man in Mechanikerwerkstätten ausführen (lassen). In der Hauptsache handelt es sich dabei um Blechbiegearbeiten, vor allem wenn lange Kanten zu biegen sind. Zur Ausführung dieser Biegearbeiten benötigt man *Abkantbänke*. Bei Holzkonstruktionen kommt es neben der Einhaltung der vorgegebenen Maße auch auf die Stabilität der Holzverbindungen an. Vor zu labiler Bauweise muß nachdrücklich gewarnt werden. Kann man die Holzarbeiten nicht selbst erledigen, sollte man sie von einem Tischler ausführen lassen, der für Qualitätsarbeit bekannt ist. Die Kästen für die Tastenkontaktsätze müssen aus erstklassigem Sperrholz mit Hartholzauflege gefertigt werden. Die Maßtoleranzen dürfen nicht mehr als  $\pm 0,5$  mm

betragen. Für Holzarbeiten ist das eine hohe Forderung, die man aber einhalten kann.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß alle Teile eines Instruments möglichst *einfach* und *stabil* konstruiert werden sollen, um sie möglichst ohne fremde Hilfe herstellen zu kön-

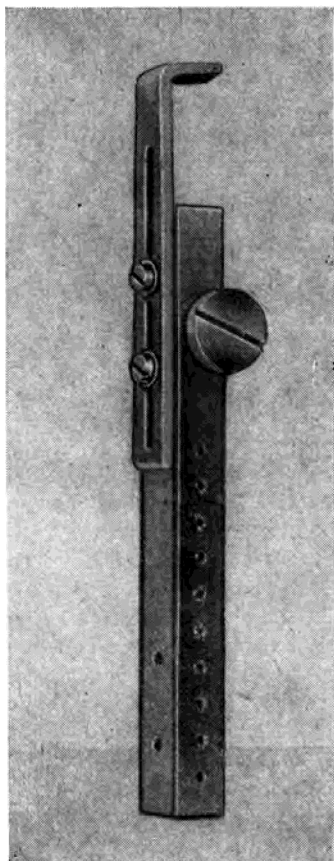


Bild 13.5  
Verstellbare Bohrlehre  
für die Schaltschieber  
nach Bild 10.12 und  
Bild 10.13

nen. Dadurch verringern sich die Bauzeit und die Kosten für das Instrument wesentlich.

Zur technologischen Vorbereitung des Selbstbaus eines größeren Instruments gehört z. B. auch die Herrichtung eines Werkraums. Steht ein Zimmer zur Verfügung, das man vorübergehend als Werkstatt einrichten kann, ist die Lösung perfekt. Fertiggestellte oder in Bau befindliche Baugruppen können stets an Ort und Stelle verbleiben. Sie werden gegen Staubeinwirkung mit Folie oder mit Tüchern abgedeckt. Feuchte Kellerräume eignen sich für die Aufbewahrung mechanischer und elektronischer Bauelemente oder Baugruppen nicht. Dort kann man mechanische Arbeiten ausführen, die mit einer Staubentwicklung verbunden sind. Beim Umgang mit elektrischen Maschinen in feuchten Räumen ist *äußerste Vorsicht* geboten (Schukosteckdosen, Schutzleiter überprüfen, isolierenden Fußbodenbelag verwenden, Erdung von Maschinen kontrollieren usw.). Die Sicherheitsvorschriften sind unbedingt einzuhalten!

Wer eine Bodenkammer, einen Schuppen oder eine Gartenlaube nutzen kann, sollte den Raum als Werkstatt einrichten, um ungestört arbeiten zu können. Ein Netzanschluß läßt sich in den meisten Fällen herstellen. Die Leitung ist so auszulegen oder aufzuhängen, daß Unfälle vermieden werden. Nach jedem Gebrauch sollte man die Leitung wieder entfernen, mindestens aber vom Netz trennen (Isolation, Stabilität und Belastbarkeit der Leitung sind zu beachten).

### **13.3. Werkzeuge, Maschinen, Vorrichtungen, Prüf- und Meßgeräte**

Manche Arbeitsmittel muß man nicht unbedingt selbst besitzen, um basteln zu können. Wer sich nicht darauf eingerichtet hat, viele Arbeiten und Reparaturen im Haushalt selbst auszuführen, wird sich Spezialwerkzeuge noch nicht angeschafft haben. Es lohnt sich auch nicht, alle zum Bau eines elektronischen Musikinstruments vorübergehend be-

nötigten Arbeitsmittel einzukaufen. Dagegen sollten preisgünstige Werkzeugangebote, z. B. bei Werkstattauflösungen, wahrgenommen werden. Sicher kann sich der Amateur dieses oder jenes Werkzeug im Bekanntenkreis ausleihen. Manchmal können bestimmte Arbeiten in Werkstätten selbst ausgeführt werden. Es gibt Handwerksmeister oder Betriebsleiter, die nicht abgeneigt sind, Amateuren bei der Ausübung ihres Hobbys behilflich zu sein.

Auf eine kleine Ständerbohrmaschine mit möglichst hoher Drehzahl (bis etwa 16 000 U/min) kann man nicht verzichten, denn beim Bau eines größeren Instruments müssen mehrere Tausend kleiner Löcher gebohrt werden. Mit einer handgeführten Bohrmaschine würden diese Arbeiten zu viel Zeit beanspruchen — vom Abbrechen der Bohrer ganz zu schweigen (in die Kontaktplatten für das Instrument K4 mußten z. B. mehr als 13 000 Löcher gebohrt werden). Schnellaufende Ständerbohrmaschinen gibt es besonders in Feinmechanik-Werkstätten.

Das Zuschneiden der Pertinaxplatinen und -streifen für ein großes Instrument kann mit einer Kreissäge bei guter Arbeitsvorbereitung innerhalb eines Tages erledigt sein. Da beim Schneiden von Hartpapier ohne Absaugeinrichtung eine enorme Staubentwicklung eintritt und sich ein sehr unangenehmer Geruch verbreitet, sollte diese Arbeit nicht in Wohnräumen ausgeführt werden.

Neben den bereits genannten 2 Bohrlehren benötigt man nur einige Klötzchen aus Holz und Metall sowie Holzleisten, um die zu bearbeitenden Teile mit Zwingen oder im Schraubstock festspannen zu können.

Holz läßt sich nur mit *sehr scharfen* Werkzeugen sauber bearbeiten (Stemm- und Hobeisen, Sägen und Bohrer). Zum Beispiel muß die Schneide eines Putzhobeisens nach dem Schleifen und Abziehen etwa so scharf wie ein Rasiermesser sein. Holzbearbeitungsmaschinen laufen, um glatte Holzflächen zu erzielen, sehr hochtourig (Messerwellendrehzahlen bis zu 18 000 U/min sind nicht selten). Die Unfallgefahr ist dementsprechend groß. Deshalb dürfen auch nur ausgewiesene Fachkräfte die Maschinen bedienen. In

diesem Zusammenhang muß nochmals auf die Einhaltung von Arbeitsschutzbestimmungen und Sicherheitsvorschriften hingewiesen werden. Kein unbefugtes Benutzen von Maschinen!

Mit elektrisch angetriebenen Handbohrmaschinen und Kleinkreissägen, Heimwerkermaschinenkombinationen usw. kann man sich bereits sehr schwer verletzen. Größere elektrische Handbohrmaschinen entwickeln durch die Unter-  
setzung des eingebauten Getriebes beträchtliche Drehmomente am Umfang des Bohrfutters. Die Hinweise in den Bedienungsanleitungen müssen ernst genommen werden.

Dem Stand der Technik entsprechend, wird man elektroakustische Musikinstrumente mit Halbleiterbauelementen bestücken. Nur in Netzteilen, eventuell noch in den Leistungsstufen, treten gefährlich hohe Spannungen auf (Berührungsgefahren durch Isolationen oder Abdeckungen beseitigen). Die Versorgungsspannungen an den anderen Baugruppen liegen so niedrig, daß keine Schutzmaßnahmen notwendig sind. Beim Erproben dieser Schaltungen und beim Messen dürfen alle Teile und Bauelemente berührt werden. Die Betriebsspannung wird bei Lötarbeiten abgeschaltet, um empfindliche Bauelemente nicht durch zufällige Kurzschlüsse zu zerstören.

Zum Nachbau eines elektroakustischen Musikinstruments benötigt man wenigstens ein einfaches Voltmeter mit verschiedenen Spannungsmößbereichen zum Nachmessen der Versorgungsspannungen. Besser ist jedoch ein Vielfachmesser (20 k $\Omega$ /V), mit dem die Spannungen an den Transistoren, Ströme und eventuell auch Widerstände und Kondensatoren gemessen werden können. Andere Meßgeräte wie Röhrenvoltmeter, Frequenzmesser, Induktivitätsmeßbrücken u. a. benötigt man beim Nachbau eines Instruments nicht unbedingt. Zwar kann mit solchen Geräten fachmännischer gearbeitet werden, aber nur wenige Amateure besitzen sie, noch können sie diese leihweise benutzen. Hinzu kommt, daß man die Handhabung und Bedienung der komplizierten Meßgeräte auch beherrschen muß.

In der Freizeitbeschäftigung, beim amateurmäßigen Nach-

bau einer elektronischen Orgel, kann man einer etwas einfacheren Arbeitsweise zustimmen. Sehr interessant und besonders nützlich beim Aufbau von Effektschaltungen ist ein Oszillograph. Mit ihm können Wechselstromkurven sichtbar gemacht werden. In Serviceunterlagen sind häufig Oszillogramme mit Spannungsangaben eingezeichnet. Mit ihrer Hilfe läßt sich schnell ermitteln, ob eine Schaltung ihre Funktion fehlerfrei erfüllt oder nicht. Für den Service ist der Oszillograph daher ein unentbehrliches Hilfsmittel. Beim Nachbau von Schaltungsdetails können Oszillogramme mit denen in Schaltungsunterlagen verglichen werden. Oszillographen gehören zum Inventar jeder Fernseh-Reparaturwerkstatt, aber auch viele GST-Stützpunkte sind mit Oszillographen ausgerüstet.

### 13.4. Fremde Arbeitsleistungen

Über die Anfertigung von Holzkonstruktionen in einer Tischlerei wurde bereits gesprochen. In gleicher Weise kann man andere Arbeiten in Auftrag geben (z. B. Zuschneiden, Biegen, Bohren, Schweißen und Oberflächenbehandeln von Kunststoff- und Blechteilen oder Zuschneiden von Hartpapierplatten und -streifen).

Bei der Erteilung von Arbeitsaufträgen an Werkstätten sollte man sich über die auszuführenden Arbeiten unterhalten, denn es passiert schnell, daß Teile gefertigt werden, die nicht den Vorstellungen des Auftraggebers entsprechen. Dafür kann es mehrere Ursachen geben: Zeichnungsfehler, lückenhafte Angaben, Mißverständnisse, Fertigungstoleranzen und falscher Materialeinsatz. Ein Kostenvoranschlag sollte wenigstens gefordert werden.

Man kann einschätzen, daß für die Inanspruchnahme fremder Leistungen nichts spricht. Eine Amateurarbeit verliert schließlich auch an ideellem Wert, wenn sie sich zu sehr auf die Arbeit anderer stützt. Man sollte daher bemüht sein, möglichst viele Arbeitsgänge selbst auszuführen. Im



Erfahrungsaustausch mit anderen Amateuren lassen sich manche Probleme der praktischen Arbeit lösen.

### 13.5. Materialbeschaffung

In den meisten größeren Städten unserer Republik wurden Verkaufsstellen für den Bastlerbedarf eingerichtet. Das Angebot ist in der Regel reichhaltig. Weitere Informationen über Materialbezugsquellen erhält man aus Anzeigen in Zeitschriften (z. B. *FUNKAMATEUR*). Es empfiehlt sich, den persönlichen Kontakt zu einer Verkaufsstelle aufzunehmen und dort seine Wünsche individuell zu besprechen. Die Einkäufer werden sich bemühen, bestimmte Materialien zu beschaffen, wenn diese nicht am Lager sind. Der Amateur muß bei der Materialbeschaffung etwas Aktivität entwickeln. Es geht entsprechend der Verwendungsmöglichkeit um den Einkauf billiger Materialien. Der Autor konnte wiederholt die Erfahrung machen, daß sich der Weg in eine Altstoffhandlung lohnt. Man kann dort eine Vielzahl mechanischer Einzelteile zusammentragen wie Schrauben, Muttern, Blechteile, Profileisen, Rohre usw. und für wenig Geld erhalten. Bisweilen findet man auch verschrotete Anlagenteile, die eine Fundgrube für den Amateur sind. Der Verfasser hat z. B. die Kontaktsätze verschroteter Postrelais aus Klappenschränken verarbeitet (Bild 10.87b), in die während eines Unwetters Wasser einge drungen war. Unter den zu Bergen gehäuften Schrotteilen befanden sich Kabelbäume mit vielen farbig gekennzeichneten Drähten, Drosseln und Übertrager. Häufig fallen in Betrieben für Bastelzwecke verwertbare Abfälle an, die sonst in den Schrott oder auf Schutthalden wandern. Der Autor fertigte z. B. alle Pertinaxplatinen und -streifen für Lötleisten usw. aus Stanzabfällen an. An Betriebsangehörige werden Materialien aus Schrottbeständen, Abfällen und Überplanbeständen verkauft. Die Verkaufsstellen für „1000 kleine Dinge“ bieten Kehrschrauben, Muttern in allen

Größen, Klebemittel, Leim, Farben und vieles andere Kleinmaterial an.

Einfacher ist die Materialbeschaffung für Arbeitsgemeinschaften. Sie erhalten Bastelmaterial aus Betrieben, ihre Bestellungen werden bevorzugt erledigt. Von Kundendienstabteilungen der Produktionsgenossenschaften und der volkseigenen Betriebe kann man ebenfalls für Bastelarbeiten geeignete Materialien erhalten. Der Amateur muß alle Gelegenheiten zum Einkauf billiger Materialien in Erfahrung bringen und nutzen.

Die Beschaffung von Holzteilen ist nicht schwierig, wenn man sich mit einer Tischlerei in Verbindung setzt. Sperrholz- und Faserplattenstücke, aus denen Kästen für die verschiedenen Baugruppen hergestellt werden können, bietet der Einzelhandel an. Der Autor verarbeitete z. B. auch das Holz alter Möbelstücke sowie Teile des Spieltisches und die Pedaltastatur einer abgerissenen Pfeifenorgel. Solche Hölzer sind abgelagert und verarbeiten sich vorzüglich.

Nimmt man fremde Arbeitsleistungen in Anspruch, ist es oft nicht nötig, Materialien anzuliefern, da die Werkstätten meistens nicht bereit sind, die Abfallmaterialien zu verarbeiten. Maßgerecht geschnittene Pertinaxplatten aus Abfallstücken verschiedener Abmessungen ergeben einen sehr großen Arbeitsaufwand. Maschinenzeiten sowie Lohnkosten steigen, und die Ausgaben sind am Ende vielleicht höher als bei Platinen aus größeren Platten. Geld sparen kann man daher nur, wenn die Platinen selbst aus Abfällen zugeschnitten werden.

### **13.6. Kosten für ein Selbstbauinstrument**

Die Betrachtungen in den vorangegangenen Abschnitten lassen erkennen, daß die Höhe der Ausgaben beim Selbstbau eines Instruments von vielen Faktoren abhängt und individuell stark beeinflusst werden kann. Die Materialkosten beim Bau kleinerer Instrumente werfen keine allzu großen Probleme auf. Für den Aufbau eines größeren Poly-

phons benötigt man dagegen sehr viele gleichartige Bauelemente. Der Bedarf kann aus den Reserven einer „Bastelkiste“ nicht gedeckt werden. Der Einkauf von z. B. tausend und mehr Widerständen gleicher Ausführung bereitet im Einzelhandel Schwierigkeiten. So hohe Stückzahlen müssen die Einkäufer oft erst bestellen. Die mit dem Einkauf dieser Bauelemente verbundenen Kosten sind unvermeidbar. Das Polyphon K2/3 (siehe Abschnitt 9.1.6.) wurde z. B. mit einem Gesamtkostenaufwand von etwa 1300,— M in einer Arbeitsgemeinschaft (Dorfklub) aufgebaut. Die Kosten für fremde Arbeitsleistungen (Lohn) betrugen weniger als 50,— M. Der Hauptanteil der Ausgaben erstreckte sich auf den Einkauf der Bauelemente, der Rohmaterialien und der Klaviatur. Ein Teil der benötigten Bauelemente, vor allem Widerstände mit verschiedenen elektrischen Werten, Kondensatoren, Transistoren (verwertbarer Ausschuß) und diverses mechanisches Kleinmaterial konnten preisgünstig (Restbestände) erworben werden. Die Kosten für das Instrument K2/3 blieben wegen der vorhandenen günstigen Voraussetzungen gering. Für das Instrument, das in Teil 4 mit der Bezeichnung A/2 zum Nachbau empfohlen wird (seine Ausführung entspricht etwa dem Instrument K2/3), dürfte der Kostenaufwand 1600,— M nicht übersteigen, wenn man den Nachbau wirtschaftlich gestaltet. Die genannten Kosten sind für eigene Kalkulationen ein Richtwert.

Wer Gelegenheit hat, ein altes Klavier oder ein Harmonium zum Schrottpreis zu kaufen, kann die Klaviaturen und andere Teile wiederverwerten und auf diese Weise bereits hohe Ausgaben einsparen.

## 14. Selbstbaupraxis

Die Ergebnisse der praktischen Arbeit beim Bau eines Instruments werden zu einem großen Teil schon in der Planungsphase des Gesamtaufbaus entschieden. Je genauer und vollständiger die Konstruktion des Instruments durchdacht und in Zeichnungen festgelegt wurde, um so weniger Schwierigkeiten sind bei der Ausführung der praktischen Arbeiten zu befürchten. Man muß sich allerdings von Anfang an zu einer gewissenhaften und exakten Arbeitsausführung zwingen. Nichts darf übereilt werden. Einzelteile der Baugruppen erprobt man an Hand einiger Muster. Erst wenn keine Unzulänglichkeiten auftreten, fertigt man die Teile in größeren Stückzahlen. Je gründlicher die Vorversuche durchgeführt und ausgewertet werden, um so geringer ist die Gefahr, daß Mängel auftreten, die später zu einer unsicheren Funktion des Instruments und zu aufwendiger Nacharbeit führen. Derartige Rückschläge verderben ganz erheblich die Freude an der Arbeit.

Den Bau eines großen Instruments sollten nur jene Amateure beginnen, die sich sicher sind, die dafür erforderliche Ausdauer aufbringen zu können.

### 14.1. Planung der Größe und Ausführungsform eines zu bauenden Instruments

Zuerst muß man den *Verwendungszweck* des Instruments bestimmen und daraus seine Ausführungsform und Ausstattung ableiten. In den meisten Fällen wird der Wunsch nach *Universalität* bestehen. Die Erwartungen an solche Instrumente können aber nicht zu hoch gestellt werden. Ein elektronisches Instrument, dessen Klangcharakter z. B. einer

Pfeifenorgel sehr nahekommen soll, erfordert einen sehr hohen Aufwand (mindestens 84 nichtsynchronisierte, also frequenzstabil schwingende Generatoren). Um Register mit gebrochenen Fußlagen außer den Quinten exakt stimmen zu können, wäre außerdem der Einbau eines 2. Generatorsatzes gleicher Ausführung notwendig. Sonst treten besonders in den hohen Tonlagen zu starke Differenztöne auf. Auch die Verstärker müssen hohen Anforderungen gerecht werden, so daß sich *Preisfragen* in den Vordergrund schieben, wenn ein solches Instrument gebaut wird.

Eine zu sparsame Ausstattung eines Polyphons würde man später jedoch auch bereuen. Ein klingender Tonumfang von 6 bis 7 Oktaven ist eine Mindestforderung. Im Spieltisch wird etwas Raum frei gelassen, um nachträgliche Erweiterungen unterbringen zu können (z. B. Schaltungen für Klangeffekte). Die Bauplanung muß sich mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln vereinbaren lassen. Man sollte besser während der Zeit der Bauplanung noch Geld sparen — die Konstruktion vervollkommen und in Ruhe Vorversuche ausführen —, als ein Instrument überstürzt zu bauen, an dem sein Erbauer später keine Freude hat.

Besteht Klarheit über alle Einzelheiten, wird die Disposition für das Instrument festgelegt und der Übersichtsstromlaufplan erarbeitet. Danach überprüft man, ob sich der Umfang der benötigten Baugruppen mit der geplanten Gehäusegröße vereinbart, und zieht Rückschlüsse auf die Art der Bauelemente, die verarbeitet werden sollen (Miniaturbauelemente oder solche mit größeren Abmessungen). Auch die Auswahl der Schaltungen wirkt sich auf den Platzbedarf aus. Der Schaltungsaufwand für die einzelnen Baugruppen muß aufeinander richtig abgestimmt werden. Es wäre z.B. sinnlos, die Tastsysteme mit 2'- und 1'-Chören, den Generatorsatz aber nur mit einem Tonumfang von 5 Oktaven aufzubauen und eine Klaviatur mit 60 Tasten vorzusehen. Als Anhaltspunkt können der Aufbau industrieller Instrumente und die Planungsbeispiele z. B. in den letzten Abschnitten des 3. Teiles dienen.

## **14.2. Auswertung von Erfahrungen aus der Praxis**

Jedes Erzeugnis unterliegt einer ständigen Weiterentwicklung. Nur selten ist ein Produkt konstruktiv so ausgereift, daß daran nichts mehr verbessert werden könnte. Dagegen wird jedes Erzeugnis seiner Preis- und Güteklasse entsprechend entwickelt und gefertigt. Der Konstrukteur kann daher nicht überall die besten und zugleich teuersten Materialien einsetzen. Seine Aufgabe besteht vielmehr darin, bei Einhaltung aller vorgegebenen Kosten die Erzeugnisse in der festgelegten Preisklasse so qualitätsgerecht wie möglich zu entwickeln. Dazu müssen innerhalb der vorgesehenen Entwicklungszeit konstruktiv optimale Lösungen erzielt, die Materialien zweckentsprechend ausgewählt und eingesetzt werden und vieles andere mehr. Eine gute Qualität wird nicht durch großen Aufwand, sondern vor allem durch eine einfache und funktionssichere konstruktive Gestaltung des Erzeugnisses erreicht, so daß es sich in der Fertigung komplikationslos und sauber herstellen läßt.

Im Prinzip liegen die Verhältnisse beim Selbstbau irgendwelcher technischer Geräte nicht anders. Bei z. B. mehreren hintereinander gebauten elektronischen Musikinstrumenten wird man nach Fertigstellung eines jeden Instruments erkennen, daß dieses oder jenes noch verändert oder verbessert werden mußte. Leider läßt sich nicht jede technisch mögliche Verbesserung einführen, da ihr Nutzen oft den zusätzlichen Kostenaufwand nicht rechtfertigt.

In den folgenden Abschnitten werden die Instrumente K1, K2/3 und K4 einer kritischen Betrachtung unterzogen. Die gewonnenen Erkenntnisse beim Selbstbau dieser Instrumente kann man beim Entwurf eines anderen Polyphons oder einer elektronischen Orgel auswerten.

### **14.2.1. Erkenntnisse aus der Bauausführung der elektronischen Orgel K1 (Bild 3.3)**

Der technische Aufbau des Instruments wurde in Abschnitt 10.1. beschrieben. Der Spieltisch steht im Kultur-

haus eines größeren Betriebes. Die Tonabstrahlung erfolgt über 2 Lautsprecherkombinationen, die links und rechts der Bühne in Wanddurchbrüchen untergebracht sind. Der Spieltisch ist an der linken Seite des Bühnenvorbaus aufgestellt. Daraus ergeben sich Schwierigkeiten beim Zusammenspiel der Orgel mit Orchestern, da die Entfernung zwischen dem Orgelspieler, dem Orchester und den Lautsprechern zu groß ist. Die Verschmelzung des Orgel- und Orchesterklangs kann vom Orgelspieler und von den Solisten von ihrem jeweiligen Standort aus schlecht beurteilt werden. Dadurch wird die Takthaltung erschwert und die Orgel manchmal zu laut eingestellt. Es wäre notwendig, den Spieltisch und die Lautsprecher direkt mit im Orchesterraum aufzustellen. Für diese Anordnung ist aber der Spieltisch mit seinen Abmessungen und seinem Gewicht nicht geeignet.

Dagegen läßt sich die elektronische Orgel sehr gut allein spielen, die Beschallung des Saales gelingt sehr gut. Die Lautstärkeverteilung ist ausgeglichen, weil die Lautsprecher vorn ziemlich hoch angeordnet sind. Die großen Seitenwände neben der Bühne wirken wie riesige Schallwände, so daß ein voller, mit „Tiefen“ durchdrungener Klang entsteht.

Die eingebauten Spielhilfen, darunter besonders die freien Kombinationen, werden wenig genutzt, denn klassische Werke kommen kaum zum Vortrag. Die Bedienung der Einzelregister ist durch die Anordnung der Registerschalter auf den Schalttafeln teilweise erschwert. In der Praxis werden nur die irgendwann einmal eingestellten freien Kombinationen zur Klangveränderung umgeschaltet oder einfach die Registerwalze betätigt. Diese Bedienungsweise des Instruments beruht nicht auf technischen Mängeln, sondern auf dem Vorhandensein der Spielhilfen (Druckknöpfe für die freien Kombinationen und die Registerwalze), die sich sehr bequem bedienen lassen, ohne eine neue Registrierung zusammenstellen zu müssen. Die Einrichtungen des Instruments werden also nicht ausgenutzt. Das Instrument K1 könnte Virtuosen als Übungsinstrument

dienen und z. B. in einem Lichtspieltheater wirkungsvoll eingesetzt werden.

Starke Temperaturschwankungen im Saal zwischen etwa  $+2^{\circ}\text{C}$  und  $+32^{\circ}\text{C}$  führten am Anfang zur Verstimmung der Hauptgeneratoren. Durch den Einbau eines Thermostaten konnte der Mangel zwar schnell beseitigt werden, doch löste diese Maßnahme das Problem nicht. Später wurden deshalb die Schaltungen der Hauptgeneratoren genauer untersucht und ausgemessen, um die Frequenzabweichung bei Temperaturänderung zu verringern. Im Ergebnis der Versuche wurden die Schaltungen und die Werte der Bauelemente geändert und andere Ausführungen von Kondensatoren und Transistoren eingesetzt. Außerdem wirkte sich eine künstliche Alterung der fertiggestellten Generatorplatten günstig aus (siehe Abschnitt 17.1.).

Der Dynamikregelbereich der Effektklänge hätte größer sein können. Sind lautstarke Normalregister eingeschaltet, gehen die Klangeffekte im Gesamtklangbild fast unter. Diese Erscheinung ließe sich durch einfache schaltungs-technische Veränderungen beheben. Bisher geschah aber nichts, weil die Effekte voll zur Wirkung kommen, wenn die Lautstärke der Normalregister zurückgenommen wird oder die Register ausgeschaltet werden.

Die zahlreichen Einstellmöglichkeiten der Orgel K1 sind in ähnlicher Form nur bei größeren Konzertorgeln zu finden. Instrumente, auf denen wie auf der Orgel K1 fast nur zur Unterhaltung gespielt wird, sollten keine freien, sondern mehrere feste Klangkombinationen aufweisen, außerdem weniger Register, dafür aber klanglich stärker differenzierte Stimmen haben. Alle weiteren Einrichtungen sind dem Verwendungszweck des Instruments entsprechend vorzusehen (Effekte und deren Bedienungselemente, Schweller, Anschlußmöglichkeiten für Zusatzgeräte).



#### 14.2.2. Bewährung des Polyphons K2/3 (Bild 3.2)

Das Instrument K2/3 zeigte bisher keine bedeutenden Mängel. Die Knebel der Registerschalter mußten nachträglich mechanisch stabilisiert werden, da die Klebeflächen der Plastteile sehr klein sind und deshalb den Beanspruchungen beim Schalten der Register nicht immer standhielten. Es wurden kleine Stahlstifte eingebohrt. Das Gewicht und die Abmessungen des Polyphons lassen sich verringern, wenn modernere Bauelemente verwendet werden, die inzwischen zur Verfügung stehen. Außerdem würde man bei der Neukonstruktion eines ähnlichen Instruments die Anordnung der Baugruppen und der Bedienungselemente etwas verändern. Obwohl das Polyphon viel gespielt und transportiert wird, traten bisher keine Defekte auf. Nur das Äußere des Gehäuses mußte hin und wieder behandelt werden, um die Ansehnlichkeit zu erhalten. Nachdem die Muttergeneratoren mit Siliziumtransistoren bestückt wurden, trat bei größeren Raumtemperaturschwankungen keine zu starke Verstimmung des Instruments mehr auf.

#### 14.2.3. Erfahrungen mit der elektronischen Heimorgel K4 (Bild 3.4)

Der Entwurf des Instruments K4 erfolgte zu einem Zeitpunkt, als Erfahrungen und Erkenntnisse vorlagen, die während der Reparatur industriell hergestellter Polyphone und beim Selbstbau elektronischer Musikinstrumente gesammelt wurden. Der Arbeitsaufwand zum Bau des Instruments K4 war nicht gering. Aus dem Übersichtsschaltplan Bild 9.46 (Teil 2) ist z. B. nicht sofort zu ersehen, daß sich in den 3 Tastenkontaktsätzen insgesamt 2175 Umschalt- und 90 Einschaltkontakte befinden, die selbst angefertigt werden mußten.

Den Einbau von hohen Obertonfußlagen ( $\frac{2}{3}'$ ,  $\frac{1}{2}'$ ,  $\frac{1}{4}'$ ,  $\frac{4}{5}'$  u. a.) und die Anzahl der Register kann man in allen 3 Tastenebenen, ohne wesentliche Einbuße an Klangqualität,

einschränken. Ein getrennter Verstärker mit Lautsprechern für eine separate Baßwiedergabe ist dem Einbau von Frequenzweichen in den Lautsprecherkombinationen trotz höherer Kosten vorzuziehen. Die Anordnung der Bedienungselemente hat sich als vorteilhaft erwiesen (siehe Bild 3.4). Der Sustaineffekt im II. Manual muß nicht auf den gesamten Tastenumfang ausgedehnt werden, es reicht aus, diesen Effekt für die beiden oberen Oktaven einzubauen. Bei Verringerung der Registerzahl müssen besonders kontrastreiche Register im Instrument verbleiben.

Eine Erprobung des Instruments K4 nach 2 Jahren zeigte, daß keine wesentlichen Veränderungen notwendig sind. Die Heimorgel K4 läßt sich mühelos bedienen, es können viele und effektvolle Klangvarianten eingestellt werden. Die erzielbare Dynamik und das Klangvolumen des Instruments beeindrucken immer wieder.

## 5. Beispiele des Entwurfs verschiedener Instrumente

In Abschnitt 15.1. bis Abschnitt 15.4. werden die *Dispositionen* verschieden großer Instrumente angegeben. Diese Beispiele kann man als Vorlage beim Eigenentwurf und Selbstbau eines elektronischen Tasteninstrumentes nutzen. Die Disposition ist die Grundlage für weitere konstruktive Arbeiten an den Baugruppen und an der Gesamtgestaltung eines Instruments.

### 15.1. Entwurf eines kleinen Polyphons

Klavatur: 54 Tasten, 1manualig mit Manualteilung (Baßteil von C bis h, Diskant von  $c^1$  bis  $h^1$ ) — Anschluß für Baßpedal mit 13 Tasten (monophoner 16' durch Flip-Flop-Teiler und Auswahlhaltung) vorgesehen

Generatorsatz: 6 Oktaven Tonumfang von C bis  $h^4$

Chöre: Baßteil 8', 4' und 2', Diskantteil 8', 4',  $2\frac{2}{3}'$ , 2'

Frequenzvibrato: Stärke und Frequenz regelbar

Lautstärke-  
regelung: Balanceregler für Baß- und Diskantteil (Drehknopf), Gesamtlautstärke durch Fußschweller regelbar

Gehäuse: Ausführung ähnlich der TO 200/5

Das Instrument sollte mit einem guten NF-Verstärker (15 bis 25 W Sinusdauertonleistung) ausgestattet werden (Nachhall möglichst im Verstärker eingebaut).

#### *Registerdisposition*

linke Hand, Baßteil:		rechte Hand, Diskantteil:	
Prinzipal	8'	Prinzipal	8'
Flöte	8'	Flöte	8'

Oktave	4'		
Streicher	4'		
Oktave	2'	Streicher	8'
Viola	2'	Trompete	8'
		Oktave	4'
Pedal:		Gamba	4'
Baß	16'	Quinte	2 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> '
Trompete	16'	Spitzflöte	2'
Oktavbaß	8'	Pikkolo	2'

Wichtiger als die Namen der Register sind ihre Anzahl je Fußlage. Unter Wegfall der Registernamen benutzt man folgende Bezeichnungen: 16'1, 16'2, 8'1, 8'2, 8'3, 8'4 usw. Die Registernamen sollen vor allem den Klangcharakter der Register kennzeichnen.

## 15.2. Bauplanung für ein 2manualiges Polyphon

Klavatur:	2manualig mit versetzten Klaviaturen, Manual I von C bis h <sup>2</sup> , Manual II von c bis h <sup>3</sup> — Anschluß für Baßpedal vorgesehen (13tönig von C bis c, 16', 8', 4') Sustainstufen für Zupfbaß (Töne C <sub>1</sub> bis C)
Generatorsatz:	7 Oktaven Tonumfang von C <sub>1</sub> bis h <sup>4</sup>
Chöre:	16', 8', 4', 2 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> ', 2' für beide Manuale
Frequenz- und Amplitudenvibrato:	Stärke und Frequenz regelbar
Lautstärke- regelung:	für Pedal und Sustain (Zupfbaß 16'), Balanceregler für I. und II. Manual (Drehknopf), Gesamtlautstärke durch Fußschweller regelbar
Perkussion:	für das II. Manual, monophon
Gehäuse:	Ausführung nach Bild 12.3 (transportabel)

An das Instrument ist ein NF-Verstärker mit eingebauter Halleinrichtung anzuschließen (Sinusdauertonleistung etwa 15 bis 25 W).

### *Registerdisposition*

Untermanual:		Obermanual:		Pedal:	
Bordun	16'	Weit-		Zupfbaß	16'
Prinzipal	16'	prinzipal	16'	Subbaß	16'
Baßflöte	8'	Rankett	16'	Prinzipal-	
Prinzipal	8'	Flöte	8'	baß	16'
Gedackt	8'	Prinzipal	8'	Oktavbaß	8'
Flöte	4'	Klarinette	8'	Trompete	8'
Gamba	4'	Oboe	8'	Baßflöte	4'
Quinte	2 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> '	Solo-			
Oktave	2'	trompete	8'		
Viola	2'	Oktave	4'		
		Prinzipal	4'		
		Nasat	2 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> '		
		Kornett	2'		
		Prinzipal	2'		

### **15.3. Vorschlag für den Aufbau einer elektronischen Orgel mit 2 Manualen und Pedal**

Das Instrument eignet sich als Heimorgel für den stationären Betrieb, für Kulturräume und Säle. Es können Unterhaltungsmusik und Tanzrhythmen, bedingt auch klassische Werke gespielt werden.

Klavatur:	Manuale je 5 Oktaven von C bis h <sup>3</sup> (je 60 Tasten),
	Pedal 2 Oktaven von C bis c <sup>1</sup> (25 Tasten)
Generatorsatz:	8 Oktaven Tonumfang von C <sub>1</sub> bis h <sup>5</sup>
Chöre:	16', 8', 5 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> ', 4', 2 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> ', 2', 1 <sup>3</sup> / <sub>5</sub> ', 1 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> ', 1' für beide Manuale, Pedal 16', 8', 4', 2'
Effekte:	Nachhall, Sustain (25 Tasten im Pedal, im II. Manual von c <sup>1</sup> bis h <sup>3</sup> ), Amplituden- und Frequenzvibrato einstellbar, Perkussion im II. Manual (monophon), Schwellen für II. Manual,

Schweller für Gesamtlautstärke  
(Lautstärke Pedal und Manual I  
durch Drehregler)

*Registerdisposition*

Manual I:		Manual II:		Pedal:	
Bordun	16'	Weit-		Zupf-	
Prinzipal	16'	prinzipal	16'	baß	16' + 8'
Cello	16'	Dulzian	16'	Subbaß	16'
Baßflöte	8'	Klarinette	8'	Prinzipal	16'
Prinzipal	8'	Flöte	8'	Posaune	16'
Gedackt	8'	Prinzipal	8'	Oktavbaß	8'
Nasat	5 $\frac{1}{3}$ '	Streicher	8'	Gedackt	8'
Flöte	4'	Schalmei	8'	Baßflöte	4'
Prinzipal	4'	Trompete	8'	Flachflöte	2'
Quinte	2 $\frac{2}{3}$ '	Quinte	5 $\frac{1}{3}$ '	Rausch-	
Oktave	2'	Prinzipal	4'	pfeife	2fach
Viola	2'	Rohrflöte	4'		
Terzflöte	1 $\frac{3}{5}$ '	Prinzipal	2'		
Quinte	1 $\frac{1}{3}$ '	Rohrflöte	2'		
Superoktave	1'	Nasat	2 $\frac{2}{3}$ '		
Mixtur	2fach	Terzian	1 $\frac{3}{5}$ '		
Mixtur	4fach	Quinte	1 $\frac{1}{3}$ '		
		Flöte	1'		
		Pikkolo	1'		
		Mixtur	2fach		
		Scharfmixtur			

3 feste Klangkombinationen jeweils auf alle 3 Tastenebenen abgestimmt: I. weiche Klangfarbe, II. schärfere helle Klangfarbe, III. Tutti

Für die Registernamen können andere Bezeichnungen verwendet werden. Die Namen charakterisieren die Klangfarben der Register.

Das Gehäuse kann man nach den in Bild 9.39 und Bild 12.7 gezeigten Gehäuseformen gestalten. Als Verstärker wird eine Ausführung entsprechend dem Verstärker *Regent 60*, möglichst aber mit Transistoren bestückt, vorgeschlagen.

## 15.4. Instrument mit 3 und mehr Manualen

Gegenwärtig werden von der Industrie Instrumente mit 3, maximal 4 Manualen gebaut. Jedes Manual hat 60 Tasten, das Pedal zählt 30 Tasten. Von Amateuren wurden auch schon elektronische Orgeln mit 5 Manualen ausgestattet. Solche Instrumente haben vor allem als Übungsinstrumente für Konzertorganisten und für Liebhaber Bedeutung.

Die von der Industrie gefertigten 3manualigen Instrumente werden z. B. als Theater-Modelle angeboten (siehe Bild 12.8). Am Aufstellungsort einer derartigen Orgel, z. B. in einem Konzertsaal, baut man bisweilen Schallgitter ein, die eine große Wandfläche ausfüllen. Dahinter befinden sich Schallwände mit aufwendigen Lautsprecherkombinationen (mehrkanalige Tonabstrahlung). An die Instrumente müssen in diesem Fall zusätzliche Verstärker mit insgesamt mehreren 100 W Ausgangsleistung je nach der Größe des zu beschallenden Raumes angeschlossen werden. Einen normal großen Saal kann man mit den Lautsprechern, die im Spieltisch eingebaut sind (Verstärker bis 120 W Sinusdauer-tonleistung), beschallen.

In 3manualige Instrumente für Hausmusikfreunde werden Verstärker bis zu 30 W Sinusdauer-tonleistung installiert. Die Aufstellung eines derartigen Instruments lohnt sich aber nur in sehr großen Wohnräumen oder Dielen, da in kleinen Räumen das Klang- und Lautstärkevolumen nicht zur Geltung kommt.

Zusammenstellung von Daten und Registerdisposition einer Elektronenorgel mit 3 Manualen und Vollpedal:

Klaviatur:	Manuale je 5 Oktaven von C bis $h^3$ , Pedal 30 Tasten von C bis $f^1$
Generatorsatz:	8 Oktaven Tonumfang von $C_1$ bis $h^5$
Effekte:	siehe Abschnitt 15.3. (Fußschweller können für die Manuale II und III vorgesehen sein). Die genannten Effekte verteilen sich auf die beiden Obermanuale oder sind umschaltbar

bzw. einblendbar für die einzelnen  
Manualkastenebenen

Register :

Die meisten Instrumente sind mit einer größeren Zahl von Tastenkontakten bestückbar, so daß auf Wunsch mehr oder weniger viele Chöre eingebaut werden können. Die folgende Registerdisposition stellt den *Normalfall* einer Registerzusammenstellung dar :

Obermanual		Mittelmanual		Untermanual	
Rohrflöte	16'	Weit-		Bordun	16'
Prinzipal	16'	prinzipal	16'	Prinzipal	16'
Krumm-		Fagott	16'	Cello	16'
horn	8'	Rohrflöte	8'	Holzflöte	8'
Prinzipal	8'	Prinzipal	8'	Prinzipal	8'
Klarinette	8'	Gemshorn	8'	Gedackt	8'
Trompete	8'	Flöte	4'	Nasat	5 $\frac{1}{3}$ '
Querflöte	4'	Prinzipal	4'	Oktave	4'
Bach-		Nasat	2 $\frac{2}{3}$ '	Quinte	2 $\frac{2}{3}$ '
trompete	4'	Prinzipal	2'	Oktave	2'
Gems-		Flachflöte	2'	Terzflöte	1 $\frac{3}{5}$ '
quinte	2 $\frac{2}{3}$ '	Terz	1 $\frac{3}{5}$ '	Quinte	1 $\frac{1}{3}$ '
Oktave	2'	Oberquinte	1 $\frac{1}{3}$ '	Oktävlein	1'
Flöte	2'	Nachthorn	1'	None	$\frac{8}{9}$ '
Terzflöte	1 $\frac{3}{5}$ '	Quarte	$\frac{8}{11}$ '	Mixtur	4'
Rohrquinte	1 $\frac{1}{3}$ '	Mixtur	2fach		
Bauern-		(Zimbel)			
pfeife	1'	Mixtur	4fach		
Sexte	$\frac{16}{27}$ '				
Mollterz	$\frac{16}{19}$ '				
Mixtur	3fach				
Mixtur					
	6fach scharf				

Die Mixturregister entsprechen festen Klangkombinationen.

Mehrmanualige Instrumente bieten die Möglichkeit, Klangvariationen häufiger vorzunehmen, ein ausdrucksvolles Spiel wird erleichtert.



Bei so großen elektronischen Instrumenten ist eine deutliche Ähnlichkeit mit dem Aufbau der Spieltische großer Konzert-Pfeifenorgeln festzustellen. Der innere Aufbau der Instrumente ist grundverschieden, aber ihre Bedienungsweisen wurden einander weitestgehend angenähert.

## **16. Bauvorschlag für ein klangschönes Polyphon**

Der Bauvorschlag enthält mehrere Ausführungsarten zur Auswahl. Die Daten der einzelnen Varianten sind in Tabelle 16.1. (s. Seite 47) zusammengefaßt. Die Instrumente der Typenreihe A (A/1, A/2 und A/3) wurden mit einem Manual, die B-Typen (B/1, B/2 und B/3) mit 2 gegeneinander versetzten Manualen ausgestattet.

Die Modelle A/2 und B/2 stellen jeweils die Grundtypen dar, während die Instrumente A/3 und B/3 reichhaltiger und die Instrumente A/1 und B/1 weniger aufwendig als die Grundtypen aufgebaut sind.

Die Modelle A/2 und B/2 weisen je 13 Pedaltasten auf, die Typen A/3 und B/3 haben je 25 Pedaltasten (näheres folgt in Abschnitt 16.2.). Der Amateur kann weitere Veränderungen planen und in seine Bauunterlagen einarbeiten. Zum Beispiel ließe sich die elektronische Orgel B/3 auf 2 volle Manuale zu je 60 Tasten erweitern, so daß auch klassische Orgelkompositionen ohne Einschränkungen gespielt werden könnten. Die zum Nachbau vorgeschlagenen Schaltungen und mechanischen Konstruktionen haben sich in ihrer relativ einfachen Form mehrfach bewährt.

### **16.1. Leistungsvermögen der Grundtypen und ihrer Varianten**

Die Instrumente der B-Gruppe (siehe Tabelle 16.1.) mit 2 gegeneinander versetzten Klaviaturen bieten gegenüber den Instrumenten der Gruppe A bessere klangliche Ausdrucksmöglichkeiten. Jedoch darf der größere Arbeitsaufwand für den Bau eines Polyphons der Gruppe B gegenüber einem Instrument der gleichen Variante der Gruppe A nicht übersehen werden.

Die am einfachsten ausgeführten Instrumente A/1 und B/1 eignen sich als Hausmusikinstrumente vorwiegend für Tanz- und Unterhaltungsmusik, während die Modelle A/2 und B/2 (Grundtypen) für Tanzorchester und bedingt auch für die Wiedergabe klassischer Orgelmusik einsetzbar sind.

Die Instrumente A/3 und B/3 mit der umfangreichsten Ausstattung ermöglichen fast alle Orgel-Kompositionen zu interpretieren. Bei Wiedergabe von Konzert-Orgelmusik müßten allerdings die Manuale auf je 5 Oktaven Tastenumfang erweitert werden.

Die elektronischen Baugruppen aller Modelle sind gleichzeitig aufgebaut. Unterschiede bestehen im Umfang der Generator- und Tastenkontaktsätze, der Klangformungsteile (Anzahl der Register und Effektschaltungen) sowie der Vor- und Endverstärker.

Davon hängen verschiedene Veränderungen in den Abmessungen und bei der Gestaltung des Spieltisches ab. Außerdem kann man sich auf eine der Schaltungsvarianten z. B. der Muttergeneratoren und der Teilerstufen festlegen.

Die Anzahl der Register nach Tabelle 16.2. muß nicht unbedingt eingehalten werden. Wenn z. B. im 1'-Chor oder im 4'-Chor nur ein Register vorgesehen ist, kann man auch je 2 Register (eine dunklere und eine helle Klangfarbe) einbauen. Bei nur einem Register werden bei den tiefer klingenden Fußlagen dunklere und bei den hohen Fußlagen (2', 1') helle Stimmen gewählt (Filterschaltungen entsprechend bemessen). Es ist aber auch möglich, die Register regelbar auszuführen, um die Klangfarbe verändern zu können. Dazu eignen sich Filter nach Bild 16.1. Chöre mit gebrochenen Fußlagen ( $2^2/3'$ ,  $1^1/3'$  usw.) erhalten fast ausnahmslos jeweils nur ein Register.

## 16.2. Technische Daten und Dispositionen

Tabelle 16.1. enthält die wichtigsten Parameter der einzelnen Modelle. Einige Beispiele für den prinzipiellen Spieltischaufbau der Instrumente der Gruppen A und B zeigen

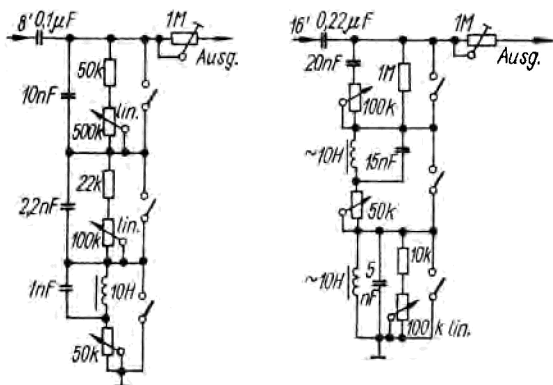


Bild 16.1 Ausführungsmöglichkeiten von Filtern mit regelbarem Klangcharakter

Bild 16.10 und Bild 16.11. Aus Tabelle 16.2. gehen die Registerdispositionen für alle A- und B-Typen hervor.

Die Filterschaltungen (Register in verschiedenen Fußlagen) bemißt man zweckmäßig entsprechend der angegebenen Beispiele (siehe Bild 9.19 bis Bild 9.22, Bild 9.29, Bild 9.32 bis 9.34 in Teil 2 und Bild 10.21 bis Bild 10.23 in Teil 3 sowie Abschnitt 10.4.5. in Teil 3).

Alle Filterschaltungen lassen sich verändern, bis der Klang der Register wunschgerecht ausfällt. In Klangformungsteilen (Registerschaltungen) kann man experimentieren, ohne daß Bauelemente (z. B. Transistoren) überlastet werden. Eine Ausnahme bilden aktive Filter, in denen sich Transistoren zur Signalverstärkung oder zu Anpassungszwecken befinden (TO 200/5). Die von den Filtern hervorgerufenen Spannungsverluste dürfen außerdem nicht zu groß werden. In diesem Fall wäre eine höhere Nachverstärkung erforderlich, die zu einem ungünstigen Nutz-/Störspannungsverhältnis führt. Zu diesen Erkenntnissen gelangt man beim Experimentieren mit Filterschaltungen sehr schnell.





Die Filter der elektronischen Orgel K1 (Bild 10.21 bis Bild 10.23) ergaben ein sehr schönes Klangbild, es sind zahlreiche klangcharakteristische Soloregister (besonders im 8'-Chor) vorhanden. Diese Filterschaltungen können beim Selbstbau eines Instruments unverändert übernommen werden.

Die Kombinationsfilter z. B. für den 8'- und 4'-Chor usw. kann man auf die in den Modellen A/1 bis A/3 und B/1 bis B/3 vorgeschlagenen Registerzahlen nach Bild 16.2 reduzieren. Dann müßten allerdings die R- und C-Werte verändert werden, wenn der Klangcharakter der einzelnen Register nicht mehr den eigenen Vorstellungen entspricht. Die Schaltungsart der Kombinationsfilter (Bild 10.21 bis Bild 10.23) führt zu einer geringen Gesamtdämpfung, so daß man diesen Filteraufbau für Selbstbauinstrumente empfehlen kann. Interessant ist auch die Schaltungstechnik zur

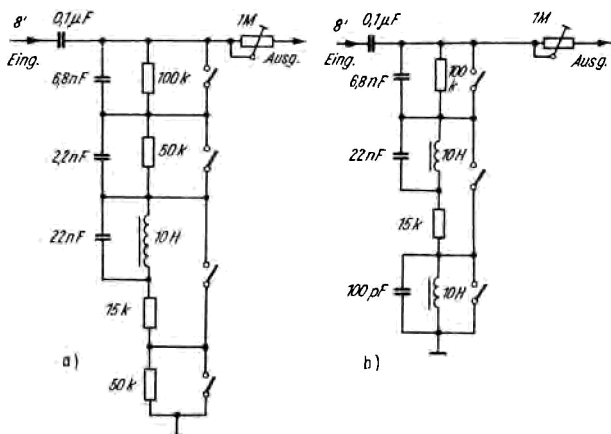


Bild 16.2 Beispiel für die Abänderung eines Kombinationsfilters; a - Originalausführung des 8'-Filters im Instrument K1 (Manual I), b - verändertes Kombinationsfilter nach Bild 16.2a zum Einbau in die Modelle A (Diskantbereiche), B/1 (Manual II) oder B/2 und B/3 (Manuale I bzw. II)

Bildung der Kombinationsregister (Mixturen, Zimbel, Kornett und Scharf).

### **16.3. Übersichtsschaltpläne**

Eine Übersicht vom schaltungstechnischen Gesamtaufbau der Modelle der Gruppen A und B vermitteln die Übersichtsschaltpläne Bild 16.3 bis Bild 16.8.

Die gestrichelt gezeichneten Baugruppen können wahlweise eingebaut, auf Wunsch aber auch weggelassen werden (siehe dazu die Anmerkung in Tabelle 16.1.).

Veränderungen am Gesamtaufbau der Instrumente, z. B. durch Weglassen oder Hinzufügen von Effektschaltungen oder durch Erweitern anderer Baugruppen, sind möglich, so daß eine Instrumentenvariante entsteht, die mit keiner der angegebenen identisch ist. Dazu muß sich der Amateur ausreichend mit dem Stoff in Teil 1 bis Teil 3 beschäftigen und die notwendige Übersicht gewonnen haben.

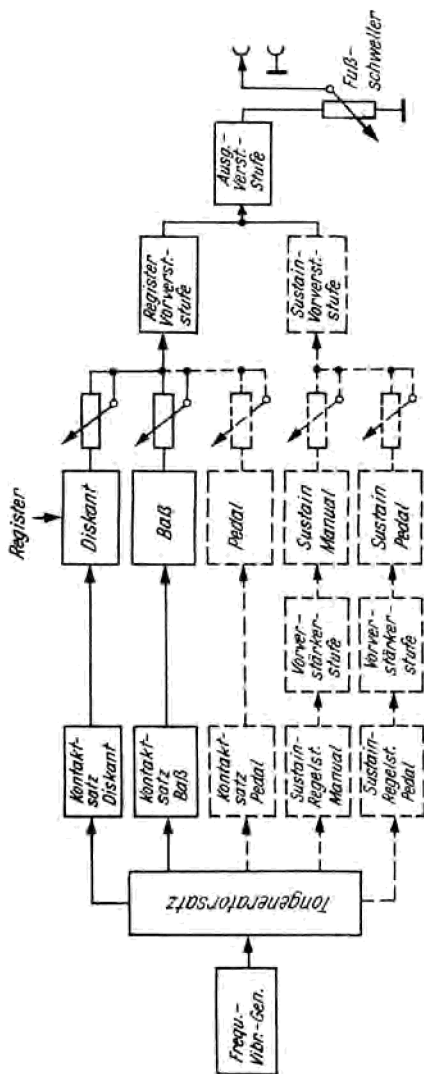
### **16.4. Schema des mechanischen Gesamtaufbaus der Instrumententypen A und B**

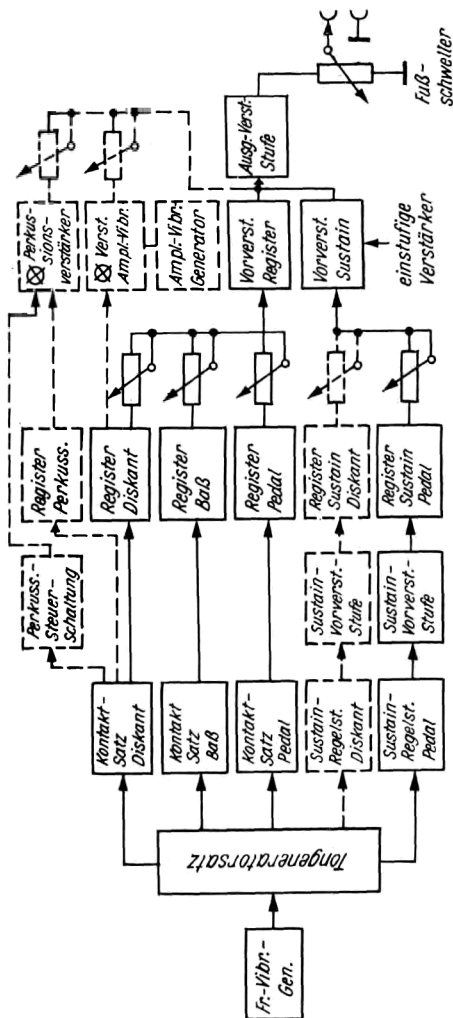
Die Gehäuseformen können dem persönlichen Geschmack und dem Verwendungszweck der Modelle entsprechend ausgewählt werden.

Die A-Typen mit einem Manual sind für transportable Ausführungen geeignet. Man wird Gehäusekonstruktionen nach Bild 3.2 oder Bild 9.10 (Teil 1 und Teil 2) wählen.

Die Modelle der B-Typen mit 2 gegeneinander versetzten Manualen lassen sich bei konsequenter Verwendung von Miniaturbauelementen ebenfalls transportabel als Standgeräte aufbauen (Bild 12.3). Die Abmessungen für die Tasten der Manuale und des Pedals gehen aus Bild 16.9 hervor. Bild 16.10 und Bild 16.11 sowie Bild 9.37 und Bild 9.39 (Teil 2) zeigen schematisch den inneren Gesamtaufbau von Spieltischen verschiedener Instrumente. Die Anordnung der







**Bild 16.4 Übersichtsschaltplan Modell A/2**

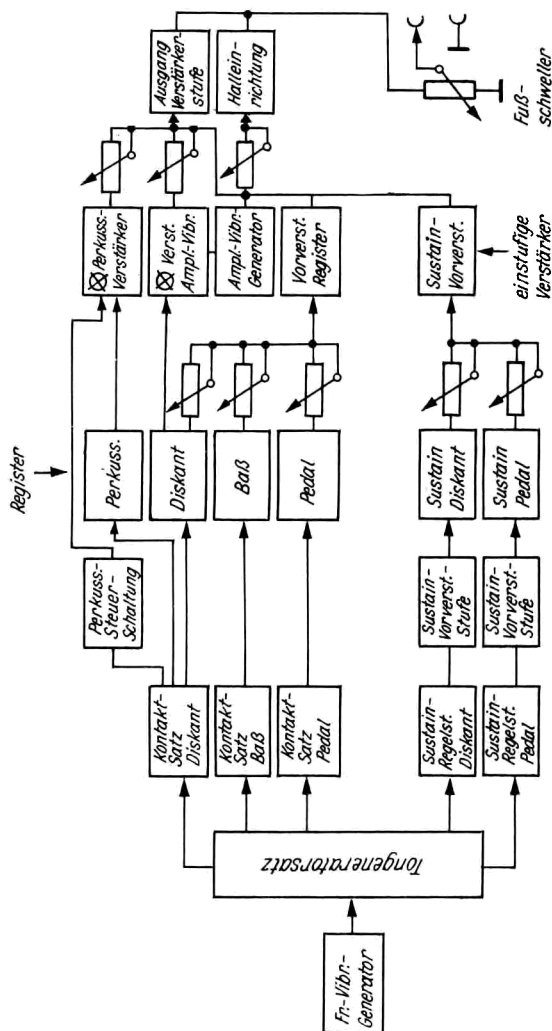


Bild 16.5 Übersichtsschaltplan Modell A/3

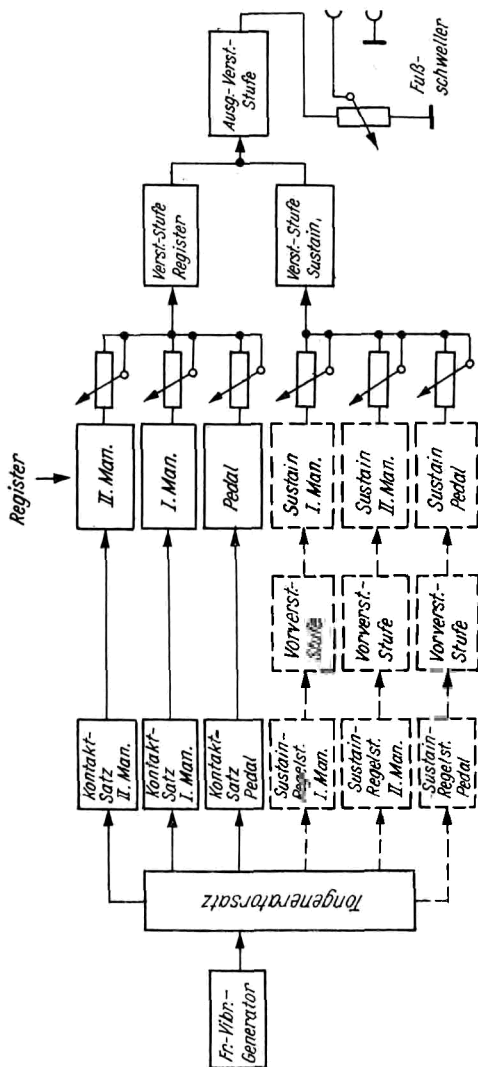


Bild 16.6 Übersichtsschaltplan Modell B/1

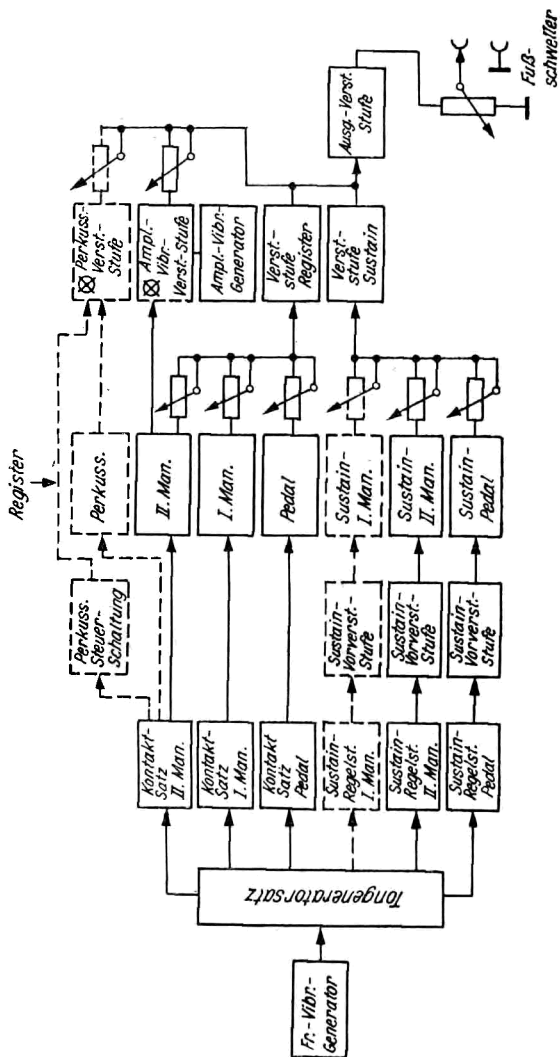


Bild 16.7 Übersichtsschaltplan Modell B/2

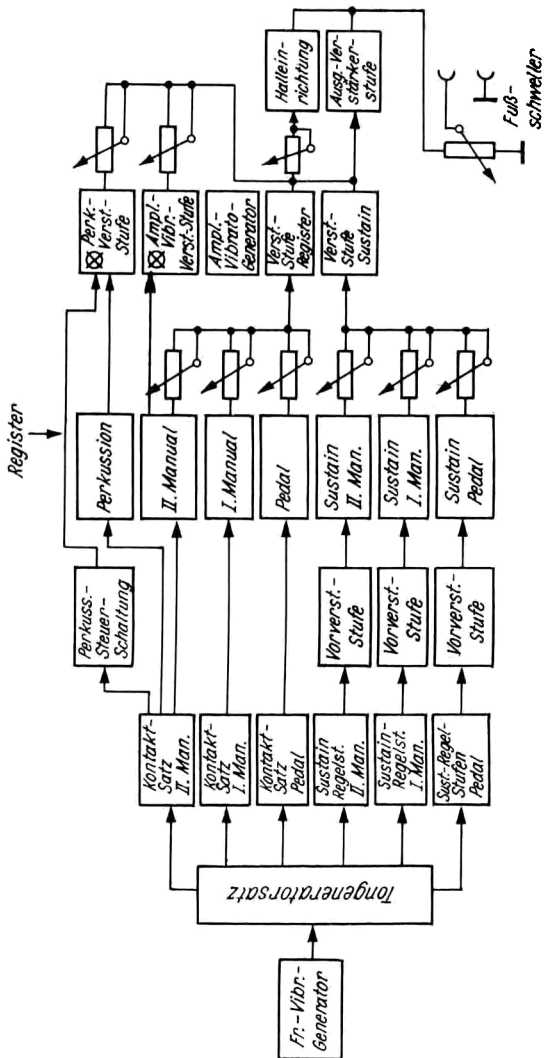


Bild 16.8 Übersichtsschaltplan Modell B/3

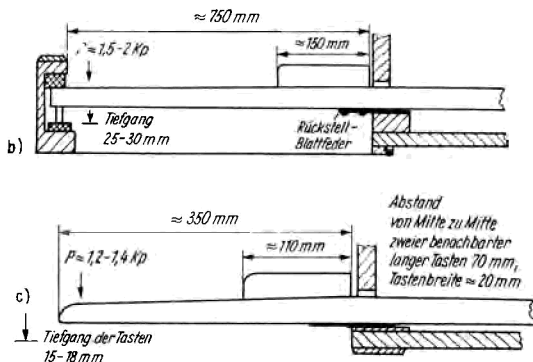
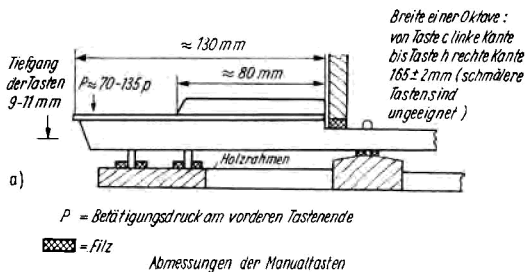


Bild 16.9 Hauptabmessungen der Manual- und Pedaltasten; a – Manual-  
tasten, b – normales Orgelpedal (Rahmenaufbau), c – verkürz-  
tes Pedal z. B. für Polyphone (Stummelpedal, frei aus dem  
Spieltisch oder dem Pedalzusatz herausragende Tasten). Die  
Länge der in den Spieltisch hineinragenden Tastenenden wird  
so bemessen, daß der für die Betätigung der Tastenkontakte er-  
forderliche Hub (etwa 6 bis 7 mm) mit Sicherheit erreicht wird

Bedienungselemente nach Bild 9.39 hat sich gut bewährt.  
Anregungen für die Konstruktion von Pedalbaueinheiten  
vermittelt Bild 16.12. Weitere Hinweise folgen in den An-  
leitungen zum Bau der Tastenkontakte, die auch beim Pe-  
daleinbau gebraucht werden.

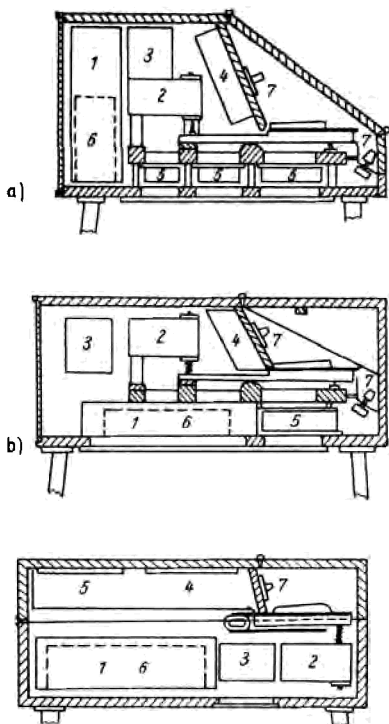


Bild 16.10 Beispiele für den prinzipiellen inneren Aufbau der Instrumente A/1 bis A/3 (schematisierte Darstellung); 1 - Generatorsatz, 2 - Tastenkontaktsatz, 3 - Sustainregelstufen, 4 - Klangformungsteil (Registerfilter), 5 - Vorverstärkerstufen und Klangeffektschaltungen, 6 - Netzteil (jeweils rechts von der Klaviatur), 7 - Bedienungselemente (Schalter, Regler)

Bevor man mit der Konstruktion eines Selbstbauinstruments beginnen kann, müssen die Klaviaturen zur Verfügung stehen. Ihre Abmessungen und Ausführung sind für den Gesamtaufbau, insbesondere für die Konstruktion der Tastenkontaktsätze, eines Instruments ausschlaggebend.



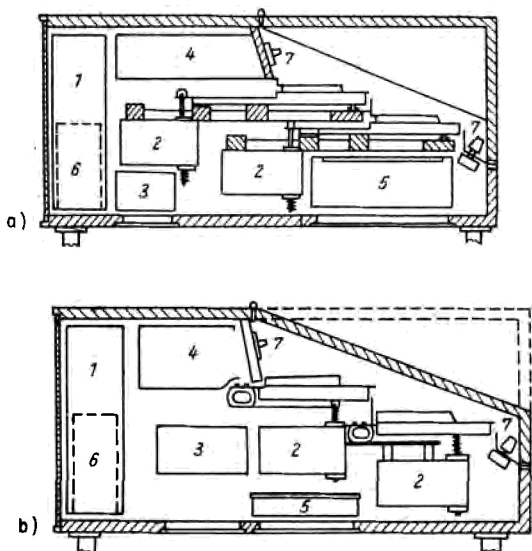


Bild 16.11 Beispiele für den inneren Aufbau der Instrumente B/1 bis B/3 (schematisch). Bezifferung der Baugruppen wie in Bild 16.10

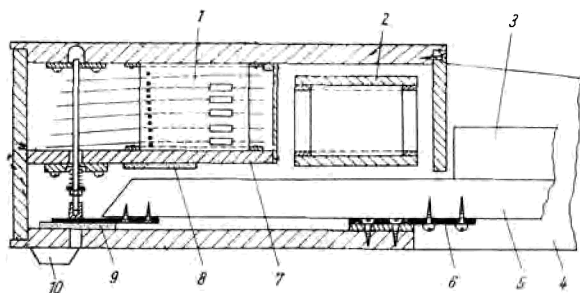


Bild 16.12 Beispiel für den Aufbau eines Pedalzusatzes (nach gleichem Prinzip kann ein Pedal in den Spieltisch eines Polyphons eingebaut werden); 1 - Kontaktträgerplatte, 2 - Sustainregelstufen, 3 - schwarze Pedaltaste, 4 - Seitenbrett, 5 - lange (weiße) Pedaltaste, 6 - Federstahlblech, 7 - verzinktes Bodenbrett, 8 - Filzanschlag für die Tasten, 9 - Filzunterlage, 10 - Gummifuß

## 17. Bauanleitungen

Für jede Baugruppe gibt es meistens mehrere Aufbau- bzw. Schaltungsvarianten. Sie wurden in Teil 2 und Teil 3 gezeigt und erläutert. Die mechanischen Abmessungen der Platinen lassen sich durch andere (z. B. stehende) Anordnung der Bauelemente noch verkleinern. Gedruckte Leiterplatten kommen in den Bauvorschlägen nicht zur Anwendung, jedoch sind Beispiele aus industriell gefertigten Instrumenten beigelegt (siehe Abschnitt 21.). Amateure, die gedruckte Platinen anfertigen wollen, können ihre Leiterplatten in Anlehnung an diese Beispiele entwerfen.

Aus Platzgründen ist es in Teil 4 nicht möglich, umfassende Bauunterlagen zu den einzelnen Aufbauvarianten der Instrumente darzustellen oder im Druck zu veröffentlichen. Für den Praktiker werden aber wichtige Hinweise gegeben, konstruktive Lösungswege aufgezeigt und Erfahrungswerte vermittelt. Damit stehen dem Amateur alle Wege offen, sein Instrument nach eigenen Vorstellungen zu entwerfen. Die spezifischen zeichnerischen Unterlagen für den Bau eines Instruments und zur Anfertigung der einzelnen Baugruppen müssen in jedem Fall selbst erarbeitet werden. Am wichtigsten ist die Aufrißzeichnung des geplanten Instruments im Maßstab 1 : 1 etwa nach Bild 9.39. Weitere Aufrisse (Schnittzeichnungen) sollten die Platzverhältnisse bezüglich der Breite des Spieltisches genau darstellen.

Gewünschte Änderungen werden sich vorwiegend auf mechanische Details der Baugruppen und des Gesamtinstruments beziehen (Abmessungen von Baugruppen, ihre Anordnung im Spieltisch oder Lage von Bauelementen innerhalb einzelner Bausteine). Setzt man andere oder abgewandelte Schaltungen ein, ist es ratsam, erst Vorversuche auszuführen. Beim Neuentwurf der Verdrahtung und Bestückung von Platinen muß beachtet werden, daß die Aus-

gänge, z. B. von Verstärkerstufen, nicht auf die Eingänge „wild koppeln“ (siehe auch Ausführungen in Abschnitt 17.8. über die Inbetriebnahme eines Instruments).

## 17.1. Generatorsatz

Die Hauptoszillatoren werden oft mit Schwingkreisen aufgebaut. Eine gute Frequenzstabilität läßt sich durch Temperaturkompensation (Kondensatoren) erreichen. Beim Einbau stabiler Multivibratoren als Muttergeneratoren, die leichter als LC-Generatoren aufzubauen sind, sollte folgendes beachtet werden:

Bei Germaniumtransistoren (z. B. GC 116) benutzt man für etwa  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  des jeweiligen Gesamtkapazitätswertes der beiden frequenzbestimmenden Kondensatoren Polystyrolkondensatoren (KS-Kondensatoren z. B. TGL 5155, TK<sub>c</sub> etwa  $-150 \cdot 10^{-6}$ ). Die Restkapazität wird aus Silkatrop- oder Polyesterkondensatoren (z. B. der Typen KT III) zusammengesetzt. Günstig sind auch Duroplastkondensatoren, sie werden aber nicht mehr gefertigt. Außerdem ist eine künstliche Alterung der kompletten Generatorplatinen vorteilhaft, indem man sie mehrmals auf etwa 50 °C erhitzt und zwischendurch im Kühlschrank möglichst tief abkühlt.

Die in dieser Weise angefertigten Versuchsmuster zeigten eine gute Frequenzkonstanz im Temperaturbereich zwischen 10 °C und 25 °C. Da dieses Ergebnis nur für Instrumente ausreicht, die ständig in geheizten Räumen stehen, wurden die Muttergeneratoren der elektronischen Orgeln K2/3 und K4 (siehe Teil 1 und Teil 2) in Thermostatenkammern untergebracht. Dieser Aufwand ist nicht notwendig, wenn die Muttergeneratoren nach Bild 17.1a oder Bild 21.2 mit Siliziumtransistoren bestückt werden. Eventuelle Mehrkosten sollte man unbedingt hinnehmen, denn in der Tonhöhe (Frequenz) instabile Steuergeneratoren bereiten viel Ärger und Verdruß, wenn das elektronische Polyphon z. B. mit anderen Instrumenten eingesetzt wird.

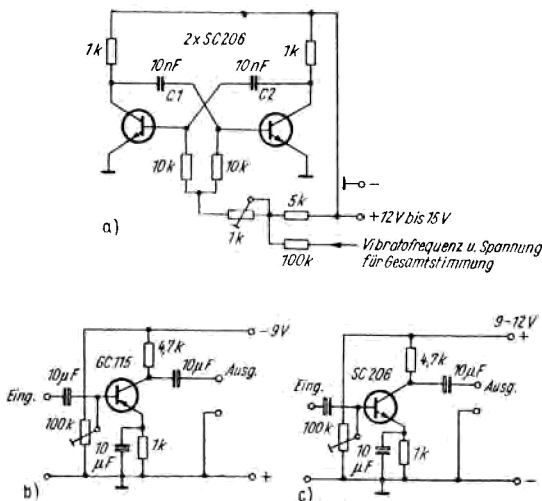


Bild 17.1 Schaltungsveränderungen beim Austausch von pnp-Germaniumtransistoren gegen npn-Siliziumtransistoren; a - Muttergenerator nach Bild 8.3 mit Siliziumtransistoren SC 206 bestückt (Polung der Betriebsspannung beachten), b - Vorverstärker mit Germanium-pnp-Transistor, c - veränderte Verstärkerstufe nach Bild 17.1b (der pnp-Germaniumtransistor wurde durch einen npn-Siliziumtransistor ersetzt). Man beachte die Polung der Speisespannung und der Bauelemente

Tabelle 17.1. enthält die in der Praxis ermittelten Kapazitätswerte für die frequenzbestimmenden Kondensatoren der Multivibratormuttergeneratoren. Beim Feinabgleich wurden die Werte teilweise noch um etwa  $\pm 1$  nF verändert. Man erkennt, daß sich die Kapazitätswerte nicht immer analog der Frequenz ändern. Das ist auf Exemplarstreuungen der Transistoren und auf Toleranzen der Bauelemente zurückzuführen (siehe Abschnitt 17.1.1.).

Die Betriebsspannung der Muttergeneratoren kann bei Siliziumtransistoren (z. B. SC 206) von 12 auf etwa 15 V erhöht werden. Damit muß man auch die Spannung für die Gesamtstimmung auf etwa 20 V anheben. Außerdem ändern sich die Werte für die frequenzbestimmenden Kon-

Tabelle 17.1. Werte der frequenzbestimmenden Kondensatoren der Muttergeneratoren

Germanium-pnp-Transistoren $2 \times GC 116$ , $U_b = 12 V$				Bestückung ( $U_b = 12 V$ )			$2 \times GC 116$ pap		$2 \times SC 206$ npa	
Ton	Frequenz in Hz	C1	C2	Ton	Frequenz in Hz		C1	C2	C1	C2
c <sup>s</sup>	4186,0	10	10	c <sup>4</sup>	2093,0		20	22	22	25
cis <sup>s</sup>	4435,2	10	10	cis <sup>4</sup>	2217,6		20	20	25	25
d <sup>s</sup>	4699,2	10	8	d <sup>4</sup>	2349,6		20	15	20	25
dis <sup>s</sup>	4978,4	10	8	dis <sup>4</sup>	2489,2		20	17	22	20
e <sup>s</sup>	5247,9	8	8	e <sup>4</sup>	2637,2		18	15	22	20
f <sup>s</sup>	5587,2	10	8	f <sup>4</sup>	2793,6		15	16	22	20
fis <sup>s</sup>	5920,0	8	6,5	fis <sup>4</sup>	2960,0		15	15	18	20
g <sup>s</sup>	6272,0	8	6	g <sup>4</sup>	3136,0		15	15	15	18
gis <sup>s</sup>	6645,6	6	6	gis <sup>4</sup>	3322,8		15	12	15	18
a <sup>s</sup>	7040,0	6	7,2	a <sup>4</sup>	3520,0		15	12	15	16
ais <sup>s</sup>	7459,2	6,8	6	ais <sup>4</sup>	3729,6		12	10	10	15
h <sup>s</sup>	7902,4	6	5	h <sup>4</sup>	3951,2		12	11	10	15

C1 und C2 in nF

densatoren (wichtig bei eventueller Umrüstung von Germanium- auf Siliziumtransistoren). Die Erhöhung der Betriebsspannung führt aber auch zu größerer Frequenzdrift, während sich die Tonausgangsspannungen in der obersten Oktave zum Vorteil erhöhen.

Bild 17.1b und Bild 17.1c zeigen, welche Veränderungen notwendig sind, wenn z. B. in einer Verstärkerstufe an Stelle eines pnp-Germaniumtransistors ein npn-Siliziumtransistor eingebaut wird (*GC 115* ersetzt durch *SC 206*). Die Betriebsspannung und die polarisierten Bauelemente, wie Dioden, Elektrolytkondensatoren u. a. müssen umgepolt werden. Dieses Vorgehen ist in den meisten praktischen Fällen möglich, aber nicht global für alle Schaltungen anwendbar.

Der mechanische Aufbau der Generatorplatinen (Abmessungen, Anzahl der Teilerstufen) wird spezifisch entsprechend der Bauplanung des Instruments vorgenommen (Aufbaubeispiele siehe Bilder 8.5, 8.10, 8.21, 9.6, 9.8, 9.17 in Teil 2 und 10.2, 10.3, 10.7, 10.50, 10.58 in Teil 3 sowie 21.3 und 21.4 in Teil 4).

Schaltungen für Muttergeneratoren und Teilerstufen siehe Bilder 6.14, 8.3, 9.16, 10.1, 10.48, 10.70 und 10.71 (Teil 1 bis Teil 3).

Stehen keine Kleinstübertrager für die Sperrschwinger der Teilerkaskaden zur Verfügung, wählt man bistabile Multivibratoren als Teilerstufen. Die Formen der Ausgangsspannungen der Teiler (Sperrschwinger sägezahnförmig, Multivibratoren rechteckförmig) sind bei der Konzipierung des Klangformungsteils (Register) zu berücksichtigen. Als Beispiele seien die Klangformungsteile bzw. Filterschaltungen der Instrumente K1 (Sägezahngeneratoren) und der TO 200/5 (Rechteckgeneratoren) genannt (Bild 9.9 bis Bild 9.22 in Teil 2 und Bild 10.21 bis Bild 10.23 in Teil 3). In Bild 17.2 sind der Stromlaufplan und der Platinenaufbau eines Teilers (bistabiler Multivibrator) dargestellt.

Gegenüber Sperrschwingerteilern haben Multivibratorteilerstufen besonders beim Selbstbau eines Instruments einige Vorteile. Sie erfordern keinen Abgleich auf die je-

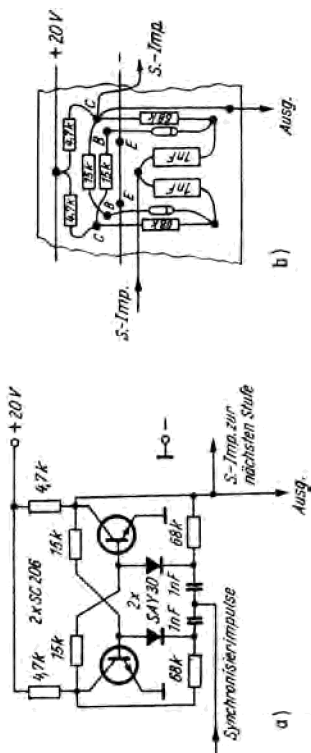


Bild 17.2 Aufbaubeispiel für einen bistabilen Multivibrator als Teilerstufe; a - Stromlaufplan, b - bestückte Lötösenplatine

weilige Tonhöhe. Bei Ausfall einer Teilerstufe innerhalb einer Kaskade werden keine falschen Töne erzeugt, bei fehlenden Synchronisationsimpulsen verstummen die in der Kette jeweils folgenden Multivibratoren. Sperrschwinger schwingen in diesem Fall wild weiter und erzeugen sehr störende röchelnde Töne, wenn das Instrument z. B. während einer Darbietung weitergespielt wird.

Die 12 Muttergeneratoren- und Teilerplatten für die 12

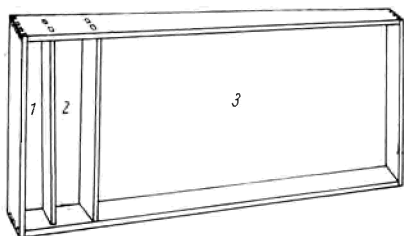
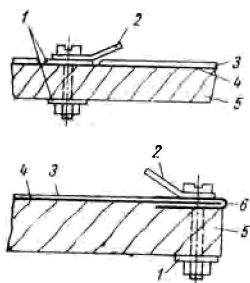


Bild 17.3 Sperrholzrahmen für einen Generatorsatz. Die linke Kammer (1) ist für Heizwiderstände (Thermostat) vorgesehen und kann entfallen, wenn die Muttergeneratoren (2) mit Siliziumtransistoren (siehe Bild 21.2) bestückt werden. Die Kammer (3) nimmt die Teilerstufen (Teilerkaskaden) auf. Durch Aufschrauben von 2 Sperrholz- oder Faserplatten auf den Rahmen entsteht ein Kasten, der, mit Aluminiumfolie belegt, eine Gesamtabschirmung des Generatorsatzes ermöglicht

zu einer Oktave gehörenden Töne baut man in einen Rahmen (Bild 17.3). ein. Dieser Aufbau wird später mit Sperrholz- oder Faserplatten abgedeckt und verschraubt. Auf diese Weise entsteht eine Kastenform, die sich zur Abschirmung sehr gut mit kaschierter Aluminiumfolie bekleben läßt (Bild 17.4).

Alle Generatorausgänge werden, vom tiefsten bis zum höchsten Ton geordnet, auf eine Lötleiste oder auf Steckverbindungen geführt. An dieser Stelle wird später der Generatorsatz mit dem Tastenkontaktsatz bzw. den Sustainerstufen verbunden. Die Betriebsspannungen führt man ebenfalls über eine Lötösenleiste oder eine Steckverbindung zum Generatorsatz. Alle Flächen mit Abschirmfolien sind baugruppenweise untereinander zu verbinden und an Masse zu legen. Die Masseleitungen der einzelnen Baugruppen einschließlich ihrer Abschirmungen werden gemeinsam oder getrennt voneinander an einem zentralen Massepunkt nahe dem Netzteil angeschlossen. Die günstigsten Leitungsführungen und Masseanschlußpunkte sind besonders bei auftretendem „Tonrauschen“ empirisch zu ermitteln (s. Ausführungen in Abschnitt 11., Teil 3 und Abschnitt 17.3.).





**Bild 17.4** Montage der Masseanschlüsse für die Abschirmfolien; 1 – Unterlegscheiben, 2 – Lötöse, 3 – Papierschicht der Abschirmfolie, 4 – Aluminiumschicht der Abschirmfolie, 5 – Sperrholz- oder Faserplatte, 6 – zusätzlich beigelegte Kontaktfolie

In Tabelle 17.2. werden alle wichtigen Arbeitsgänge zur Anfertigung eines Generatorsatzes genannt.

**Tabelle 17.2.** *Die wesentlichsten Arbeitsgänge beim Bau des Generatorsatzes*

1. Bestimmung der Größe, Form und Ausführung des Generatorkastens aus dem Aufriß der Gesamtkonstruktion des Instruments
2. Auswahl der Schaltungen für die Generatoren (Mutteroszillatoren und Teilerstufen)
3. Entwurf der Platinen für Muttergeneratoren und Teilerkaskaden (gedruckte Leiterplatten siehe Abschnitt 21.)
4. Anfertigen des Generatorkastens (s. Bild 17.3)
5. Abschirmen des Generatorkastens mit kaschierter Aluminiumfolie (s. Bild 17.4)
6. Anbringen der Bohrungen für Drahtdurchführungen (analog zu Bild 17.5 und Bild 17.7)
7. Zuschneiden der Platinen für die Generatoren (Kaskaden)
8. Berechnen der Größe von Distanzplättchen und -streifen (Bild 17.7)
9. Zuschneiden und Bohren (Nagellöcher) der Distanzplättchen und -streifen
10. Montieren der Distanzplättchen im Generatorkasten unter Zuhilfenahme der zugeschnittenen Generatorplatinen (Bild 17.7)
11. Herstellen der Lötösenleisten für den Generatorsatz (diese können bei Steckverbindungen eventuell entfallen).
12. Bohren der Generatorplatinen gemäß Bild 8.4 und Bild 8.9 (bei Löt-

ösen) oder Anfertigen der Leiterplatten (bei gedruckter Schaltungstechnik)

Die Lötösenlöcher werden mit Papierschablonen angekörrnt, oder es wird eine einfache Bohrlehre angefertigt.

13. Bestücken der Leiterplatten oder Lötösenplatinen mit mechanischen und elektrischen Bauelementen und Verlöten der Schaltungen nach Stromlaufplan
14. Überprüfen und Eichen der Generatoren (siehe Abschnitt 8.2.1. und Abschnitt 17.1.1.), Frequenzen der Muttergeneratoren grob festlegen (siehe Abschnitt 17.1.1.)

Sperrschwinger als Teilerstufen werden zweckmäßig erst in Betrieb gesetzt, wenn die Tastenkontaktsätze angeschlossen sind (Einlöten der frequenzbestimmenden Kondensatoren). Eine Überprüfung der Schwingfähigkeit der Sperrschwingerteiler vor dem Einbau der Kaskaden ist zu empfehlen (Einlöten von z. B. 20 nF in jeden Teiler). Der Reihe nach legt man an jeden Sperrschwinger versuchsweise die Betriebsspannung an. Der Ausgang des Sperrschwingers wird an den TA-Eingang eines Rundfunkempfängers gelegt und abgehört. Da die Sperrschwinger in diesem Fall noch nicht synchronisiert werden, schwingen sie nicht stabil, sie müssen aber grundsätzlich Tonfrequenzspannung abgeben.

Wurden als Teilerstufen bistabile Multivibratoren eingebaut, kann die Funktionsfähigkeit jeder Kaskade vollständig überprüft werden.

15. Einbau der Platinen in den Generatorkasten (s. Bild 9.45, Teil 2)  
Zuerst werden die Befestigungselemente angebracht. Bölzen, die durch alle Platinen und den Generatorkasten hindurchgehen und die Platinen durch Distanzhülsen auf Abstand halten, sind anzuziehen. Zweckmäßiger ist es, auf durchgehende Bolzen zu verzichten, um jede Platine einzeln aus dem Generatorkasten herausnehmen zu können. Die Verdrahtungsarbeiten sollen dementsprechend ausgeführt werden. Als Vorbild kann der Generatorkasten der TO 200/5 dienen.
  16. Stromversorgungsleitungen und Tonausgangsleitungen an die Lötleisten oder an die Steckverbindungen anschließen, Verdrahtungsarbeiten im Inneren des Generatorkastens je nach Konstruktion der Platinen vornehmen
- 

### *Zusammenfassung*

Für den Selbstbau von elektronischen Orgeln sind Muttergeneratoren mit Siliziumtransistoren in Form astabiler Multivibratoren und als bistabile Multivibratoren ausgeführte Frequenzteiler am besten geeignet. Der Generatorsatz wird somit — die Hauptgeneratoren ausgenommen — prinzipiell entsprechend dem Generatorsatz der TO 200/5 aufgebaut. Die Anzahl der Teilerstufen bzw. die Tonlagen

der Muttergeneratoren können je nach Modell (vorgesehener klingender Tonumfang) verändert werden. Beim Entwurf des Klangformungsteils (Registerfilter) sind die rechteckförmigen Tonfrequenzspannungen der Generatoren zu berücksichtigen. Näheres dazu siehe Abschnitt 17.3.

### 17.1.1. Frequenzabgleich der Generatoren

Tabelle 17.1. enthält Richtwerte für die Größe der frequenzbestimmenden Kondensatoren der Muttergeneratoren (Multivibratoren). Am einfachsten lassen sich die Hauptoszillatoren einstimmen, wenn man zunächst alle Multivibratoren wie folgt mit Kondensatoren bestückt. Liegen z. B. die Kapazitätswerte für  $C_1 = C_2$  zwischen etwa 12 nF (tiefster Ton) und etwa 4 nF (höchster Ton), werden jeweils 3 Platinen mit 10 nF-, 8 nF-, 6 nF- und 4 nF-Kondensatoren bestückt. Die von den gleichbestückten Platinen abgegebenen Tonfrequenzen unterscheiden sich durch die Toleranzen der elektrischen Werte der Bauelemente (besonders Basteltransistoren).

Fast immer erhält man mit den gleichbestückten Gruppen mehrere der benötigten Tonfrequenzen innerhalb des höchsten Oktavbereichs des Generatorsatzes. Die restlichen Platinen müssen dann auf die noch fehlenden Töne durch Variation der frequenzbestimmenden Kondensatoren abgeglichen werden. Für dieses „Einstimmen“ benötigt man Vergleichsfrequenzen oder Frequenzmeßgeräte. Der Amateur kann die Frequenzen von den Generatoren mit den Tönen eines Musikinstruments (Klavier, Akkordeon) vergleichen, wenn kein Frequenzmeßgerät zur Verfügung steht. Der Frequenzfeinabgleich muß zuletzt ohnehin mit einer Stimmgabel oder durch Vergleich mit den Tonhöhen eines noch nicht verstimmten Instruments erfolgen, weil die Meßergebnisse, die man mit einfachen Meßgeräten (z. B. Frequenzzeiger) erhält, zu ungenau sind.

Sehr schwierig ist der Frequenzvergleich in den hohen

Tonlagen der Muttergeneratoren. Selbst wenn der Tonumfang des zum Vergleich benutzten Musikinstruments noch ausreicht, lassen sich z. B. die Töne eines Generators mit 8 Oktaven Umfang (Frequenzen zwischen etwa 4000 und 8000 Hz) gehörmäßig (Schwebungsnull) schlecht miteinander vergleichen. Man schaltet daher hinter den jeweils zu stimmenden Muttergenerator 2 bis 3 Teilerstufen nach Bild 8.11 (Teil 2) und hört die tieferen Frequenzen am Ausgang des letzten Teilers im Vergleich mit dem Musikinstrument ab. Dazu eignen sich bistabile Teiler besser als Sperrschwingerteiler, bei denen man immer wieder kontrollieren müßte, ob alle Stufen im richtigen Verhältnis 2 : 1 teilen. Das ist sehr aufwendig. Diese Abgleichmethode führt mit einfachsten Mitteln sicher zum Ziel. Die Feinabstimmung der Muttergeneratoren wird beim fertiggestellten Instrument im Quintenzirkel (siehe Abschnitt 10.4.3.1. in Teil 3) vorgenommen.

Der Frequenzabgleich von Sperrschwingerteilern wurde bereits in Abschnitt 8.2.1. in Teil 2 beschrieben. In der Praxis zeigte sich, daß ein Frequenzvorabgleich der Sperrschwingerstufen, trotz Berechnung und Nachbildung der Belastungswiderstände (Tastenkontakte), nicht sicher ist. Die Entkopplungswiderstände in den Tastenkontakten liegen den frequenzbestimmenden RC-Gliedern der Sperrschwinger parallel und verändern die Werte dieser Glieder. Deshalb werden die Werte der Kondensatoren für die Sperrschwingerteiler stets erst nach Anschluß der Tastenkontakte und des Klangformungsteils (Register und Effektschaltungen) an den Generatorsatz ermittelt. Dazu kann ein kleines Kästchen mit einem eingebauten Stufenschalter dienen, an den verschiedene Kapazitätswerte der Reihe nach geordnet zwischen 5 nF und 470 nF z. B. in 10 Stufen angelötet sind. An einen abzugleichenden Sperrschwinger klemmt man zunächst eine Kapazität in der Größe des Erfahrungswertes an (Wert mit dem Stufenschalter auswählen). Erst danach wird der Stufe durch Anlöten des Sperrschwingertransformators die Spannung zugeführt. Die Frequenz des jeweiligen Teilers läßt sich über einen Hilfs-

verstärker abhören (Sperrschwingerausgang über einen Widerstand von  $1\text{ M}\Omega$  z. B. an den TA-Eingang eines Rundfunkempfängers anschließen). Einfacher ist es, wenn auch die NF-Vorverstärker und der Endverstärker des Eigenbauinstruments funktionsfähig eingebaut und angeklemmt sind, so daß die Töne direkt durch Tastendruck abgehört werden können. Man beschwert die entsprechende Taste (Register in der erforderlichen Fußlage nach Verharfungsplan einschalten), damit sie in gedrückter Stellung bleibt. Durch Frequenzvergleich mit den höheren Oktavtönen findet man mit dem angeklemmten Stufenschalter sehr schnell die richtige Größe des frequenzbestimmenden Kondensators. Zu den tieferen Tönen hin verdoppeln sich etwa die Kapazitätswerte innerhalb einer Kaskade von Stufe zu Stufe. Die Einstellregler sollen bei den höheren Tönen etwa bei  $20\text{ k}\Omega$  stehen. Für die tieferen Töne können Werte von 35 bis  $45\text{ k}\Omega$  eingestellt werden.

Da während des Einstimmens der Sperrschwingerteiler nach und nach immer mehr Stufen arbeiten, steigt der Strom in diesem Verbraucherstromkreis an. Je nach Aufbau des Netzteils verringert sich durch die steigende Belastung die Speisespannung der Sperrschwinger. Beim Einstimmen kommt es jedoch besonders darauf an, daß die Betriebsspannung konstant bleibt. Daher entnimmt man sie entweder einer stabilisierten Spannungsquelle oder einer Batterie mit ausreichender Kapazität (nur während der Inbetriebnahme der Teilerstufen erforderlich), oder der eventuell im Netzteil vorhandene Spannungsteilerwiderstand wird ständig nachgestellt, damit immer die Sollspannung beim Einstimmen zur Verfügung steht. Man bedenke aber, daß z. B. bei 72 Teilerstufen der Widerstand mindestens nach jedem zweiten neu einzustimmenden Teiler — also wenigstens 36mal — nachgestellt werden müßte. Wird das im Arbeitseifer öfter vergessen, besteht die Gefahr, daß später die Teilerstufen auskippen und falsche Töne an die Tastenkontakte liefern.

Der Eigenbau von einfachen Frequenzmeßgeräten zum Abstimmen der Generatoren ist nicht schwierig und wenig

aufwendig. Es wird daher empfohlen, sich ein solches Gerät zu bauen (Literatur: „*amateurreihe electronica*“, Heft 117: „Halbleiterschaltungen aus der Literatur“ von Klaus K. Streng, Seite 94 bis Seite 96). Tabelle 2.3. (Teil 1) enthält die Frequenzen der Töne von C<sub>2</sub> bis h<sup>6</sup>.

## 17.2. Tastenkontaktsätze und Klaviaturen

Beim Selbstbau eines Instruments ist es notwendig, zunächst die Klaviaturen einzukaufen. Man sollte möglichst Klaviaturen aus der Serienfertigung bestellen (Prospekte anfordern). In den Mustergeräten des Autors wurden stets Klaviaturen mit der Typenbezeichnung *EMP 3/5* vom VEB *Deutsche Piano-Union* Leipzig, Werk Gera-Langenberg, 6503 Gera-Langenberg, Carl-v.-Ossietsky-Str. 32, verwendet. Der gewünschte Tastenumfang vom tiefsten bis zum höchsten Ton der Klaviatur wurde jeweils bei der Bestellung angegeben. Die Tastaturen ließen sich sehr gut in die Gesamtkonstruktion der Instrumente einfügen. Den Holzrahmen, besonders den Mittelholm (siehe Bild 10.10 in Teil 3), sollte man bei ähnlichen Holzkonstruktionen mit Profileisen stabilisieren, da Durchbiegungen auftreten, wenn die Rahmenkonstruktion nicht vollständig aufliegt und nicht über ihre gesamte Länge mit dem Gehäuse des Instruments verschraubt wird.

Zuerst legt man den Tastenhub (vorderes Tastenende 9 bis 11 mm Tiefgang) fest. Dazu werden Distanz- und Filzscheiben unter die Tasten auf die Lagerbolzen geschoben (Tastenwaagepunkte). Dabei müssen die weißen und schwarzen Tasten einen gleichmäßigen Hub an den Punkten haben, an denen die Schaltschieber der Tastenkontaktsätze angreifen. Der Schaltschieberhub soll etwa 6 mm betragen. Sind die Klaviaturen fertiggestellt (befilzt und justiert), kann man mit der Konstruktion der Tastenkontaktsätze beginnen. Bei einigen Tasten können Abweichungen der Tastenbreiten untereinander und daher Unregelmäßigkeiten in den Tastenabständen vorhanden sein. Dieser Um-

stand muß bei der Festlegung der Bohrungen für die Schaltschieber im Tastenkontaktsatz berücksichtigt werden. Neuere Instrumente (*Ionika*, *TO 10* u a.) haben Stahlrahmenklaviaturen mit Tasten aus Kunststoff. Diese Klaviaturen zeichnen sich durch mechanische Stabilität aus, die Tasten lassen sich sehr exakt justieren und sind in Blattfedern gelagert. Für den Eigenbau eines Instruments eignen sich derartige Tastaturen ebenfalls gut. Der mechanische Aufbau der Tastenkontakte, insbesondere die Kontaktschieber müßten konstruktiv entsprechend der jeweiligen Klaviatúrausführung verändert werden. Von der prinzipiellen Mechanik der Umschaltkontakte sollte man aber nicht abgehen, da sich diese Art von Tonfrequenzkontakten gut bewährt hat. Die Forschung ist zwar auf die Entwicklung elektronischer „Kontakte“ gerichtet, aber zur Zeit sind die Ergebnisse dieser Arbeiten noch nicht nutzbar.

Bei vorzunehmenden Veränderungen am Aufbau der Kontaktsätze richtet man sich also grundsätzlich nach den Zeichnungsunterlagen (Bild 10.10, Bild 10.14, Bild 10.88 und Bild 10.89 u. a.). Die Anzahl der Kontakte und Sammelschienen ergibt sich aus der Anzahl der geplanten Chöre und Effekteinrichtungen (Sustain oder Schaltungen nach Bild 21.8 bzw. Bild 21.9). Für jeden Chor werden 2 Sammelschienen benötigt (je eine masse- und eine tonführende Schiene). Für Sustainregelstufen ist je Taste nur ein Arbeitskontakt notwendig; da die Masseschiene entfällt, wird nur ein Sammeldraht eingezogen (keine Umschaltkontakte, siehe Bild 17.5, untere Sammelschiene fehlt). Werden Entkopplungswiderstände  $\frac{1}{10}$  bzw.  $\frac{1}{8}$  W in die Kontaktsätze eingebaut, lassen sich die Abmessungen der Kontaktplatten gemäß Bild 17.5 vor allem in der Höhe wesentlich reduzieren.

Als Kontaktmaterial für die Tastenkontaktsätze kann nur oxidationsarmer, kontaktsicherer und federharter Draht dienen (z. B. *Sn Bz 6* oder *Sn Bz 8*). Für die beweglichen Kontakte eignet sich ein Drahtdurchmesser von 0,4 bis 0,5 mm. Im Manual kann dieser Drahtdurchmesser auch für die Sammelschienen eingesetzt werden. Besser sind





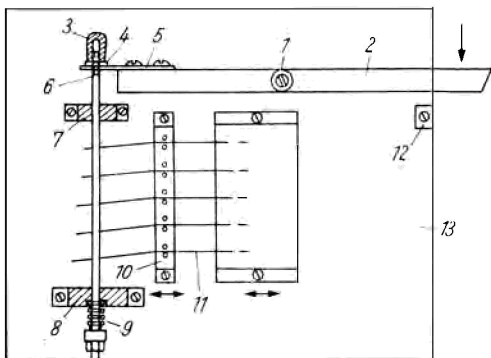
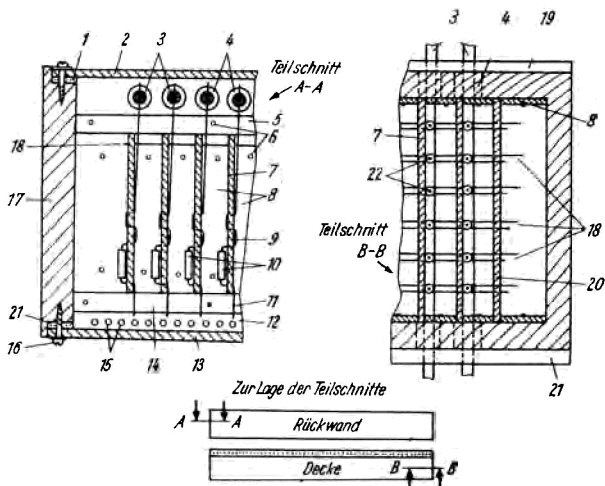


Bild 17.6 Mechanik zur Erprobung des Aufbaus eines Tastenkontaktsatzes; 1 - Nachbildung der Klaviaturtastenlagerung, 2 - Holzleiste als Klaviaturtaste, 3 - Nippel zur Arretierung und Einstellung des Schaltschiebers, 4 - Filzscheibe, 5 - Mitnehmerblech für Schaltschieber, 6 - Schaltschieber, 7 - oberes Schaltschieberlager (Nachbildung des Lagers im Kontaktkasten), 8 - unteres Schaltschieberlager, 9 - Rückholfeder (etwa 10 Windungen 0,4-mm-Federstahldraht, Federlänge 20 mm, Endwindungen angelegt), 10 - Nachbildung der Sammelschienendrähte, 11 - bewegliche Kontaktdrähte (auf simulierter Kontaktträgerplatte befestigt)

Um die Konstruktion der veränderten Kontaktsätze zu erproben, baut man die geplante Mechanik für eine Taste nach Bild 17.6 auf einem Brett mit den vorgesehenen Materialien auf. Die Härte, z. B. der beweglichen Kontaktdrähte, erfordert, die Abmessungen der Tastenkontaktmechanik im Experiment zu ermitteln. Der Kontaktdruck sollte mindestens 8 p je Kontakt, der Tastenbetätigungsdruck maximal 120 p an den vorderen Tastenenden und der Hub der Schaltschieber etwa 6 mm betragen. Eine Dauererprobung (wenigstens 500 000 Tastenbetätigungen durch Motor oder Magnet) sollte man unbedingt vornehmen. Nach Auswertung der Versuchsergebnisse wird dann der konstruktive Aufbau des Kontaktsatzes festgelegt. Damit kein Staub in die Kontaktkästen eindringt, werden sie mit Filz abgedichtet.

Der Einbau der Distanzstreifen in die Kontaktkästen erfolgt nach Bild 17.7. Zuerst wird die vordere, längs zu



**Bild 17.7** Einbau der Kontaktträgerplatten in die Kontaktsatzkästen; 1 - Filzdichtungsstreifen, 2 - Vorderfront, 3 - Kontaktschieber, 4 - Bohrungen im Holz, 5 - Pertinaxleiste (vorderer Anschlag für die Kontaktträgerplatten), 6 - kleine Rundkopfnägel, 7 - Kontaktträgerplatten, 8 - Distanzstreifen (Hartpapier), 9 - Lötstellen auf den Kontaktträgerplatten, 10 - Entkopplungswiderstände, 11 - Anschlußdrähte der Widerstände, 12 - Fläche des Holzbodens, 13 - Rückwand, 14 - Pertinax-(Hartpapier)leiste, Anschlag für die Kontaktträgerplatten, 15 - Bohrungen für Drahtdurchführungen (Litzen), 16 - Holzschraube, 17 - Seitenwand des Kontaktsatzkastens, 18 - Sammelschienendrähte (an den Enden gequetscht), 19 - Lagerleiste für Kontaktschieber (PVC oder HP), 20 - blinde Kontaktträgerplatte zum Abfangen der Sammelschienendrähte, 21 - Filzdichtungsstreifen, 22 - Entkopplungswiderstand mit Anschlußdraht

den Schaltschiebern liegende Hartpapierleiste (Anschlag für die Kontaktplatten) befestigt. Dann werden die zwischen den Kontaktplatten liegenden kurzen Distanzstreifen mit je 2 Nägeln angebracht. Dabei schiebt man jeweils unbestückte Kontaktträgerplatten ein, um die Abstände festzulegen. Die Platten müssen versetzt zu den Schaltschiebern liegen, so daß die beweglichen Kontaktdrähte an den Kontaktträgerplatten nicht scheuern können (siehe Bild 17.7). Zur Korrektur werden hin und wieder etwas schmalere

oder breitere Distanzstreifen eingesetzt, wenn sich der Versatz der Kontaktplatten zu den Schaltschiebern während der Montage der Streifen zu stark verändert.

Die so vorbereiteten Kontaktsatzkästen versieht man noch mit 2 bis 3 Spannbolzen M4 oder M5 (gleichmäßig verteilen), um bei der Montage und auch später ein Herausrutschen der Kontaktplatten aus ihren Führungen (Distanzstreifen) unterbinden zu können (Bild 10.10, Pos. 4). Die Bolzen müssen genau zwischen 2 Kontaktplatten hindurchgeführt werden. Diese Maßnahme ist unerlässlich, da sich die Kontaktkästen stets über ihre Länge etwas durchbiegen.

Für die Funktionssicherheit der Tastenkontaktbaueinheit ist die starre mechanische Verbindung zwischen der Klaviatur und dem Kontaktkasten unbedingt erforderlich (siehe Bild 10.10). Sollen zum Bau eines Polyphons Klavaturen aus einem demontierten Klavier oder einem Harmonium wiederverwendet werden, muß man den zusätzlichen Arbeitsaufwand zum eventuellen Umbau der Tastatur und der Tastenkontaktsätze in Betracht ziehen. Vom Konstruktionsprinzip der Tastenkontaktmechanik sollte auch in diesem Fall nicht abgewichen werden.

Die Schaltschieber können aus PVC-Schweißdraht (4 mm Durchmesser) sein. Die Ausführung nach Bild 10.12 und Bild 10.13 hat sich gut bewährt. Sie müssen bereits durch ihr Eigengewicht durch ihre Führungslöcher in den Lagerleisten gleiten und ein Klemmen in den Lagerstellen mit Sicherheit ausschließen. Dazu ist etwas mehr Luft in den Lagerstellen gegenüber einer zu genauen Spielpassung vorzuziehen. Schweißdrähte mit einer sehr rauen Oberfläche und zu unterschiedlichen Durchmessern sind für die Schaltschieber nicht geeignet. Verzogene Stäbe können durch Erwärmen und Nachbiegen wieder ausgerichtet werden (die Schweißdrähte werden gewöhnlich in Form von 1 m langen Stücken geliefert, die sich bei ungünstigen Lagerbedingungen verziehen).

Die nach Bild 10.10 (Teil 3) vorgesehenen Justiereinrichtungen für die Schaltschieber und ihre Rückholfedern sind

unentbehrlich. Bei anderen Klaviaturen (z. B. Stahlrahmenkonstruktionen) können die Rückholfedern usw. entfallen, wenn die Schaltschieber justierbar an den Tasten eingehängt werden (siehe Bild 10.88). Entschließt man sich zum Bau dieser Mechanik, sollten industrielle Erzeugnisse als Vorlage dienen (*TO 200/5*, *TO 200/53*). Es wurde schon mehrfach darauf hingewiesen, daß die Tastenkontaktmechanik in einem Instrument unbedingt funktionssicher arbeiten muß. Der Konstruktion und dem Aufbau der Kontaktsätze sollte man daher viel Sorgfalt zuwenden.

Zum Bau der Kontaktträgerplatten entsprechend Bild 17.5 bzw. Bild 10.10 (Teil 3) und der Schaltschieber sind einfache Bohrlehren (Bild 13.3, Bild 13.4 und Bild 13.5) anzufertigen. Nur auf diese Weise läßt sich die erforderliche Genauigkeit beim Bohren einhalten.

Die Gewinde der Schaltschieber können geschnitten werden, indem man sie in das Futter einer von Hand angetriebenen und an einem Tisch befestigten Bohrmaschine einspannt. Zum Bohren und Ansenken der Durchgangslöcher für die beweglichen Kontaktdrähte in den Schaltschiebern müssen scharfe Bohrer verwendet werden. Die Bohrtiefe ist an der Bohrmaschine sehr genau einstellbar. Die Löcher in den PVC-Schaltschiebern bohrt man mit niedrigen Drehzahlen. Nach dem Ansenken sind die Durchgangslöcher manchmal mit Spänen zugesetzt, so daß es sich erforderlich macht, die Löcher wieder frei zu stechen.

Das Bestücken der Kontaktträgerplatten geschieht nach Bild 17.8. Die Widerstände und Kontaktdrähte sind wie angegeben vorzubereiten. Besonders die Kontaktdrähte müssen genau passend zu den Bohrlöchern vorgebogen werden, weil sie sich sonst nur sehr unsauber montieren lassen. Nachdem die Entkopplungswiderstände mit den Kontaktdrähten verlötet bzw. an Stelle der Widerstände Drahtbrücken bei den Sustainkontakten eingesetzt wurden, sollten die Entkopplungswiderstände und Lötverbindungen überprüft werden (Ohmmeter oder Glimmlampe). Wichtig ist auch die Prüfung der mechanischen Festigkeit der

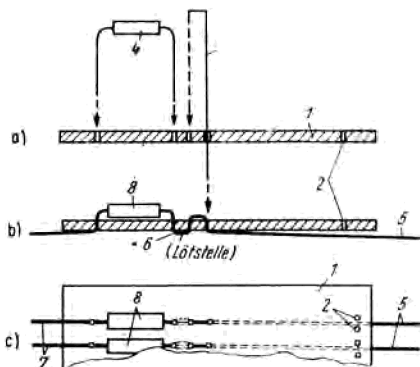


Bild 17.8 Bestückung der Kontaktträgerplatten; 1 - Kontaktträgerplatte, 2 - Bohrungen für Sammelschienendrähte, 3 - beweglicher Kontaktdraht (zum Bestücken vorbereitet), 4 - Entkopplungswiderstand (zum Bestücken vorbereitet), 5 - beweglicher Kontaktdraht (montiert, umgebogen), 6 - Lötstelle (Verbindung zwischen Widerstand und Kontaktdraht), 7 - Widerstandsanschlußdrähte für Verharfungs- und Tonfrequenzzuführungsleitungen, 8 - Entkopplungswiderstände (montiert)

Lötstellen, um zu verhindern, daß sich kalte Lötstellen in den Kontaktsatz einschleichen, die später zum Aussetzen von Tönen führen.

Die fertigen Kontaktträgerplatten müssen sehr sorgfältig behandelt und gelagert werden, um die Widerstände nicht zu beschädigen. Die Kontaktdrähte haben nach Bild 17.5 abgestufte Längen. Das erleichtert das Einschieben der beweglichen Kontaktdrähte in die Bohrungen der Schaltschieber beim Bestücken der Kontaktsatzkästen mit Kontaktträgerplatten. Bei diesem Arbeitsgang ist ein Verbiegen oder falsches Einfädeln der Kontaktdrähte möglich. Um sich daraus ergebende Nachteile auszuschalten, muß der Einbau der Kontaktträgerplatten mit Gefühl und vorsichtig vorgenommen werden. Die Kontaktdrähte kürzt man mit einer Beschneidlehre auf die abgestuften Längen. Die Lehre läßt sich aus Hartpapier einfach anfertigen. Die Lage der Kontaktträgerplatte wird durch Anschläge fixiert. Die Beschneidkante verläuft schräg, der erforderliche Win-

kel ergibt sich aus der Konstruktion des Kontaktsatzes (siehe Bild 17.5). Es ist wichtig, die beweglichen Kontakt-drähte auf den Kontaktträgerplatten vor diesem Arbeitsgang auszurichten. Die Drähte sollen genau zwischen den Bohrungen der zu ihnen gehörenden Sammelschienen stehen.

Nachdem die Kontaktplatten in die Kontaktkästen eingebaut und dabei die Kontaktdrähte in die Schaltschieber eingefädelt wurden, zieht man die Sammelschienen-drähte ein. Dazu wird eine kleine Seitenwand des Kontaktsatzkastens mit Bohrungen an entsprechender Stelle versehen (siehe Bild 10.10). Man schneidet die Sammelschienen-drähte zu (Tonsammelschienen 10 cm länger), spitzt sie an und zieht sie mit einer stabilen Spitzzange von einer Kontaktplatte zur anderen durch den gesamten Kontaktsatz hindurch. Die überstehenden Drahtenden der Tonsammelschienen werden auf die Messerkontaktleiste geführt (Anschluß des Kontaktsatzes an die Register usw.). *Es ist genau zu beachten, daß die beweglichen Kontakt-drähte jeweils zwischen Masse- und Tonfrequenzsammeldraht liegen.*

Zur Bestimmung der Bohrlochdurchmesser beim Bohren der Kontaktplatten sind Versuche mit dem Kontakt draht notwendig. Der Draht muß leicht durch die Löcher gehen, darf jedoch kein deutlich spürbares Spiel in den Bohrungen aufweisen. Zu enge Löcher führen zu Schwierigkeiten beim Einziehen der Sammeldrähte. Sie müssen sich noch ziehen lassen, nachdem sie z. B. schon 60 Platten durchlaufen haben. Dem kommt die glatte Oberfläche des Kontakt drahtes entgegen.

Zum Bau der Kontaktsatzkästen verwendet man 10 mm starkes und festes Sperrholz. Die vorgegebenen Maße müssen sehr genau eingehalten werden. Als Holzverbindung wird Verzinken empfohlen. Zum Verleimen eignen sich wasserfeste Kleber (z. B. PVC-Kaltklebstoff). Je nach Konstruktion kann man die Kontaktsätze unterhalb oder oberhalb der Klaviatur montieren (Bild 10.10, Bild 10.14 und Bild 10.15 in Teil 3 oder Bild 16.10 und Bild 16.11).

Die Kontaktsatzkästen werden wie der Generatorsatz mit kaschierter Aluminiumfolie abgeschirmt. An einer Seitenwand wird die erwähnte Messerkontaktleiste angebracht (je nach Lage des Klangformungsteils), auf die man die Sammelschienenanschlüsse (Chöre, Masse, Sustainsammeldraht) legt.

Die Verharfung der Tastenkontaktanschlüsse (Entkopplungswiderstände) erfolgt nach Bild 17.9. Aufschluß über alle Chöre, die z. B. in sehr großen Pfeifenorgeln zu finden sind, gibt die Zusammenstellung nach Bild 17.9a. Man kann in der Darstellung jedes Kästchen als den Anschluß eines Kontaktes im Tastenkontaktsatz einer elektronischen Orgel betrachten. Die Töne innerhalb eines Chores folgen von rechts nach links, stets nach der Tonhöhe geordnet, aufeinander. Nachdem für die tiefste Klaviaturtaste der zu jedem Chor gehörende Ton festgelegt ist, kann für ein Instrument der Kontaktanschlußplan nach Bild 17.9a rein schematisch gezeichnet werden. Alle Töne oberhalb der abgestuften dicken Linie (Bild 17.9a) liegen in der Frequenz höher als der Ton  $h^5$ . Bei einem Generatorsatz mit 8 Oktaven Tonumfang, der von  $C_1$  bis  $h^5$  reicht, müßten also alle Töne von  $c^6$  an aufwärts auf die Töne  $c^5$  bis  $h^5$  zurückgeführt (repetiert) werden. Da das Frequenzspektrum der Generatoren einer elektronischen Orgel mit Sägezahn- oder Rechteckschwingungen sehr breit liegt, klingen die Obertonregister bis zum 1'-Chor hinauf schon fast wie Mixturen. Man kann daher auf Chöre unter 1' verzichten. Dadurch wird die Zahl der Repetitionen in den obersten Oktaven eingeschränkt. Gleichermäßen verringert sich die Belastung der Muttergeneratoren, die zumeist die Töne der höchsten Oktave des klingenden Tonumfangs eines Instruments liefern.

Ein typisches Beispiel von Repetitionen in einem Polyphon wird in Bild 17.9b gezeigt. Es ist ausschnittsweise der Kontaktanschluß- oder Verharfungsplan eines Instruments mit 6 Chören, 60 Tasten und einem Generator mit 7 Oktaven Tonumfang ( $C_1$  bis  $h^4$ ) dargestellt. Oberhalb der links eingezeichneten dicken Linie werden die Töne repetiert,

60	59	58	57	56	55	54	53	52	51		3	2	1	Chöre	
<i>h<sup>8</sup></i>	<i>ais<sup>8</sup></i>	<i>a<sup>8</sup></i>	<i>gis<sup>8</sup></i>	<i>g<sup>8</sup></i>	<i>fis<sup>8</sup></i>	<i>f<sup>8</sup></i>	<i>e<sup>8</sup></i>	<i>dis<sup>8</sup></i>	<i>d<sup>8</sup></i>		<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>1/4'</i>	
<i>a<sup>8</sup></i>	<i>gis<sup>8</sup></i>	<i>g<sup>8</sup></i>	<i>fis<sup>8</sup></i>	<i>f<sup>8</sup></i>	<i>e<sup>8</sup></i>	<i>dis<sup>8</sup></i>	<i>d<sup>8</sup></i>	<i>cis<sup>8</sup></i>	<i>c<sup>8</sup></i>		<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>2/7'</i>	
<i>fis<sup>8</sup></i>	<i>f<sup>8</sup></i>	<i>e<sup>8</sup></i>	<i>dis<sup>8</sup></i>	<i>d<sup>8</sup></i>	<i>cis<sup>8</sup></i>	<i>c<sup>8</sup></i>	<i>h<sup>7</sup></i>	<i>ais<sup>7</sup></i>	<i>a<sup>7</sup></i>		<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>1/3'</i>	
<i>dis<sup>8</sup></i>	<i>d<sup>8</sup></i>	<i>cis<sup>8</sup></i>	<i>c<sup>8</sup></i>	<i>h<sup>7</sup></i>	<i>ais<sup>7</sup></i>	<i>a<sup>7</sup></i>	<i>gis<sup>7</sup></i>	<i>g<sup>7</sup></i>	<i>fis<sup>7</sup></i>		<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>2/5'</i>	
<i>h<sup>7</sup></i>	<i>ais<sup>7</sup></i>	<i>a<sup>7</sup></i>	<i>gis<sup>7</sup></i>	<i>g<sup>7</sup></i>	<i>fis<sup>7</sup></i>	<i>f<sup>7</sup></i>	<i>e<sup>7</sup></i>	<i>dis<sup>7</sup></i>	<i>d<sup>7</sup></i>		<i>d<sup>3</sup></i>	<i>cis<sup>3</sup></i>	<i>c<sup>3</sup></i>	<i>1/2'</i>	
<i>a<sup>7</sup></i>	<i>gis<sup>7</sup></i>	<i>g<sup>7</sup></i>	<i>fis<sup>7</sup></i>	<i>f<sup>7</sup></i>	<i>e<sup>7</sup></i>	<i>dis<sup>7</sup></i>	<i>d<sup>7</sup></i>	<i>cis<sup>7</sup></i>	<i>c<sup>7</sup></i>		<i>c<sup>3</sup></i>	<i>h<sup>2</sup></i>	<i>ais<sup>2</sup></i>	<i>4/7'</i>	
<i>fis<sup>7</sup></i>	<i>f<sup>7</sup></i>	<i>e<sup>7</sup></i>	<i>dis<sup>7</sup></i>	<i>d<sup>7</sup></i>	<i>cis<sup>7</sup></i>	<i>c<sup>7</sup></i>	<i>h<sup>6</sup></i>	<i>ais<sup>6</sup></i>	<i>a<sup>6</sup></i>		<i>a<sup>2</sup></i>	<i>gis<sup>2</sup></i>	<i>g<sup>2</sup></i>	<i>2/3'</i>	
<i>dis<sup>7</sup></i>	<i>d<sup>7</sup></i>	<i>cis<sup>7</sup></i>	<i>c<sup>7</sup></i>	<i>h<sup>6</sup></i>	<i>ais<sup>6</sup></i>	<i>a<sup>6</sup></i>	<i>gis<sup>6</sup></i>	<i>g<sup>6</sup></i>	<i>fis<sup>6</sup></i>		<i>fis<sup>2</sup></i>	<i>f<sup>2</sup></i>	<i>e<sup>2</sup></i>	<i>4/5'</i>	
<i>h<sup>6</sup></i>	<i>ais<sup>6</sup></i>	<i>a<sup>6</sup></i>	<i>gis<sup>6</sup></i>	<i>g<sup>6</sup></i>	<i>fis<sup>6</sup></i>	<i>f<sup>6</sup></i>	<i>e<sup>6</sup></i>	<i>dis<sup>6</sup></i>	<i>d<sup>6</sup></i>		<i>d<sup>2</sup></i>	<i>cis<sup>2</sup></i>	<i>c<sup>2</sup></i>	<i>1'</i>	
<i>a<sup>6</sup></i>	<i>gis<sup>6</sup></i>	<i>g<sup>6</sup></i>	<i>fis<sup>6</sup></i>	<i>f<sup>6</sup></i>	<i>e<sup>6</sup></i>	<i>dis<sup>6</sup></i>	<i>d<sup>6</sup></i>	<i>cis<sup>6</sup></i>	<i>c<sup>6</sup></i>		<i>c<sup>2</sup></i>	<i>h<sup>1</sup></i>	<i>ais<sup>1</sup></i>	<i>1 1/2'</i>	
<i>fis<sup>6</sup></i>	<i>f<sup>6</sup></i>	<i>e<sup>6</sup></i>	<i>dis<sup>6</sup></i>	<i>d<sup>6</sup></i>	<i>cis<sup>6</sup></i>	<i>c<sup>6</sup></i>	<i>h<sup>5</sup></i>	<i>ais<sup>5</sup></i>	<i>a<sup>5</sup></i>		<i>a<sup>1</sup></i>	<i>gis<sup>1</sup></i>	<i>g<sup>1</sup></i>	<i>1 1/3'</i>	
<i>dis<sup>6</sup></i>	<i>d<sup>6</sup></i>	<i>cis<sup>6</sup></i>	<i>c<sup>6</sup></i>	<i>h<sup>5</sup></i>	<i>ais<sup>5</sup></i>	<i>a<sup>5</sup></i>	<i>gis<sup>5</sup></i>	<i>g<sup>5</sup></i>	<i>fis<sup>5</sup></i>		<i>fis<sup>1</sup></i>	<i>f<sup>1</sup></i>	<i>e<sup>1</sup></i>	<i>1 3/8'</i>	
<i>h<sup>5</sup></i>	<i>ais<sup>5</sup></i>	<i>a<sup>5</sup></i>	<i>gis<sup>5</sup></i>	<i>g<sup>5</sup></i>	<i>fis<sup>5</sup></i>	<i>f<sup>5</sup></i>	<i>e<sup>5</sup></i>	<i>dis<sup>5</sup></i>	<i>d<sup>5</sup></i>		<i>d<sup>1</sup></i>	<i>cis<sup>1</sup></i>	<i>c<sup>1</sup></i>	<i>2'</i>	
<i>a<sup>5</sup></i>	<i>gis<sup>5</sup></i>	<i>g<sup>5</sup></i>	<i>fis<sup>5</sup></i>	<i>f<sup>5</sup></i>	<i>e<sup>5</sup></i>	<i>dis<sup>5</sup></i>	<i>d<sup>5</sup></i>	<i>cis<sup>5</sup></i>	<i>c<sup>5</sup></i>		<i>c<sup>1</sup></i>	<i>h</i>	<i>ais</i>	<i>2 2/7'</i>	
<i>fis<sup>5</sup></i>	<i>f<sup>5</sup></i>	<i>e<sup>5</sup></i>	<i>dis<sup>5</sup></i>	<i>d<sup>5</sup></i>	<i>cis<sup>5</sup></i>	<i>c<sup>5</sup></i>	<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>		<i>a</i>	<i>gis</i>	<i>g</i>	<i>2 2/5'</i>	
<i>dis<sup>5</sup></i>	<i>d<sup>5</sup></i>	<i>cis<sup>5</sup></i>	<i>c<sup>5</sup></i>	<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>		<i>fis</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>3 3/5'</i>	
<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>		<i>d</i>	<i>cis</i>	<i>c</i>	<i>4'</i>	
<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>		<i>c</i>	<i>H</i>	<i>Ais</i>	<i>4 4/7'</i>	
<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>		<i>A</i>	<i>gis</i>	<i>G</i>	<i>5 3/3'</i>	
<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>fis<sup>3</sup></i>		<i>Fis</i>	<i>F</i>	<i>E</i>	<i>6 2/5'</i>	
<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>		<i>D</i>	<i>Cis</i>	<i>C</i>	<i>8'</i>	
<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>	<i>cis<sup>3</sup></i>	<i>c<sup>3</sup></i>		<i>Cis</i>	<i>C</i>	<i>H<sub>1</sub></i>	<i>Ais<sub>1</sub></i>	<i>9 1/2'</i>
<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>	<i>cis<sup>3</sup></i>	<i>c<sup>3</sup></i>	<i>h<sup>2</sup></i>	<i>ais<sup>2</sup></i>	<i>a<sup>2</sup></i>		<i>Ais<sub>1</sub></i>	<i>A<sub>1</sub></i>	<i>gis<sub>1</sub></i>	<i>G<sub>1</sub></i>	<i>10 2/6'</i>
<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>	<i>cis<sup>3</sup></i>	<i>c<sup>3</sup></i>	<i>h<sup>2</sup></i>	<i>ais<sup>2</sup></i>	<i>a<sup>2</sup></i>	<i>gis<sup>2</sup></i>	<i>g<sup>2</sup></i>	<i>fis<sup>2</sup></i>		<i>G<sub>1</sub></i>	<i>fis<sub>1</sub></i>	<i>f<sub>1</sub></i>	<i>E<sub>1</sub></i>	<i>12 4/6'</i>
<i>h<sup>2</sup></i>	<i>ais<sup>2</sup></i>	<i>a<sup>2</sup></i>	<i>gis<sup>2</sup></i>	<i>g<sup>2</sup></i>	<i>fis<sup>2</sup></i>	<i>f<sup>2</sup></i>	<i>e<sup>2</sup></i>	<i>dis<sup>2</sup></i>	<i>d<sup>2</sup></i>		<i>Dis<sub>1</sub></i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>Cis<sub>1</sub></i>	<i>C<sub>1</sub></i>	<i>16'</i>
<i>fis<sup>2</sup></i>	<i>f<sup>2</sup></i>	<i>e<sup>2</sup></i>	<i>dis<sup>2</sup></i>	<i>d<sup>2</sup></i>	<i>cis<sup>2</sup></i>	<i>c<sup>2</sup></i>	<i>h<sup>1</sup></i>	<i>ais<sup>1</sup></i>	<i>a<sup>1</sup></i>		<i>Ais<sub>2</sub></i>	<i>A<sub>2</sub></i>	<i>gis<sub>2</sub></i>	<i>G<sub>2</sub></i>	<i>21 1/5'</i>
<i>h<sup>1</sup></i>	<i>ais<sup>1</sup></i>	<i>a<sup>1</sup></i>	<i>gis<sup>1</sup></i>	<i>g<sup>1</sup></i>	<i>fis<sup>1</sup></i>	<i>f<sup>1</sup></i>	<i>e<sup>1</sup></i>	<i>dis<sup>1</sup></i>	<i>d<sup>1</sup></i>		<i>Dis<sub>2</sub></i>	<i>D<sub>2</sub></i>	<i>Cis<sub>2</sub></i>	<i>C<sub>2</sub></i>	<i>32'</i>
<i>fis<sup>1</sup></i>	<i>f<sup>1</sup></i>	<i>e<sup>1</sup></i>	<i>dis<sup>1</sup></i>	<i>d<sup>1</sup></i>	<i>cis<sup>1</sup></i>	<i>c<sup>1</sup></i>	<i>h</i>	<i>cis</i>	<i>a</i>		<i>Ais<sub>3</sub></i>	<i>A<sub>3</sub></i>	<i>gis<sub>3</sub></i>	<i>G<sub>3</sub></i>	<i>42 2/3'</i>
<i>h</i>	<i>ais</i>	<i>a</i>	<i>gis</i>	<i>g</i>	<i>fis</i>	<i>f</i>	<i>e</i>	<i>dis</i>	<i>d</i>		<i>Dis<sub>3</sub></i>	<i>D<sub>3</sub></i>	<i>Cis<sub>3</sub></i>	<i>C<sub>3</sub></i>	<i>64'</i>
<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>		<i>Dis</i>	<i>D</i>	<i>Cis</i>	<i>C</i>	<i>Tasten</i>

a)

60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48		7	Chöre
<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>4</sup></i>		<i>c<sup>2</sup></i>	<i>1'</i>
<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>4</sup></i>		<i>c<sup>2</sup></i>	<i>2'</i>
<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>		<i>g</i>	<i>2 2/5'</i>
<i>h<sup>4</sup></i>	<i>ais<sup>4</sup></i>	<i>a<sup>4</sup></i>	<i>gis<sup>4</sup></i>	<i>g<sup>4</sup></i>	<i>fis<sup>4</sup></i>	<i>f<sup>4</sup></i>	<i>e<sup>4</sup></i>	<i>dis<sup>4</sup></i>	<i>d<sup>4</sup></i>	<i>cis<sup>4</sup></i>	<i>c<sup>4</sup></i>	<i>h<sup>3</sup></i>		<i>c</i>	<i>4'</i>
<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>	<i>cis<sup>3</sup></i>	<i>c<sup>3</sup></i>	<i>h<sup>2</sup></i>		<i>C</i>	<i>8'</i>
<i>h<sup>2</sup></i>	<i>ais<sup>2</sup></i>	<i>a<sup>2</sup></i>	<i>gis<sup>2</sup></i>	<i>g<sup>2</sup></i>	<i>fis<sup>2</sup></i>	<i>f<sup>2</sup></i>	<i>e<sup>2</sup></i>	<i>dis<sup>2</sup></i>	<i>d<sup>2</sup></i>	<i>cis<sup>2</sup></i>	<i>c<sup>2</sup></i>	<i>h<sup>1</sup></i>		<i>C<sub>1</sub></i>	<i>16'</i>
<i>S</i>	<i>u</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>a</i>	<i>i</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>o</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>a</i>	<i>k</i>		<i>e</i>	<i>Sust.</i>
<i>h<sup>3</sup></i>	<i>ais<sup>3</sup></i>	<i>a<sup>3</sup></i>	<i>gis<sup>3</sup></i>	<i>g<sup>3</sup></i>	<i>fis<sup>3</sup></i>	<i>f<sup>3</sup></i>	<i>e<sup>3</sup></i>	<i>dis<sup>3</sup></i>	<i>d<sup>3</sup></i>	<i>cis<sup>3</sup></i>	<i>c<sup>3</sup></i>	<i>h<sup>2</sup></i>		<i>C</i>	<i>Tasten</i>

b)

Bild 17.9 Plan der Kontaktbelegung eines Tastenkontaktsatzes (Verharungsplan); a – Zusammenstellung der im Orgelbau vorkommenden Chöre (Fußlagen) mit dazugehörigem Kontaktbelegungsplan, b – Beispiel für die Anfertigung eines Kontaktbelegungsplans für ein elektronisches Polyphon mit 6 Chören (beim Vergleich der Übersicht a mit dem Plan b ist zu erkennen, daß b direkt aus a hervorgeht). Repetition siehe Text!



denn die Tonreihen im  $2^{2/3}$ '- und 2'- sowie im 1'-Chor mußten ja eigentlich über  $h^4$  hinausführen. Nach  $h^4$  folgt aber nicht  $c^5$  (kein Generator vorhanden), sondern stets wieder der Ton  $c^4$  (Zurückführung um eine Oktave).

Ein Plan nach Bild 17.9b eignet sich sehr gut als Unterlage bei den Lötarbeiten zum Verharfen des Tastenkontaktsatzes. Man numeriert die Kontaktträgerplatten wie in Bild 17.9 angedeutet. Die gleichen Zahlen erscheinen auf den Klaviaturtasten. Dabei sind die dargestellten Kontaktanschlußpläne in der Ansicht von hinten auf den Kontaktsatzkasten gezeichnet (die tiefste Klaviaturtaste liegt rechts!). Ein solcher Plan ist anwendbar für Kontaktsätze in der Ausführung ähnlich Bild 10.10. Hingegen müßte der Kontaktbelegungsplan z. B. für den Pedalzusatz nach Bild 16.12 *spiegelbildlich* angefertigt werden.

Beim Einbau von Sustainregelstufen wird je Taste ein einfacher Einschalter benötigt (siehe unterste Kontaktdrahtreihe in Bild 17.9b bzw. Bild 17.11).

Beim Verharfen werden die Kontaktanschlüsse (Entkopplungswiderstände), an denen jeweils der gleiche Ton liegt, miteinander verbunden. Dazu verwendet man blanken, möglichst verzinnnten Schalt draht von 0,5 mm Durchmesser, der von Lötstelle zu Lötstelle mit Gewebeschlauch überzogen wird. Man beginnt im Kontaktsatzkasten rechts unten. Es ergeben sich von rechts nach links in ihrer Lage abfallende Verbindungsleitungen (siehe Bild 11.1, Teil 3), die systematisch zwischen die Anschlußdrähte der Entkopplungswiderstände gelegt werden. Deshalb müssen die Anschlußdrähte der Widerstände lang genug bleiben (bei kleineren Instrumenten 10 mm, bei größeren etwa 15 mm lang).

Später werden an die Verharfungsleitungen an geeigneter Stelle die Tonfrequenz zuleitungen, die vom Generatorsatz kommen, angelötet (z. B. Tongeneratorsatzgang  $c^1$  an die Verharfungsleitung  $c^1$ , Tongeneratorsatzgang  $cis^1$  an die Verharfungsleitung  $cis^1$  usw.). Im Bereich der repetierten Töne lötet man senkrechte Brücken an den Kontaktträgerplatten ein, da sich die repetierten Töne von unten nach

oben an den Kontaktanschlüssen wiederholen (siehe Bild 17.9b).

Der Kontaktbelegungsplan dient mehreren Zwecken. Er gibt Aufschluß über die vorzunehmenden Verdrahtungsarbeiten (Verharfung) und wird bei der Überprüfung des Tastenkontaktsatzes benötigt. Auf dem Plan läßt sich jederzeit ablesen, welcher Ton in welchem Chor jeweils einer bestimmten Taste zugeordnet ist.

Es ist wichtig, sich mit der Materie intensiv auseinanderzusetzen, um den Kontaktbelegungsplan gewissenhaft anzufertigen. Dadurch lernt man die Schaltung eines Instruments beherrschen. Fehler im Anschlußplan des Tastenkontaktsatzes führen zu einer verworrenen Tonwiedergabe. Beim Anschlagen harmonischer Akkorde werden Dissonanzen wiedergegeben.

Die Tonfrequenzleitungen vom Generatorsatz führt man durch Bohrungen in die Kontaktsatzkästen ein und lötet sie an die Verharfungsleitungen an (Bild 11.3, Teil 3).

Die wesentlichsten Arbeitsgänge zur Anfertigung der Tastenkontaktbaueinheit sind in Tabelle 17.3. (Seite 87) in der richtigen Reihenfolge zusammengefaßt.

Nachdem die Verharfungsleitungen in die Kontaktsatzkästen eingelötet wurden, überprüft man die Funktion der Kontaktsätze in Verbindung mit den Klaviaturen. Die zu einer Taste gehörenden Kontakte sollen möglichst nicht gleichzeitig schließen, jedoch sind die beweglichen Kontaktdrähte mit einer Justiergabel so einzustellen, daß sie bei nichtbetätigten Tasten einwandfreien Kontakt mit den Masseschienen haben und bei betätigten Tasten genügend kräftig gegen die Tonfrequenzsammelschienen drücken. Die Kräfte sollen in beiden Richtungen ungefähr gleich groß sein. Dieser Zustand tritt ein, wenn die beweglichen Kontaktdrähte keine Vorspannung haben und der Hub der Schaltschieber für beide Schaltrichtungen der Umschaltkontakte gleich groß eingestellt ist.

Die Tastenkontaktbaueinheit wird wie folgt überprüft: Man beginnt beim tiefsten Ton, der im Tastenkontaktsatz vorkommt, und schließt z. B. einen Multivibrator (etwa

1 kHz) an die diesem Ton zugeordnete Verharfungsleitung an. Aus dem Verharfungsplan geht hervor, welche anderen Kontakte im Kontaktsatz mit der Verharfungsleitung verbunden sind. In der tiefsten Oktave gibt es gewöhnlich keine Verharfungsleitungen, der Multivibrator muß dann direkt an die Entkopplungswiderstände der Kontakte angeschlossen werden. Anders ist es z. B. bei der Tonfrequenz  $c^1$ : Die Verharfungsleitung  $c^1$  liegt am 2'-Kontakt der Taste C, am 4'-Kontakt der Taste c, am 8'-Kontakt der Taste  $c^1$  und am 16'-Kontakt der Taste  $c^2$  usw. (je nach vorhandenen Chören).

Beim Betätigen der Taste C muß der Multivibratorton zu hören sein, wenn die Sammelschiene 2' über ein Diodenkabel an den TA-Eingang eines Rundfunkempfängers angeschlossen wird. Der Multivibratorton erscheint weiterhin auf der Taste c im 4', auf der Taste  $c^1$  im 8' und auf der Taste  $c^2$  im 16' (siehe Bild 17.9, wenn der Kontaktbelegungsplan versuchsweise einmal voll ausgezeichnet wird).

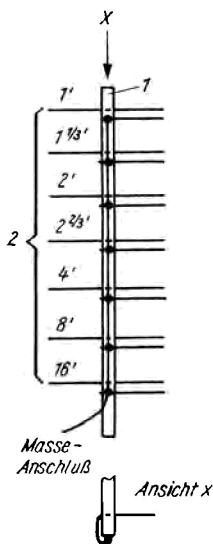


Bild 17.10 Zusammenschaltung der Massesammelschienen im Kontaktsatz; 1 ~ Kontaktträgerplatte, 2 ~ Sammelschienenendrähte der einzelnen Fußlagen (Chöre) zum Anschluß an die Registerfilter

Bei der Kontaktüberprüfung muß das Diodenkabel jeweils an die richtige Sammelschiene geklemmt werden. Um auch die Funktion der Massekontaktgabe bei diesem Prüfungsvorgang kontrollieren zu können, schließt man alle Massesammelschienen nach Bild 17.10 zusammen und verbindet sie mit der TA-Masse, die ebenfalls am Masseanschluß des Multivibrators liegen muß (Bild 17.11). Die Massesammelschienen sind ohnehin bei der Fertigstellung

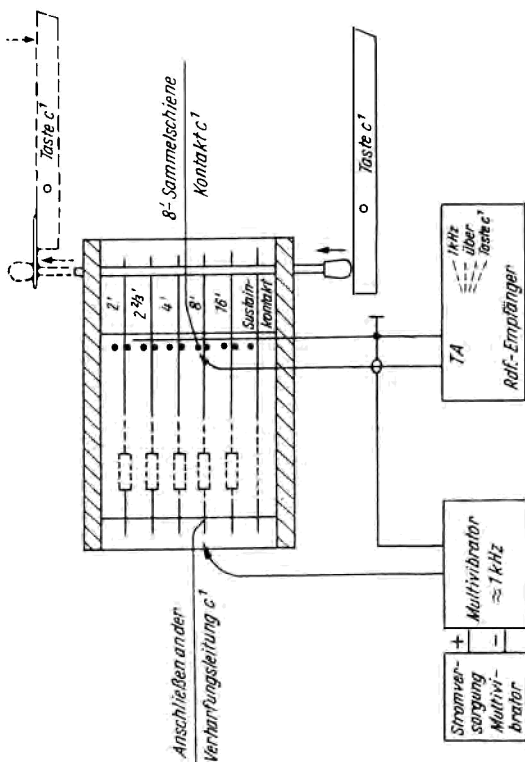


Bild 17.11 Anordnung zur Funktionsprüfung der einzelnen Tastenkontakte (Erläuterungen siehe Text)

der Kontaktsatzkästen zusammenzuschließen. Ist ein Kontaktdraht nicht mit der ihm zugeordneten Massesammelschiene in der Ruhestellung verbunden, ertönt der Multivibrator bereits leise, wenn er an die Verharfungsleitung angeschlossen wird (keine Taste betätigt, Diodenkabel zum TA-Eingang des Rundfunkempfängers mit der entsprechenden Chorsammelschiene verbunden).

Bei dieser Prüfung erfaßt man gleichzeitig auch die Entkopplungswiderstände, die aber schon nach der Fertigstellung der Kontaktträgerplatten zum erstenmal kontrolliert werden sollten. Der Prüfungsvorgang ist zeitaufwendig und verlangt Konzentration. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß trotz systematischer Verharfung Fehler auftreten. Besonders im Bereich der repetierten Töne kommt es zu Kontaktverwechslungen beim Einlöten der Drahtbrücken, oder man stellt fest, daß Kontakte nicht einwandfrei arbeiten. Das gilt vor allem für Instrumente mit einer größeren Anzahl von Chören.

Tabelle 17.3. *Arbeitsgänge zur Anfertigung eines Tastenkontaktsatzes*

- 
1. Beschaffung und Fertigstellung der Klaviatur (Befilzen, Justieren, je nach Ausführung)
  2. Festlegen des konstruktiven Aufbaus des Kontaktsatzes
  3. Anfertigen eines Musters der Tastenkontaktmechanik und seine Erprobung (siehe Bild 17.6)
  4. Bau des Kontaktsatzkastens (Holzkonstruktion). Bohren, Abschirmung erst nach Montage der Distanzstreifen aufleimen
  5. Zuschneiden, Entgraten und Bohren der Kontaktträgerplatten
  6. Bestücken der Kontaktträgerplatten nach Bild 17.8 und überprüfen
  7. Anfertigen und Einbau der Distanzstreifen in die Kastenkonstruktion
  8. Zuschneiden der Kontaktschieber, Gewinde aufbringen, Bohren und Senken der Durchführungslöcher für die Kontaktdrähte
  9. Kontaktsatzkasten mit Aluminiumfolie umleimen, Vorder- und Rückwand zuschneiden, ebenfalls abschirmen (Bild 17.4 beachten)
  10. Abschirmfolie im Bereich der Bohrungen entfernen (Draht- und Schaltschieberdurchführungen)
  11. Filzdichtungstreifen in die Falze einkleben
  12. Schaltschieberlagerleisten anfertigen und an die Kontaktsatzkästen anschrauben

13. Spannbolzen anfertigen, montieren
  14. Kontaktträgerplatten und Schaltschieber in den Kontaktsatz einbauen
  15. Einziehen der Sammelschienen (Drähte)
  16. Ton- und Massesammelschienen an Messerkontaktleiste anschließen (Bild 17.10)
  17. Verharfungsleitungen einlöten (0,5-mm-Schalt Draht, blank, verwenden und mit Gewebeschlauch zwischen den einzelnen Lötstellen überziehen)
  18. Anfertigen bzw. Bereitstellen und Montage der Teile für die Schaltschieberjustiereinrichtungen
  19. Zusammenbau des Tastenkontaktsatzes mit der Klaviatur
  20. Justieren und Überprüfen der kompletten Baueinheit
  21. Ausblasen, Reinigen des Kontaktsatzkastens
  22. Verschließen der Baueinheit mit Vorder- und Rückwand, der Anschluß der Tonfrequenzleitungen vom Generatorsatz an die Verharfungsleitungen erfolgt später bei der Montage des Spieltisches (möglichst Steckverbindungen vorsehen)
- 

### 17.3. Klangformungsteil (Register)

Am wenigsten aufwendig ist der Aufbau des Klangformungsteils (Filterschaltungen), wenn die Registerschalter und Filter räumlich zusammengebaut werden, z. B. bei den Modellen K2/3 und K4 (siehe Bild 3.2 und Bild 3.4 in Teil 1, sowie Bild 10.87, Bild 10.90 und Bild 10.91 in Teil 3). Dagegen kann man bei Relais im Klangformungsteil die Anordnung der Filterschaltungen im Spieltisch freier wählen (als Beispiel siehe Instrument K1, Bild 9.42 und Bild 9.43 in Teil 2).

Die Filterschaltungen sollten zweckmäßig auf Lötösenplatten montiert und verschaltet werden. Man ordnet die Lötösen im Bereich jedes Registers so an, daß die Bauelemente der Filter in jeder beliebigen normalen Ausführung Platz finden. Dadurch wird das nachträgliche Verändern der Filterschaltungen z. B. beim Experimentieren erleichtert. Leitungen zu den Registerschaltern werden nicht abgeschirmt, wenn das Klangformungsteil eine Gesamtabschirmung erhält, die die Schalter und Leitungen noch ausreichend umgibt.

Am Eingang der Filter liegen die Frequenzen der Sammel-

schienen des Tastenkontaktsatzes. Die Filterausgänge werden in Gruppen zusammengeschaltet. Die Register einer Tastenebene bilden mindestens eine Gruppe. Je nach Ausführung des Instruments verlassen daher mehrere abgeschirmte Leitungen (Diodenkabel) das Klangformungsteil. Sie führen die Tonfrequenzen in der Regel Vorverstärkern zu (siehe Übersichtsschaltplan).

Der Amateur kann sich mit der Auswahl und dem Zusammenbau von Filtern verschiedenster Ausführungsformen sehr lange beschäftigen. Beim Selbstbau eines Instruments richtet man sich aber zunächst bei der Filterauswahl nach den Beispielen gemäß Bild 9.19 bis Bild 9.22, Bild 9.29, Bild 9.32 bis Bild 9.34 (Teil 2), Bild 10.21 bis Bild 10.23 (Teil 3) sowie Bild 21.2, um die Bauzeit nicht unnötig zu verlängern. Experimentiert werden kann zu einem späteren Zeitpunkt, wenn das Instrument voll funktionsfähig ist.

Man wählt zum Einbau die Filterschaltungen solcher Instrumente aus, deren Generatoren Tonfrequenzen mit etwa den gleichen Kurvenformen erzeugen, wie sie im Eigenbauinstrument vorhanden sind (siehe Filter der *TO 200/5* für Rechteckschwingungen, Bild 9.19 bis Bild 9.22 in Teil 2, im Vergleich zu den Filtern des Instruments K1 für sägezahnförmige Schwingungsverläufe, Bild 10.21 bis Bild 10.23 in Teil 3).

Natürlich lassen sich die Filter des Instruments K1 auch bei Rechteckschwingungen verwenden, es treten gegenüber sägezahnförmigen Tonfrequenzen jedoch Klangveränderungen ein. Umgekehrt würden die Filter der *TO 200/5* prinzipiell auch im Instrument K1 wirken (nur könnten z. B. die verschiedenen Einspeisungspunkte für Tonfrequenzen von mehreren Sammelschienenabschnitten der *TO 200/5* nicht ausgenutzt werden, da das Instrument K1 keine aufgeteilten Sammelschienen im Tastenkontaktsatz hat).

Beim Filtereinbau kann man entweder Register mit einem bestimmten Klangcharakter fordern (in Anlehnung an den Klang bekannter mechanischer Musikinstrumente), dann müssen die Filter Tonfrequenzen mit vorbestimmten Kur-

venformen liefern und dementsprechend bemessen sein, oder es werden zunächst verschiedene Filter eingebaut und erst später je nach ihrem Klang mit Namen wie Viola, Flöte, Trompete usw. versehen. In vielen Fällen wird von derartigen Bezeichnungen kein Gebrauch gemacht. Die Register erhalten dann nur chorweise fortlaufende Nummern (z. B. 8'/1, 8'/2, 8'/3, 4'/1, 4'/2 usw. Die Register /1 klingen innerhalb der Chöre am dunkelsten und nehmen mit steigender Bezifferung (/3, /4 usw.) immer hellere bis scharfe Klangfarben an. Die nachträgliche Benennung der Register führt beim Selbstbau eines Polyphons am schnellsten zum Ziel. Entscheidend ist beim Filtereinbau nur, daß man in den verschiedenen Fußlagen Register hat, die eine kontrastreiche und häufig wechselnde Klangfärbung ermöglichen und auch einzeln gespielt den individuellen Wünschen hinsichtlich ihres Klangcharakters gerecht werden. Dazu sind immer weiche, flötenartige Stimmen und Streicherklänge neben neutralen, den Prinzipalen der Pfeifenorgeln entsprechende, sowie scharf klingende Register notwendig. Besonders kontrastreiche Klangfarben lassen sich mit den Registern im 8'- und 16'-Chor erzielen. Bei näherer Betrachtung der Registerdispositionen verschiedener Instrumente kann man feststellen, daß allgemein nach diesen Grundsätzen gebaut wird. Klanglich zu fein abgestufte Festregister erhöhen den Bedienungsaufwand, für die Spielpraxis sind sie eher störend als nützlich.

Bild 10.94 und Bild 10.95, in Teil 3, zeigen einen Ausschnitt des Klangformungsteils (Registerfilter) des Instruments K4. Deutlich kann man die Drosseln für die Filterschaltungen erkennen. Sie sind jeweils an der hinteren langen Wand des Raumes angeschraubt, der die Registerplatten aufnimmt (siehe auch Bild 17.12).

Um das Grundgeräusch des Polyphons (Tonrauschen bei geöffnetem Schweller, wenn keine Taste gedrückt ist) gering zu halten, muß das Einstreuen von Tonfrequenzen vom Generatorsatz aus auf Schaltungskomplexe, die dem Tastenkontaktsatz nachgeschaltet sind (Sammelschienen des Tastenkontaktsatzes, Klangformungsteil, Vorverstär-



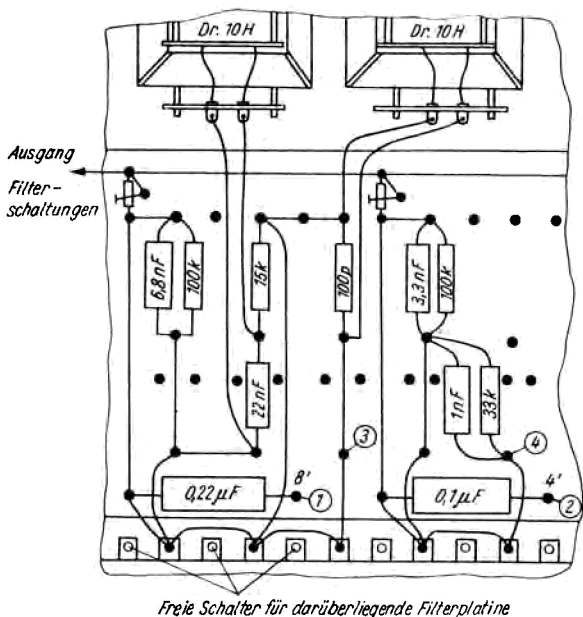


Bild 17.12 Registerplatine (Teilansicht vom Instrument K4, vereinfachte Darstellung); 1 - vom Tasterkontaktsatz (Sammelschiene 8'), 2 - vom Tastenkontaktsatz (Sammelschiene 4'), 3, 4 - zu den Kombinationsregistern, Mixturen, Zimbel usw. (siehe Bild 10.22, Registerfilter)

kerstufen usw.), verhindert werden. Es ist daher zweckmäßig, auch die Registerplatten mit einer Gesamtabschirmung zu versehen. Im Instrument K4 bilden die metallischen Bodenplatten zugleich eine ausreichende Abschirmung. Die Leitungen von den Sammelschienen des Kontaktsatzes zum Klangformungsteil werden nicht einzeln, sondern gemeinsam abgeschirmt (mit Metallgewebeschlauch ummanteln). Für die wenigen Ausgangsleitungen des Klangformungsteils zu den Vorverstärkerstufen, Effekt-einrichtungen oder Reglern wird Diodenkabel benutzt. Bei einigen abgeschirmten Leitungen ist der Abschirmmantel

nicht dicht genug. Das kann zu Verkopplungen oder Brummerscheinungen führen. Zu steife Leitungen mit zu groben Litzen oder Massivdraht lassen sich schlecht verarbeiten, sie sind für feine Verdrahtungsarbeiten ungeeignet. Diese Faktoren sollte man beim Einkauf des Leitungsmaterials beachten. Die Masseanschlüsse der abgeschirmten Leitungen müssen gut abisoliert sein, da gerade an diesen Stellen leicht Massekurzschlüsse entstehen. Abschirmmäntel werden nicht als Masseleitungen verwendet, sondern nur einseitig zur Abschirmung einer Tonleitung an Masse angelötet.

In der Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, für Widerstände, die die Durchlaßkurven der Filter beeinflussen, Trimmregler einzubauen. Dies gilt auch für die Entkopplungswiderstände am Ausgang der Filter. Dadurch lassen sich die Festregister weitestgehend individuellen Wünschen hinsichtlich Klang und Lautstärke anpassen. An Stelle von Festregistern kann man auch stetig regelbare Filter getrennt für jede Fußlage einbauen. Ferner können die Oberwellen durch RC-Glieder ausgefiltert und für jeden Chor sinusförmige Tonfrequenzspannungen gebildet werden. Man erhält flötenartige Stimmen, die nach dem additiven Verfahren mischbar sind, wenn den Grundtönen durch Regler Obertöne (Chöre höherer Fußlagen) mit unterschiedlicher (regelbarer) Amplitude zur Klangfärbung hinzugesetzt werden. Amateure, die wie üblich sowohl die selektive als auch die additive Klangbildung gleichzeitig anwenden wollen, finden in der Konstruktion der *TO 200/5* oder der *TO 200/53* (siehe Teil 2, Abschnitt 9.4. und Abschnitt 9.5.) gute Beispiele für diese Bauweise. Der zusätzliche Einbau einer additiv wirkenden Klangformung (Flötenregister in den genannten Instrumenten), die sich auf sinusförmigen Schwingungen aufbaut, ist eine sehr wertvolle klangliche Bereicherung für ein Polyphon, das universell für das Spiel verschiedener Musikarten einsetzbar sein soll.

Den mechanischen Aufbau des Klangformungsteils wählt man entsprechend der Gehäuseausführung des Instruments. Bewährt haben sich Registerbretter, die oberhalb

der Klaviatur nach Bild 3.2 (Teil 1), Modell K2/3, angeordnet sind. Bei 2manualigen Ausführungen ist der Instrumentenaufbau nach Bild 9.39, Teil 2 (Modell K4), günstig.

Industriell hergestellte einfachere Schalter erzeugen — als Registerschalter verwendet — oft zu starke elektrische, vor allem aber auch mechanisch zu laute Schaltgeräusche. Geeignete Ausführungen (z. B. Kellokschalter) sind bei der benötigten Stückzahl kostspielig. Daher lohnt sich der Eigenbau der Schalter nach Bild 10.87 (Teil 3).

Beim Entwurf des Registerteils sind auch Besonderheiten zu berücksichtigen, die sich aus dem Einbau von Klangeffektschaltungen ergeben (Perkussions- und Sustainreglstufen mit dazugehörenden Registern). In der Perkussionschaltung nach Bild 10.33 (Teil 3) können z. B. die 4'-Frequenzen von der 4'-Sammelschiene des Kontaktsatzes nicht direkt an die Filter gelegt werden. Die 4'-Tonfrequenzen gelangen erst zum Eingang der Schaltung nach Bild 10.31 (Teil 3) und anschließend zu den Filtern. Die vorgesehenen Effektregister zählt man mit zur Gesamtzahl der Register (Platz für die Schalter, Registerfilter und Regler einplanen).

In der folgenden Tabelle 17.4. sind die Arbeitsgänge zur Anfertigung der Registerplatinen und Registerschalter zusammengestellt.

**Tabelle 17.4.**    *Arbeitsgänge zur Anfertigung der Registerplatinen und Registerschalter*

---

1. Ausgehend vom Gesamtentwurf des Instruments werden die Abmessungen der Platinen festgelegt (zu berücksichtigen sind die konstruktiven Ausführungen und die Lage der Registerschalter sowie der Drosseln der Filterschaltungen).

Im Instrument K1 wurden 10-H-Drosseln verwendet (etwa 3800 Wdg., 0,12-mm-CuL auf Kern M 30). Geeignet sind auch Kerne E/I 42 ohne Luftspalt (wechselseitig geschachtelt). Es sind etwa 2400 Wdg., 0,12-mm-CuL aufzubringen.

2. Entwerfen der Platinen (Bestückungs- und Verdrahtungspläne, Lage und Anzahl der erforderlichen Lötösen einzeichnen).

Die Gesamtverdrahtung im Instrument (kurze Leitungsführungen zwi-

schen den Baugruppen besonders bei tonfrequenzführenden Leitungen) ist zu beachten. Man sollte sich über die Lage der Ein- und Ausgänge der Baugruppen unbedingt Klarheit verschaffen.

3. Vorbereiten der Bauelemente, eventuell Wickeln der Drosseln (Auftrag an Handwerkerbetrieb auch möglich). Anfertigen der Registerplatinen je nach Konstruktion: Zuschneiden, Entgraten, Ankörnen und Bohren der Platinen, Lötösen aufbringen, Bestücken und Verdrahten der Schaltungen.

Das Ankörnen kann wieder mit Papierschablone erfolgen, die man nach den Platinenentwürfen anfertigen kann (Durchstechen von Löchern zur Fixierung der Lage der Bohrlöcher). Die so angefertigten Schablonen werden mit den Ecken auf die Platinen geklebt (nur leicht anheften).

4. Aufbauen der Registerschalter. Die erforderlichen weiteren Verdrahtungsarbeiten richten sich nach dem sonstigen Aufbau des Registerteils (Schalter-Leiste mechanisch mit den Registerplatinen verbunden oder auf einem besonderen Bedienungsbrettchen untergebracht usw.). Gleichermaßen trifft dies für die Filterdrosseln zu.
  5. Die Baueinheiten befestigt man meist erst später im Spieltisch. Die Befestigungselemente können aber schon vorbereitet und angepaßt werden. Es empfiehlt sich, stets auszuprobieren, ob die Baugruppen wie geplant im Spieltisch Platz haben. Je früher ein Fehler in der mechanischen Gesamtkonstruktion erkannt wird, um so leichter läßt er sich korrigieren.
  6. Eine Funktionsprüfung der kompletten Filterschaltungen ist nicht erforderlich, wenn der Einbau des Klangformungsteils in den Spieltisch gut durchdacht wurde. Die Filterschaltungen sollten unbedingt im eingebauten und angeschlossenen Zustand zugänglich sein. Fehler machen sich im Betrieb bemerkbar. Da die Drosseln und Widerstände sowie die Kondensatoren in den Filterschaltungen oft nur klangbeeinflussende Wirkung haben, ist eine Vorprüfung der Bauelemente vorteilhaft. Windungsschlüsse in Drosseln oder defekte Widerstände könnten so schon vor dem Einbau ausgesondert werden. Der Klang eines Filters verändert sich beim Auftreten solcher Fehler bisweilen erheblich. Bei fehlenden praktischen Erfahrungen kann man dann schlecht entscheiden, ob die Filterwirkung normal ist oder nicht. Den Entschluß, Filter in ihrem Aufbau zu verändern, sollte man erst nach längerer Erprobung des Instruments fassen (Umstellen der Klangfarbe und der Lautstärke bestimmter Register nach individuellen Wünschen).
- 

## 17.4. Effekteinrichtungen

Die Baugruppen Amplitudenvibratogenerator, Perkussion und Frequenzvibratogenerator können nahezu an beliebiger Stelle im Spieltischgehäuse untergebracht werden. Man

baut sie zweckmäßig so ein, daß nicht unnötig lange Leitungsführungen zu den Bedienungselementen und zu den mit ihnen zusammenarbeitenden Baugruppen (Hauptgeneratoren, Vorverstärker, siehe Übersichtsschaltpläne) entstehen. Die Regelstufen für den Nachklang (Sustain) sollten in unmittelbarer Nähe des Tastenkontaktsatzes angebracht werden. Nach Bild 11.3 (Teil 3) liegen die Platinen der Sustainregelstufen und der Kontaktträgerplatten sowie die zugeordneten Klaviaturtasten etwa in einer senkrechten Ebene. Auf diese Weise ergeben sich kurze Tonfrequenz- und Schaltkontaktleitungen zwischen den Sustainregelstufen und dem Tastenkontaktsatz. Die Platinen und ihre Verdrahtung werden dadurch übersichtlich in den Gesamtaufbau des Instruments eingefügt.

Die Nachhallstrecke (Federhall) und der Hallverstärker sind am Ausgang des Instruments angeordnet. Die Hallstrecke wird vorteilhaft nach Bild 9.42 (Teil 2) oder senkrecht montiert.

#### *Besondere Hinweise:*

Den Amplitudenvibratogenerator betreibt man häufig als Blinkgeber (Multivibrator) in Verbindung mit einem Fotowiderstand nach Bild 10.31 (Teil 3). Es können nach Bild 17.13 auch Doppelblinkgeber mit 2 Lampen vorgesehen werden. Die Lampen müssen dicht am Fotowiderstand liegen. Die Anschlüsse des Fotowiderstands sollte man nicht kürzen, sondern zu einer Schleife legen und an Lötösen anlöten, so daß der Fotowiderstand in die richtige Lage zu den Lampen gebracht werden kann (ausprobieren). Die Lampen und den Fotowiderstand deckt man mit einer Haube ab (aus Pappe oder besser aus Blech lichtdicht anfertigen und die Innenseiten schwärzen). Der gleiche Fotowiderstand dient zur Erzeugung des Mandolineneffekts (Anbringen einer Glimmlampe sehr nahe am Fotowiderstand, die mit einer Kippschaltung betrieben wird. Siehe Bild 10.41, Teil 3).

Je nach Bemessung und Art des Amplitudenvibratogenerators entsteht ein Tremolo-Effekt (z. B. beim Harmonium

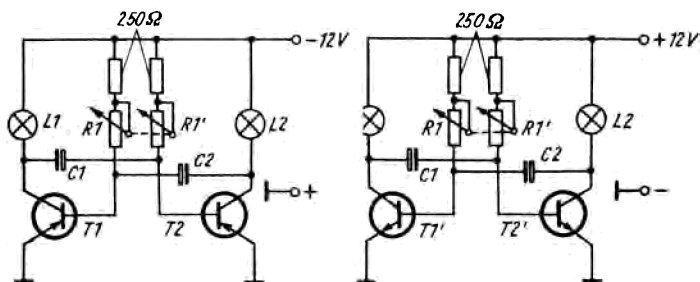


Bild 17.13 Doppelblinkgeber als Amplitudenvibratogenerator (zur Erhöhung der Vibratofrequenz geeignet)  
 L1, L2 = Lampen 10 V, 0,05 A  
 T1, T2 = Germaniumtransistoren ( $\geq 150$  mW)  
 T1', T2' = Siliziumtransistoren ( $\geq 150$  mW)  
 R1, R1' = Tandempotentiometer  $2 \times 2,5$  k $\Omega$   
 C1, C2 sind nach der Taktfrequenz zu bemessen (etwa 200  $\mu$ F)

durch einen sich drehenden Windflügel erzeugt) oder eine Wiederholungs-(Repeat-)Perkussion. Die Repeat-Perkussion bildet sich gut aus, wenn die Dunkelzeiten der Steuerlampe länger anhalten und ein scharfer Wechsel zwischen hell und dunkel erreicht wird. Derartige Steuerimpulse können einem Multivibrator entnommen werden, der möglichst ideal rechteckförmige Ausgangsspannungen mit steilen Flanken liefert. Einige Hersteller setzen zur Erzeugung eines weichen Tremolos auch Sinusgeneratoren ein. Die Steuerlampe am Fotowiderstand wird nur heller und dunkler gesteuert, Dunkelzeiten treten nicht auf.

Die Perkussionsschaltungen (Bild 9.24, Teil 2, und Bild 10.31, Bild 10.33 in Teil 3 zur Auswahl) sind etwas komplizierter aufgebaut. Das Beleben dieser Schaltungen ist durch stufenweise Signalverfolgung bzw. durch Messen der sich verändernden Gleichspannungen an den Transistoren bei eintreffenden Tonfrequenzsignalen vorzunehmen, wenn sie nicht sofort funktionieren. Das tritt häufig ein, weil die Arbeitspunkte der Transistoren zunächst ebenfalls stufenweise eingestellt werden müssen. Da es sich teilweise um Impulsverstärkerstufen handelt, sollte man einen Oszillografen verwenden. Oftmals sind in den Stromlaufplä-

nen Oszillogramme angegeben (Bild 9.24, Teil 2). Trimmwiderstände werden auf den maximalen Perkussionseffekt eingestellt. Er läßt sich an der Perkussionssteuerlampe optisch gut beobachten. Falls weniger erfahrene Amateure mit dem Beleben der Schaltung Schwierigkeiten haben, sollten sie sich von erfahrenen Freunden oder von Fachleuten Hilfe erbitten.

Der Aufbau eines Frequenzvibratogenerators wurde in Teil 2, Abschnitt 8., Bild 8.12, beschrieben (siehe auch Bild 17.14). Die Ausgangsspannung soll möglichst exakt sinusförmig (obertonarm) sein, da sonst eine zu pochende und hart klingende Frequenzmodulation entsteht. Eine gehörmäßige Beurteilung ist möglich, ein genaueres Bild vermittelt aber die mit einem Oszillographen wiedergegebene Kurvenform der Ausgangsspannung des Generators.

Für Interessenten, die mit ihrem Instrument Kompositionen für Pfeifenorgel klangschön spielen möchten, ist eine Vibratoerzeugung nach Bild 17.14 besonders geeignet. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß ein schwaches, sehr langsames Frequenzvibrato bei einer elektronischen Orgel in Verbindung mit dem Nachhalleffekt zu einem pfeifenorgelähnlichen Klang beiträgt. Mit der Generatorschaltung nach Bild 17.14 entstehen Schwebungsfrequenzen, die eine zweckentsprechende Modulation der Frequenzen der Muttergeneratoren und Teilerstufen ermöglichen.

Die Regelstufen für den Sustain montiert man im Spieltisch dort, wo sie jederzeit mühelos abgeglichen und nachgestellt werden können. Schon beim Entwurf der Platinen ist deshalb die Lage der Einstellregler festzulegen. Toneinstreuungen vom Generatorsatz auf den Ausgang der Sustainregelstufen müssen gering bleiben. Die Entkopplungs-

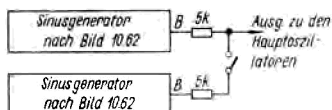


Bild 17.14 Frequenzvibratogenerator zur Erzielung pfeifenorgelähnlicher Klänge

widerstände am Eingang der Regelstufen sind möglichst weit entfernt von ihren Ausgängen anzuordnen. In Bild 10.25 und Bild 11.3 (Teil 3) erkennt man, daß die Entkopplungswiderstände nicht mit auf den Sustainplatinen, sondern auf einer separaten Lötleiste untergebracht wurden. Diese Maßnahme ist aber bei einem geschickten Aufbau der Regelstufen nicht unbedingt erforderlich. Es reicht aus, die Entkopplungswiderstände wie oben beschrieben auf den Platinen unterzubringen.

## **17.5. Regelung und Anpassung der Lautstärke**

Bei unterschiedlicher Registrierung in den einzelnen Tastenebenen bzw. im Baß- und Diskantbereich bei Instrumenten mit Manualteilung muß sich die Lautstärke aufeinander abstimmen lassen, um die Melodiestimme gegenüber der Begleitung etwas hervorheben zu können.

Diesem Zweck dienen Schichtdrehwiderstände (Potentiometer). In einigen Instrumenten befinden sich auch Flachbahnregler oder Schweller. Die Gesamtlautstärke wird fast ausnahmslos mit Fußschwellern beeinflußt, die man möglichst nach dem fotoelektrischen Prinzip betreibt. Wichtig ist auch, daß sich die Lautstärke der einzelnen Klangeffekte getrennt regeln läßt (siehe Übersichtsschaltplan). Durch diese Maßnahme können Effektklänge besonders hervorgehoben gespielt werden.

Da die Regler häufig bedient werden müssen, empfiehlt es sich, sie vor der Klaviatur tief gesetzt anzuordnen (siehe Bild 3.4, Teil 1). Bei 2manualigen Instrumenten legt man die Manuale dicht übereinander, so daß mit einer Hand gleichzeitig auf beiden Klaviaturen gespielt werden kann (lautstärkemäßige und klangliche Betonung z. B. einzelner Noten durch Einstellung unterschiedlicher Lautstärke bzw. Register der beiden Tastenebenen).

Zwischen den Manualen verbleibt wenig Platz für die Montage von Bedienungselementen. Der Einbau von Miniaturschaltern oder kleinen Reglern ist jedoch mit etwas Ar-



beitsaufwand an dieser Stelle möglich. Die Schalter und Potentiometer sollen aber mechanisch nicht zu labil ausgeführt sein. Eine Kennzeichnung der Drehknöpfe, aus der man die Einstellung der Regler erkennt, erwies sich als zweckmäßig.

## 17.6. Verstärker und Lautsprecher

In den Übersichtsschaltplänen sind die eingezeichneten Vorverstärker stets nur 1stufig ausgeführt. Die dem Register-  
teil folgenden Verstärkerstufen können nach Bild 10.34 in Teil 3 (1. Stufe oder 3. Stufe von links) geschaltet werden. Diese Vorverstärkerschaltungen haben einen relativ hohen Eingangswiderstand, weil die Filterausgangswiderstände hochohmig sind. Folgt der jeweils ersten Verstärkerstufe noch eine weitere Stufe, wird sie nach Bild 10.34 wie die 2. Stufe von links aufgebaut. Der Auskopplungskondensator C5 ist jedoch mit  $10\ \mu\text{F}$  zu bemessen, wenn dieser 2. Verstärkerstufe ein anderer Schaltungs- oder Verstärker-  
teil mit niederohmigem Eingangswiderstand folgt. Über die Einstellung der Arbeitspunkte der Transistoren in Vorstufen siehe Abschnitt 8., Teil 2. Bei der Parallelschaltung zweier oder mehrerer Stufen ist zu beachten, daß die Verstärkerausgänge nur über Entkopplungswiderstände (etwa 68 bis  $100\ \text{k}\Omega$ ) zusammengeschaltet werden dürfen (siehe Bild 10.34, Teil 3, dort R19 und R21). Über die Schaltungstechnik von NF-Vorverstärkerstufen findet man in der Literatur [19], [20], [27] weitere Hinweise.

Die an den Ausgang der Instrumente anzuschließenden „Endverstärker“ haben grundsätzlich nicht nur Endstufen, sondern auch Vor- und Klangregelstufen.

Der Aufbau eines Polyphons ist mit Arbeits- und Zeitaufwand verbunden. Wie fast alle Baugruppen eines Instruments kann man auch den Endverstärker in der Bastelwerkstatt herstellen. In Zeitschriften (*radio und fernsehen*, *FUNKAMATEUR* u. a.) wurden wiederholt Bauanleitungen veröffentlicht. Der Selbstbau von Leistungsverstärkern mit

Vor- und Klangregelstufen erfordert praktische Erfahrungen, wenn bestimmte Qualitätsmerkmale erreicht werden sollen. Einige Bauanleitungen sind so ausführlich abgefaßt, daß der Nachbau auch für weniger erfahrene Amateure erfolgversprechend ist.

Der Entschluß, einen Endverstärker aus industrieller Fertigung zu kaufen, fällt manchmal schwer, da solche Erzeugnisse nicht billig sind. Trotzdem sprechen einige Fakten für den Kauf. Man spart die Zeit für den Bau des Verstärkers und hat außerdem die Gewähr, daß der industriell gefertigte Verstärker konstruktiv und funktionell in Ordnung ist. Derartige Erzeugnisse werden, bevor sie in die Serienfertigung gehen, gewissenhaft entwickelt und erprobt. Beim Selbstbau eines Verstärkers erreicht man dagegen die geforderten Parameter (Frequenzgang, Sprechleistung, Klirrfaktor) nur selten, wenn die dazu notwendigen Erfahrungen und Meßmittel fehlen.

Die Lautsprecherboxen zum Verstärker werden möglichst gleich mitgekauft. Nach Abschnitt 10.4.6.2., Teil 3, ist auch der Eigenbau von Lautsprecherboxen möglich. Er lohnt sich aber nur, wenn dafür geeignete Lautsprecher zur Verfügung stehen.

Sollen Verstärker und Lautsprecher mit in den Spieltisch eingebaut werden, liegt der Selbstbau des Endverstärkers nahe, da in diesem Fall keine Verstärker- und Lautsprechergehäuse erforderlich sind. Denkbar wären allerdings auch Konstruktionen, die die Gehäuse mit in den Spieltisch einbeziehen. Der Spieltisch könnte dann z. B. in der Art nach Bild 12.3 ausgeführt werden, indem das Spieltischgestell 4beinig und stabiler gebaut wird. Zwischen die Beine der Orgel würde man ein separates Gehäuseteil einsetzen, das den Endverstärker und die Lautsprecher aufnimmt. Weitere Anregungen für den Entwurf eines Spieltischgehäuses können auch aus Bild 12.1 bis Bild 12.8 entnommen werden.

#### *Literatur:*

Zeitschrift „radio und fernsehen“, 1963, H. 2, S. 45 (Verstärker 40 W) und 1964, H. 8, S. 253 (Verstärker 60 W).

## 17.7. Stromversorgungsteil

Die Stromaufnahme der Baugruppen ist so gering, daß für alle Modelle ein einheitlicher Netzteil verwendet werden kann. Für den Endverstärker plant man einen separaten Stromversorgungsteil, auch wenn er mit in das Instrument eingebaut wird. Handelsübliche Verstärker sind ohnehin mit einem eigenen Netzteil ausgerüstet. Die Polyphone in den verschiedenen Ausführungen A und B können grundsätzlich mit einem Netzteil nach Bild 17.15 betrieben werden. Als Netztransformator eignen sich Typen zwischen 45 und 60 VA. Die unterschiedlichen Verbraucherspannungen, z. B. für Effekteinrichtungen, Sperrschwinger, Lampen usw., lassen sich an verschiedenen Wicklungen und an Spannungsteilern abgreifen (Bild 17.15a).

Die Bauelemente zur Bereitstellung von Spannungen, die bei den einfachen Instrumenten A/1 und B/1 nicht benötigt werden, können entfallen. Beim Einbau der Netzteile in den Spieltisch sind eventuelle Brummeinstreuungen zu beachten. Der Raum für den Netzteil sollte nicht zu eng bemessen sein. Außerdem ist es vorteilhaft, den Netztransformator so anzuordnen, daß er sich in verschiedenen Lagen einbauen läßt. Man kann ihn dann drehen, wenn Brummeinstreuungen z. B. auf Filterdrosseln einwirken. Grundsätzlich wird der Netztransformator nicht in der Nähe von Baugruppen untergebracht, die Baßfrequenzen erzeugen, weiterleiten oder verstärken (Tongeneratoren, Klangfilter, Vorverstärker). Abgeschirmte Leitungen dürfen nicht direkt am Netztransformator vorbeigeführt werden, da sie Brummspannungen aufnehmen können.

Der Aufwand für eine Netzteilausführung nach Bild 17.15b lohnt sich. Durch die Stabilisierung der Ausgangsspannungen wird die baugruppenweise Inbetriebnahme eines Instruments erleichtert, denn Belastungsschwankungen wirken sich in den Verbraucherstromkreisen nur wenig aus. Das Verlegen und Anschließen von Masseleitungen wurde bereits in Abschnitt 11. (Teil 3) erläutert.

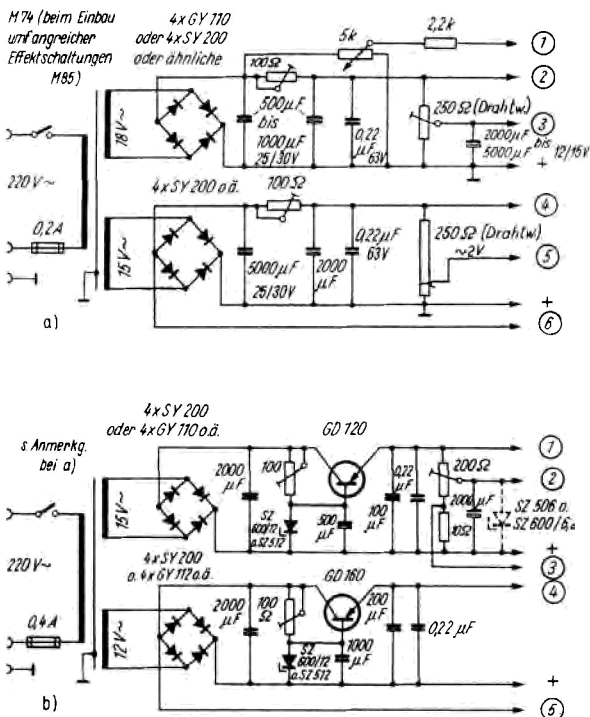


Bild 17.15 Beispiele zur Ausführung von Netzteilen für Polyphone (Endverstärker dürfen nicht aus diesen Netzteilen gespeist werden, da sie einen zu hohen Stromverbrauch haben), Netzschutzkontakt beachten;

a = unstabilisiert

1 - Spannung für Gesamtstimmung (sie wird in der Regel zusammen mit der Frequenzvibratospannung in die Hauptgeneratoren eingespeist), 2 - -12 V bis -15 V, Betriebsspannung für Hauptgeneratoren, 3 - -6 V für Sperrschwingerfrequenzverteiler, 4 - -12 V für Effektschaltungen (Sustain, Vibrato, Perkussion) und für Vorverstärker, 5 - Spannung für die Sammelschienen der Sustainstufenkontakte (Öffnen der Sustainregelstufen bei Tastenbetätigung), 6 - Spannung für Lampen (Perkussion, Amplitudenvibrato)

b = stabilisiert

1 -  $\approx$  -12 V für Hauptgeneratoren, 2 -  $\approx$  -6 V für Sperrschwingerfrequenzverteilerstufen [bistabile Multivibratorstufen würde

man mit an 1 anschließen. Die Bauelemente, die zum Abgriff der Spannung 6 V vorhanden sind, können dann entfallen (2000  $\mu$ F, SZ 506). Wenn keine andere Spannung abgegriffen werden soll, kann auch der Widerstand 200  $\Omega$  entfallen], 3 - Spannung für die Sammelschiene der Sustainstastenkontakte, 4 -  $\approx -12$  V z. B. für Effektschaltungen, Vorverstärker, 5 - Spannung für Lampen in Effektschaltungen. Wird z. B. ein kräftiges Frequenzvibrato gewünscht, kann auch der Frequenzvibratogenerator mit der höheren Spannung ( $\approx -18$  V, Punkt 5) gespeist werden. Für die hier auftretenden Belastungen die Leistungs-Z-Dioden auf Kühlblech je etwa 30 mm  $\times$  60 mm  $\times$  2 mm Aluminium, den GD 120 bzw. GD 160 auf Kühlblech etwa 80 mm  $\times$  60 mm  $\times$  2 mm Aluminium montieren (ansonsten Dioden- und Transistordaten und Kühlvorschriften beachten!)

## 17.8. Inbetriebnahme eines Instruments

In Teil 2, Abschnitt 8., wurde der Aufbau und die Erprobung von Versuchsschaltungen beschrieben. Die Funktionsfähigkeit aller Bausteine und Baugruppen des Instruments sollte in der dort beschriebenen Weise unbedingt überprüft werden, denn im ausgebauten Zustand lassen sich diese Arbeiten am einfachsten ausführen. Durch mehrere gleichzeitig in einer Gruppe wirkende Fehler kommt es außerdem schnell zu Verwirrungen. Ein systematisches Vorgehen ist daher angebracht. Man beginnt mit der Prüfung von Einzelteilen vor ihrem Einbau. Es folgen die Bausteine, zuletzt überprüft man die Funktion vollständiger Baugruppen. In Abschnitt 17.1. bis Abschnitt 17.7. wurde bereits auf wichtige Funktionskontrollen hingewiesen.

Bei der Inbetriebnahme eines kompletten Instruments muß — wenn folgerichtig gearbeitet wurde — nur noch das richtige Zusammenwirken der einzelnen Baugruppen überprüft werden. Man kann die Stromkreise für jede Baugruppe einzeln absichern. Dadurch lassen sich Fehler später leichter einkreisen, wenn z. B. in einer Baugruppe ein zu hoher Strom fließt. Die separate Absicherung der einzelnen Verbraucherstromkreise hat weiterhin den Vorteil, daß z. B. bei Kurzschluß in einer Klangeffektschaltung nicht das gesamte Instrument ausfällt.

## **18. Möglichkeiten nachträglicher Erweiterungen**

Der Einbau zusätzlicher Baugruppen erfordert freien Raum im Spieltischgehäuse. Bisweilen müssen beim Einbauen weiterer Effektschaltungen bereits vorhandene Baugruppen nur erweitert oder verändert werden. Diese Arbeiten lassen sich aber nur durchführen, wenn der für sie notwendige Platz beim Entwurf des Instruments eingeplant wurde. Der Amateur sollte sich deshalb besonders beim Bau eines kleineren Instruments an größeren Modellen einen Überblick von den Zusatzeinrichtungen verschaffen, die er eventuell noch später in sein Instrument einbauen möchte.

Sustainschaltungen erfordern z. B. eine zusätzliche Tastenkontaktreihe. Ihr Einbau ist nicht aufwendig, wenn die Kontakte sofort mit in den Tastenkontaktsatz eingebaut werden. Später müßte man die erforderlichen Kontakte irgendwie an die Klaviatur montieren.

Die Schaltungen für den Perkussionseffekt können an beliebigen Stellen im Spieltisch angeordnet sein. Trotzdem sollte der notwendige Platz für die Platinen einkalkuliert werden.

Schaltungen für elektronische Schlagzeuge befestigt man meistens in Kastenform am Spieltisch links und rechts unterhalb der Klaviatur, so daß die Bedienungselemente gut zugänglich sind. Die Schaltungen eines großen Schlagzeugs können teilweise — in flachen Gehäusen untergebracht — auch an die Rückwand eines Polyphons geschraubt werden. Als selbständige Funktionseinheit stellt man bisweilen die Schlagzeug direkt auf die Orgel (siehe Bild 12.3). Diese Wege werden beschränkt, wenn der nachträgliche Einbau in die Instrumente am Platzbedarf scheitert.

Inzwischen besteht durch die fortschreitende Miniaturisierung und durch die Verwendung integrierter Schaltkreise die Möglichkeit, auch umfangreichere Schaltungen

wie z. B. die eines elektronischen Schlagzeugs direkt mit im Spieltischgehäuse eines Instruments unterzubringen. Diese Lösung ist der separaten Montage der Baueinheiten vorzuziehen. Es läßt sich voraussehen, daß dem Amateur zum Zeitpunkt eigener Bauplanungen nach der vorliegenden Anleitung ein reichhaltiges Angebot geeigneter Schaltkreise und auch Schaltungsunterlagen zur Verfügung stehen (s. Schlußbetrachtungen Teil 4, S. 132).

Der Anschluß zusätzlicher Verstärker oder Tonstrahler in Form von Boxen oder Schallwänden ist jederzeit durchführbar, da hiervon die Gestaltung des Spieltisches nicht betroffen wird. Es ist nicht schwierig, 2 oder 3 Diodenbuchsen (Ausgänge für Verstärker und zum Anschluß von Tonbandgeräten) an geeigneter Stelle am Spieltisch anzubringen. Die Buchsen lassen sich auch als Eingänge für den Orgelverstärker verwenden, wenn er fest im Spieltisch eingebaut ist (Wiedergabe von Tonband- und Schallplattenaufzeichnungen). Die Eingänge führt man verschiedenen Punkten der NF-Verstärkerschaltungen im Spieltisch zu, so daß wahlweise nur der Endverstärker oder auch Vorverstärkerstufen, die Halleinrichtung und der Schweller des Polyphons mit benutzt werden können.

## 19. Erfahrungen aus der Reparaturpraxis

Beim Bau eines Instruments lernt man seine Funktionsweise sehr genau kennen. Das Einkreisen von auftretenden Fehlern ist zuletzt kaum noch kompliziert. Allerdings sollte man sich genaue Schaltungs- und Aufbauunterlagen von seinem Selbstbauinstrument anfertigen. Übersichtsschaltpläne, Stromlaufpläne und Aufzeichnungen von der Platinenbestückung erleichtern die Arbeit während irgendwelcher Reparaturen erheblich, denn nach einigen Jahren kann man sich an Einzelheiten des mechanischen und des elektrischen Aufbaus der untereinander sehr verschiedenen Baugruppen nicht mehr erinnern.

Nicht anders verhält es sich bei industriellen Erzeugnissen des elektronischen Musikinstrumentenbaues. Die Serviceunterlagen für die Instrumente sind oft sehr ausführlich angelegt, um dem Servicetechniker die Fehlersuche so leicht wie möglich zu machen. Derartig umfangreiche Unterlagen können als Vorbild für die eigene Arbeit dienen.

Im zweiten und dritten Teil wurde herausgestellt, daß es zwischen den verschiedenen Instrumenten Aufbau- und Schaltungsvarianten gibt. Sie sind aber technisch nicht so kompliziert, daß man ihre Wirkungsweise nicht erfassen könnte. Natürlich muß man sich mit den Stromlaufplänen gründlich befassen. Weiterhin sollten Neuentwicklungen studiert werden, wenn man Fachmann auf dem Gebiet elektroakustischer Musikinstrumente bleiben möchte.

Fehler an einem Instrument zeigen sich je nach seinem Aufbau in verschiedener Weise (z. B. Fehler in Teilerstufen). In Tabelle 19.1. sind daher typische Fehler aufgeführt, die an bestimmten Modellen auftreten können. In der Praxis ist die Fehlerhäufigkeit geringer als das beim Betrachten der Tabelle den Anschein erweckt.

Reparaturarbeiten an elektroakustischen Musikinstrumenten erstrecken sich vorwiegend auf Pflegearbeiten wie Ein-



stell-, Reinigungs- und Justierarbeiten. Eine große Rolle spielen dabei das Alter und die Behandlung der Instrumente. Schaden wird von Laien oder zu wenig qualifizierten Funkmechanikern angerichtet, wenn sie ohne ausreichende Sachkenntnis versuchen, elektronische Orgeln zu reparieren. Der Autor brachte schon mehrere solcher Instrumente, die z. B. auch völlig falsch abgeglichen (verglichen) worden waren, wieder in Ordnung. Der Zeitaufwand ist in solchen Fällen sehr groß.

Tabelle 19.1. Fehlerkompaß

Fehler:  
 Generator schwingt nicht, die gesamte Sperrschwingerteilerkaskade erzeugt daher röhrende Töne (Kaskaden mit bistabilen Multivibratoren als Teiler fallen völlig aus, da die Synchronisationsimpulse fehlen)

Unsaubere Tonerzeugung  
 (rauh, heiser)

Schlechte Stimmungskonstanz aller oder einzelner Töne  
 (Tonhöhe ändert sich oder springt)

Schwingungen setzen aus

Ursachen und Abhilfe:  
 Fehlen von Spannungen, Transistoren oder andere Bauelemente schadhaft, Spannungen nachmessen, Bauelemente überprüfen

Siebung der Speisespannung unzureichend, größere Lade- und Siebkondensatoren einsetzen, Netzteil überprüfen (je nach Schaltungsart). Transistoren versuchsweise auswechseln

Konstanz der Betriebsspannung überprüfen, Transistoren fehlerhaft, Bauelemente, besonders Regler überprüfen, kalte Lötstellen

Bauelemente und Verdrahtung abklopfen bzw. leicht bewegen (Aufsuchen kalter Lötstellen, Auffinden schadhafter Bauelemente), Spannungen nachmessen.

Thermische Fehler mit Föhn (warm, kalt) herauszufinden versuchen. Oft zeigen Transistoren derartige Fehler, bisweilen schwingen solche Exemplare erst an, wenn sie einen Spannungstoß erhalten

---

### Teilerstufen

Fehler bei Sperrschwingern.  
Teilerstufen erzeugen falsche  
Tonfrequenzen, Töne springen  
oder flattern

Ursachen und Abhilfe:

Einstellung der Synchronisationsbereichsregler überprüfen, Synchronisationsbereich zu eng (Wert des frequenzbestimmenden Kondensators verändern, Transistor wechseln). Werte der Synchronisationskoppelkondensatoren überprüfen, eventuell variieren

Fehlende oder stark röhelnde Tonerzeugung

Generatorausgänge abhören. Fällt die Ausgangsspannung an einem Teiler aus, geben alle nachfolgenden Teilerstufen infolge fehlender Synchronisation röhelnde oder flatternde Töne ab. Wird ein Teiler der Kette nicht synchronisiert, geben dieser und alle nachfolgenden Teiler ebenfalls röhelnde Töne ab (Spannungen und Lötstellen kontrollieren. Transistoren und andere Bauelemente in den betreffenden Stufen überprüfen)

Läßt sich eine Teilerstufe nicht synchronisieren und erzeugt einen röhelnden Ton, kann der Fehler schon im davorliegenden Teiler liegen (versuchsweise Transistoren wechseln). Es ist in solchen Fällen auch ratsam, den nachfolgenden Teiler, um Rückwirkungen auszuschalten, abzutrennen (Synchronisationskoppelkondensator einseitig ablöten)

<b>Flick-Flop-Teiler</b> (bistabile Multivibratoren) Ab einer bestimmten Oktave fehlen die tieferliegenden Oktavtöne	Fehler in einer Stufe der Teilerkaskade. Ausgänge der Stufen abtasten und feststellen, bei welchem Teiler erstmalig die Ausgangsspannung fehlt (bei der Stufe mit der höchsten Frequenz beginnen). Bereits das Fehlen der Synchronisationsimpulse führt zum Verstummen der Teilerstufe
<b>Keine Frequenzteilung</b>	Die Spannungen und die Bauelemente der betreffenden Stufe sind zu überprüfen (Kondensatoren und Transistoren nachmessen)
<b>Frequenzvibratogenerator</b> Generator schwingt nicht	Stromverstärkung des Transistors in der Schwingstufe zu klein oder Arbeitspunkt falsch eingestellt. Überprüfen der Schaltung, Spannungen nachmessen, Bauelemente prüfen
<b>Vibrato klingt nicht weich, pochende Wiedergabe</b>	Oberwellengehalt der Generatorausgangsspannung zu groß (nicht sinusförmig). Untersuchungen mit dem Oszillografen, Bemessung der Schaltung verändern bzw. Ausgangsspannung über ein Tiefpaßfilter leiten (RC-Siebketten)
<b>Tastenkontaktsatz</b> Fehlen eines Tones	Funktion des angeschlossenen Generators (Steueroszillator oder Teiler) überprüfen. Signalverfolgung mit Hilfsverstärker oder über den TA-Eingang eines Rundfunkempfängers vornehmen (Funktion des Tastenkontaktes und des Entkopplungswiderstands im Kontaktsatz überprüfen). Lötstellen kontrollieren und feststellen, ob eventuell ein Schluß vorliegt

---

Tonwiedergabe auf einzelnen Tasten unsauber, es treten Nebengeräusche (Prasseln, Kratzen, Zischen) auf

Funktion des angeschlossenen Generators überprüfen. Meistens liegen Übergangswiderstände an den Tastenkontakten vor (Kontakte vorsichtig reinigen). Kontaktdruck überprüfen, Justage verbessern.

Bei anderen Tastsystemen (Kohleschichtschleifbahnen, Glimmlampen als Tastenkontakte) ist die Funktion dieser Bauelemente zu kontrollieren (abgenutzte oder unsaubere Schleifbahnen, schadhafte Glimmlampen auswechseln)

#### *Klangformungsteil (Register)*

Register schaltet nicht ab oder nicht ein

Registerschalter nicht funktionsfähig, reinigen oder nachjustieren

Register erklingen zu laut (leise) oder weisen einen unnormalen Klangcharakter auf

Die Schaltung der Registerfilter muß überprüft werden (Verstellung von Reglern, defekte Bauelemente, kalte Lötstellen). Tritt der Fehler bei allen Registern auf, sind die nachgeschalteten Vorverstärkerstufen zu untersuchen. Bei Filtern mit aktiven Bauelementen (Transistoren oder Röhren) sind diese ver-suchsweise auszuwechseln

#### *Vorverstärker*

Bestimmte Wiedergabekanäle (Register, Effektschaltungen) oder das gesamte Klangbild des Instruments sind verzerrt, bisweilen fehlt die Wiedergabe vollkommen

Die Vorverstärkerstufen sind an Hand des Übersichtsschaltplans des jeweiligen Instruments zu untersuchen. Der Fehler muß eingekreist werden, indem man sich Klarheit darüber verschafft, aus welcher Vorverstärkerstufe Verzerrungen kommen. Wenn möglich, sollten zur Fehlersuche ein Tongenerator und ein Oszillograf benutzt werden.

---

Die Fehlermöglichkeiten sind vielseitig, man muß durch Messungen die Ursache des Ausfalls einer Stufe herausfinden (Bauelemente, Unterbrechungen usw.). Bei Verzerrungen liegen häufig falsche Arbeitspunkteinstellungen der Transistoren oder zu große Eingangsspannungen vor

### *Netzteile*

Spannungen zu niedrig

Zu hohe Verbraucherströme, zu kleine Lade- und Siebkondensatoren.

Falsch bemessene Wicklungen bei selbstgewickelten Transformatoren (Windungszahlen und Drahtquerschnitte). Überprüfen der Gleichrichterstrecken und sonstigen Bauelemente (Siebwiderstände, Belastungswiderstände usw.)

Durchschlagen von Sicherungen, Fehlen von Spannungen

Verbraucherstromkreise nacheinander überprüfen (alle Verbraucher abtrennen und nacheinander einzeln zuschalten). Vorerher Leerlaufstromaufnahme des Netztransformators prüfen. Schaltung auf Kurzschlüsse prüfen (durchgeschlagene Elektrolytkondensatoren, Anlieger durch Isolationsschäden).

Bei nur fehlenden Spannungen ohne Sicherungsdurchschlag liegen wahrscheinlich Unterbrechungen vor. Spannungen und Ströme sind zu messen, Bauelemente zu prüfen

---

### *Effektschaltungen*

Zur Effektklangerzeugung dienen die verschiedenartigsten Schaltungen, so daß kein allgemeingültiger Fehlerkompaß angegeben werden kann. Man muß sich die Wirkungsweise der jeweils angewendeten Schaltung erarbeiten und entsprechend der Erkenntnisse den Weg zum Auffinden eines Fehlers selbst festlegen. In der Regel geht man dabei stufenweise vor, besonders, wenn sich die Einkreisung des Fehlers als schwierig erweist. Häufig wird in Effektschaltungen mit Impulsen gearbeitet, so daß die Benutzung eines Oszillografen wirtschaftlich manchmal sogar unerläßlich ist, wenn man zielstrebig arbeiten möchte.

Weiterhin besteht ein Unterschied zwischen der Reparatur eines industriell hergestellten Instruments und dem Beleben einer selbst angefertigten Baugruppe, in die sich mehrere Fehler während der eigenen Arbeit eingeschlichen haben können.

## **20. Entwicklungstendenzen im elektronischen Musikinstrumentenbau**

Technische Veränderungen und Neuerungen sind im elektronischen Musikinstrumentenbau seit Jahren aktuell. Durch die große Anzahl gleicher Baustufen bieten sich integrierte Bausteine an. Einige ausländische Firmen spezialisierten sich bereits auf die Entwicklung und Herstellung Integrierter Schaltkreise (IS) speziell für elektronische Orgeln. Auch in der DDR gibt es Bausteine der IS-Technik, die sich zum Bau elektronischer Musikinstrumente verwenden lassen (Verstärker, Flip-Flop-Teiler u. a.).

Mit Einführung dieser Technik wurde es möglich, eine große Anzahl passiver und aktiver Bauelemente auf engstem Raum unterzubringen. Elektronische Schaltungen z. B. an Stelle von mechanischen Tastenkontakten einzusetzen erfordert in konventioneller Technik einen großen Aufwand und vor allem viel Platz. Bei integrierten Bausteinen trifft das nicht zu.

Von der Industrie werden Integrierte Schaltkreise in zunehmender Anzahl in Musikinstrumente eingebaut. Es kann eingeschätzt werden, daß in einigen Jahren neuentwickelte Instrumente in den Hauptbaugruppen nur noch Integrierte Schaltkreise haben. Die Größe eines Instruments wird dann vorwiegend von den Tastaturen und von den Bedienungselementen bestimmt.

Weiterhin wird auch an dem Problem gearbeitet, die Stimmungskonstanz elektronischer Musikinstrumente zu verbessern [36]. Dabei geht man von einem Muttergenerator aus, der im MHz-Bereich schwingt. Alle 12 Töne der höchsten Oktave werden von diesem Taktgeberschaltkreis mit exakt gleichtemperierter Stimmung untereinander digital abgeleitet. Durch Variation der Frequenz des Taktgebers läßt sich das gesamte Instrument nachstimmen.

Ein Anwendungsbeispiel Integrierter Schaltkreise in elektronischen Orgeln zeigen Bild 20.1 bis 20.3. Der Bau von



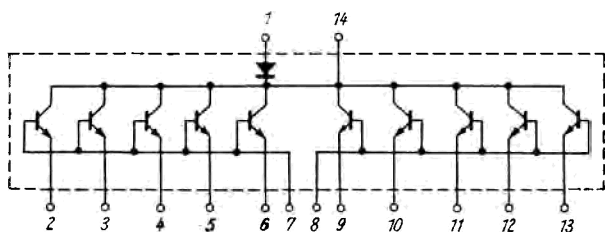


Bild 20.1 Innere Schaltung eines integrierten Gatters für elektronische Musikinstrumente

Instrumenten mit mehreren Chören erforderte bisher je Taste eine der Chorzahl entsprechende Anzahl von Tastenkontakten. Bei größeren Instrumenten mußten daher 8 und mehr mechanische Kontakte über oder unter jeder Taste montiert werden. Mit integrierten Gatterschaltungen benötigt man je Taste nur noch einen mechanischen Tastenkontakt. Die Funktion der Tonfrequenzschalter übernehmen die Gatterschaltungen. Die Innenschaltung eines dazu entwickelten IS zeigt Bild 20.1. Nach Bild 20.2 werden der Tastenkontakt und die Tonfrequenzspannung jeweils an

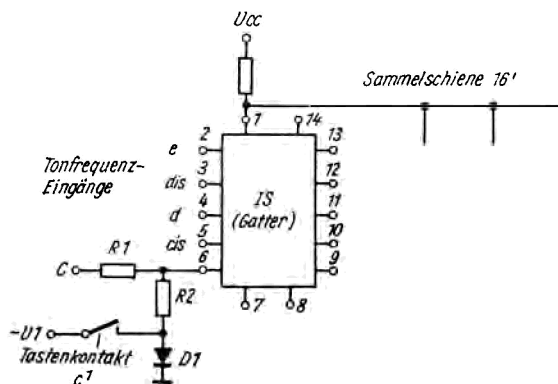
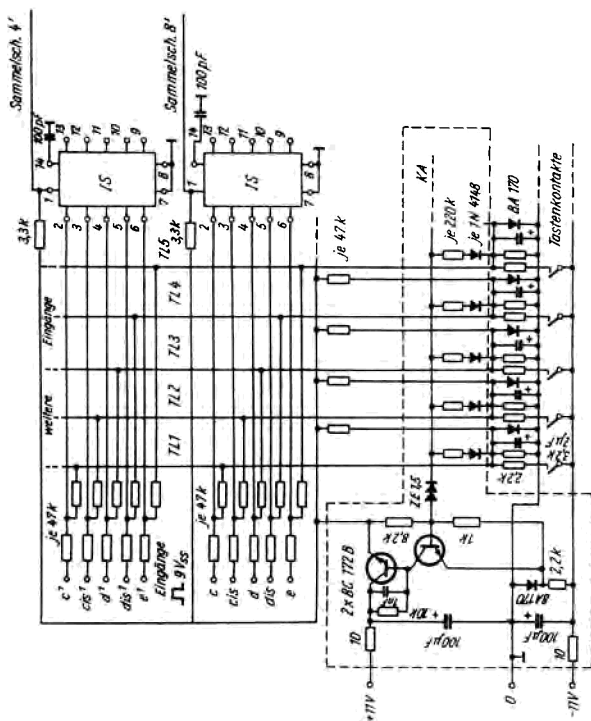


Bild 20.2 Anschlußprinzip des Gatters nach Bild 20.1



**Bild 20.3** Verharfung mit integrierten Gattern.  
Der untere Schaltungsteil (gestrichelt umrandet) dient der Unterdrückung des Einschaltklickens und der Nachbildung von Ein- und Ausschwingvorgängen (Widerstände 2,2 k $\Omega$  und 3,2 k $\Omega$ . Elektrolytkondensatoren 2  $\mu$ F und Dioden BA 170)

einen Emittter der im IS enthaltenen Transistoren angeschlossen.

An Punkt 6 liegt z. B. der Kontakt der Taste c<sup>1</sup> und über R1 wird die Tonfrequenz c zugeführt, wenn eine 16'-Sammeleischiene vorgesehen ist. Die Tastleitung des Tastenschalters legt man an weitere Gatter, um noch andere Chöre zu bilden (siehe Bild 20.3). An Punkt 5 würde dann die Taste

cis<sup>1</sup> und die Frequenz cis liegen. Die insgesamt 10 Eingänge eines IS könnten eine Gruppe (einen Sammelschienenabschnitt) bilden, z. B. zur Speisung von Sinusfiltern, die mehrere Tonfrequenzeinspeisungspunkte haben.

Die Schaltung nach Bild 20.3 zeigt das Prinzip, wie eine Verharfung auszuführen ist. Die Dioden in den Kollektorleitungen der integrierten Bausteine unterdrücken Störspannungen, die über die Basis-Kollektor-Kapazitäten von den Eingängen auf den Kollektorkreis übertragen werden, wenn die Eingangssignale sehr obertonreich sind (z. B. steile Flanken von Rechteckimpulsen). Ohne die Dioden würde Tonrauschen durch kapazitives Überstreuen von hohen Frequenzen auftreten. Die Sperrung der Tonfrequenzen durch mechanische Umschaltkontakte, die die Tonfrequenzen an Masse legen, wenn keine Taste betätigt ist, wirkt vollkommener als bei den Gatterschaltungen. Dieser Nachteil der integrierten Gatterschaltungen wird durch die Dioden teilweise ausgeglichen, denn sie sind bei gesperrtem Gatter hochohmig. Die Wirkung der Dioden kann noch verbessert werden, indem man von Punkt 14 eines jeden IS einen Kondensator von 100 pF gegen Masse legt (Beschneidung der sehr hohen Frequenzteile, die besonders stark über kleine Schaltkapazitäten streuen, da der kapazitive Wechselstromwiderstand mit steigender Frequenz kleiner wird).

Bei Instrumenten mit mehreren Chören kann es außerdem zu Verkopplungen von Signalen über die Tastleitungen der Tastenkontakte kommen. Man spannt deshalb die Dioden D1 nach Bild 20.2 vor, wodurch die Tastleitungen niederohmigere Werte annehmen. Die Dioden sind deshalb über je einen Widerstand von 47 k $\Omega$  an die Versorgungsspannung  $U_{cc}$  angeschlossen (siehe Bild 20.3).

Zur Unterdrückung des Schalterklickens wird eine spezielle Regelschaltung eingesetzt (Bild 20.3, gestrichelt umrandeter Schaltungsteil). In der Gatterschaltung setzt sich die Signalspannung aus einer Gleichspannungs- und einer Wechselspannungskomponente zusammen (schaltungsbedingt). Die Gleichspannung an den Sammelschienen darf

sich jedoch nicht sprunghaft ändern, wenn Tasten betätigt werden. Der Spannungssprung würde zum nachgeschalteten Verstärker gelangen und im Lautsprecher einen dumpfen Knall hervorrufen.

Die Regelschaltung wird von den Tastleitungen gesteuert und hält die Gleichspannung auf den Sammelschienen konstant.

Die Widerstände  $2,2\text{ k}\Omega$  und  $3,3\text{ k}\Omega$  sowie der Kondensator  $2\text{ }\mu\text{F}$  verzögern das Öffnen und Schließen der Gatterstufen um einige Millisekunden. Der Toneinsatz erfolgt daher weich, und gleichzeitig werden die Ausschwingvorgänge verlängert, so daß insgesamt eine dem Ohr angenehme Tonwiedergabe erzielt wird.

## 21. Ergänzungen

In Abschnitt 21. sollen einige spezielle Fragen und Randgebiete des elektronischen Musikinstrumentenbaus erörtert werden. Die Erkenntnisse aus der Forschung und Entwicklung und der Aufschwung der Technik allgemein, besonders aber der Halbleitertechnik, ermöglichten es, die Konstruktion und die Ausstattung elektronischer Geräte seit etwa 1960 völlig neu zu konzipieren.

Als elektronische Musikinstrumente z. B. noch mit Elektronenröhren und mit dementsprechenden Bauelementen bestückt werden mußten, versuchte man stets, durch eine Mehrfachausnutzung bestimmter Baustufen, Bauelemente einzusparen bzw. wegfallen zu lassen. Nicht unbedingt erforderliche Schaltungsdetails, die heute in fast jedem Instrument zu finden sind, vor allem Effektschaltungen mit aktiven Bauelementen in größerer Anzahl, konnten in kleinere Polyphone wegen des Platzmangels nicht eingebaut werden. Daher kamen manchmal Instrumente in den Handel, die von Musikfachleuten abgelehnt wurden. Vollwertige Elektronenorgeln waren wuchtig und schwer und außerdem sehr teuer. Gegenwärtig kann man kleine, leichte Instrumente herstellen, die reich ausgestattet sind und musikalisch hohen Anforderungen gerecht werden. Dies gilt für volltransistorisierte und in Zukunft noch mehr für Instrumente, die mit integrierten Schaltkreisen aufgebaut sind. Erste Modelle werden von führenden Herstellern bereits vorgestellt.

Durch das verminderte Gewicht und den eingesparten Platz konnten weiterhin noch zusätzlich umfangreiche Erweiterungen z. B. für elektronische Orgeln entwickelt und serienmäßig in die Spieltische eingebaut werden. Zu nennen wären z. B. die Erweiterung des klingenden Tonumfangs und Zusatzgeräte wie elektronische Schlagzeuge oder spezielle Schaltungen zur Beeinflussung der Tonansprache

(Hüllkurvenschaltungen). Die Herstellung von Siliziumhalbleiterbauelementen und ihr Einsatz im Musikinstrumentenbau führten zu wesentlichen Qualitätsverbesserungen (siehe hierzu mehrere Veröffentlichungen in Zeitschrift „Funktechnik“, Jahrgang 1973 und 1974).

Bild 21.1 zeigt einen Muttergenerator mit Siliziumtransistoren, der in neueren Konstruktionen elektronischer Polyphone eingebaut ist. Bild 21.2 stellt einen selbstschwingenden Multivibrator als Hauptoszillator für Polyphone dar, der besonders frequenzstabil schwingt. Er ist einfach aufgebaut und eignet sich daher sehr gut für Eigenbauinstrumente.

## 21.1. Gedruckte Leiterplatten

Für Amateure, die gedruckte Leiterplatten für ihr Instrument anfertigen wollen, zeigen Bild 21.3 bis Bild 21.7 einige Beispiele. Die Technologie zur Herstellung der Platinen wird in der Literatur [16] ausführlich beschrieben (siehe auch Zeitschrift „radio und fernsehen“, z. B. 1958, H. 15, S. 466; 1959, H. 18, S. 581; 1960, H. 12, S. 380; 1961, H. 12, S. 385; 1964, H. 9, S. 284, H. 10, S. 319 und H. 21, S. 670).

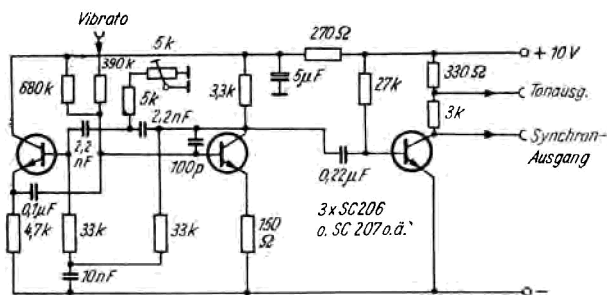


Bild 21.1 Muttergenerator mit Siliziumtransistoren und zusätzlicher Auskopplungsstufe

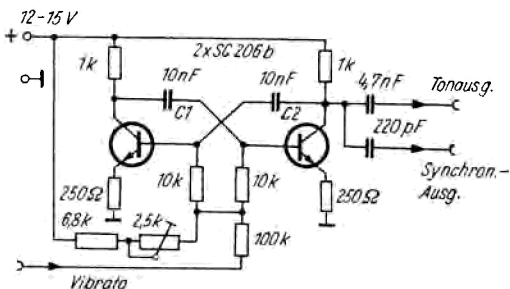
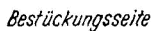


Bild 21.2 Frequenzstabile Multivibratorschaltung mit Siliziumtransistoren

## 21.2. Elektronische Musikinstrumente zur effektvollen Wiedergabe von Solostimmen

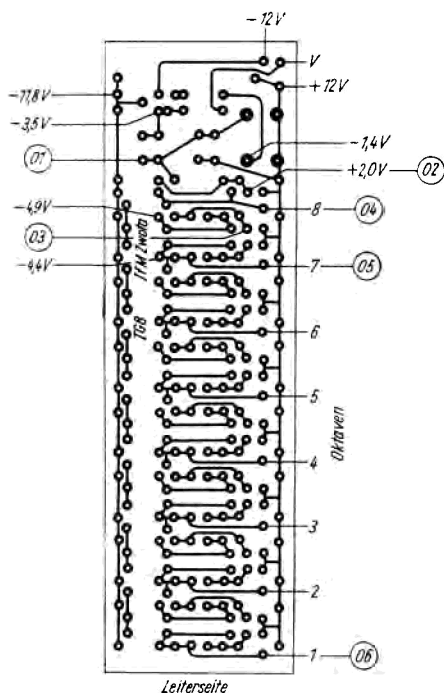
In Teil 1, Abschnitt 3.2.1. und Abschnitt 6.1. (Bild 6.5 bis Bild 6.7), wurden der prinzipielle Aufbau und die Wirkungsweise einfacherer Instrumente beschrieben. Von früher sind ähnliche Instrumente bekannt wie z. B. das *Solo-vox* von *Laurens Hammond*, dessen Nachbau auch heute noch erwogen werden könnte. Diese Instrumente ermöglichen eine große Vielfalt klanglicher Variationen von Solostimmen, die sich mit dem Klangbild elektronischer Orgeln gut kombinieren lassen. Ihr direkter Einbau in ähnlicher Form in polyphone Instrumente ist von Interesse. Die Darbietungen auf elektronischen Tasteninstrumenten werden auf diese Weise musikalisch wesentlich bereichert. In den folgenden Abschnitten wird der schaltungstechnische Aufbau eines im Vergleich mit elektronischen Orgeln weniger aufwendigen Soloinstruments beschrieben. Es läßt sich als separates Instrument aufbauen und in Tanz- und Unterhaltungsortchestern anwenden. Die Schaltung kann auch als Ergänzung in eine vorhandene elektronische Orgel oder in ein Claviset eingebaut werden.

Amateure, die auf dem Gebiet elektronischer Musikinstrumente zunächst noch Erfahrungen sammeln möchten, bevor sie mit dem Bau eines größeren polyphonen Instruments



122





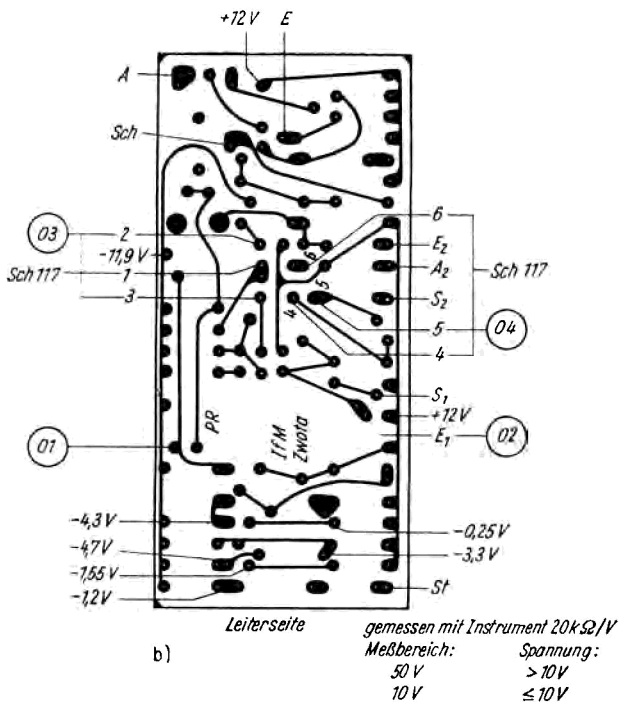
gemessen mit Instrument 20 k $\Omega$ /V  
 Meßbereich: Spannung:  
 50 V > 10 V  
 10 V  $\leq$  10 V

Bild 21.4 Leiterseite der Generatorplatine nach Bild 21.3

beginnen, können erste praktische Versuche mit einem solchen im Prinzip monophonen Instrument ausführen. Je nach eingeschalteten Chören erklingt beim Betätigen einer Taste jeweils ein Mehrklang (Akkord).

Bild 21.8 zeigt den Übersichtsschaltplan eines Instruments, das trotz seines einfachen Aufbaus die wichtigsten Funktionsblöcke enthält, wie sie auch in elektronischen Orgeln zum Einsatz kommen. Deshalb ist der Selbstbau eines In-





Baugruppen und ihre Anordnung entsprechen der Ausführung polyphoner Tasteninstrumente in der Art elektronischer Orgeln (Frequenzvibrato- und Tremologenerator, Vorverstärker, Perkussion, Halleinrichtung, Endverstärker usw.). Eine Ausnahme macht der Tastenkontaktsatz. Es ist je Taste nur ein Kontakt erforderlich. Außerdem liegen die Tastenkontakte nicht vor dem Klangformungsteil, sondern sie gehören mit zur Schaltung des Hauptgenerators. Wer den Toneinsatz des Instruments verbessern möchte, kann eine zweite Tastenkontaktreihe einbauen (siehe Stromlaufplan Bild 21.9). Der Tonfrequenzkontakt einer Taste muß stets etwas früher als der dazugehörige 2. Kontakt schließen.

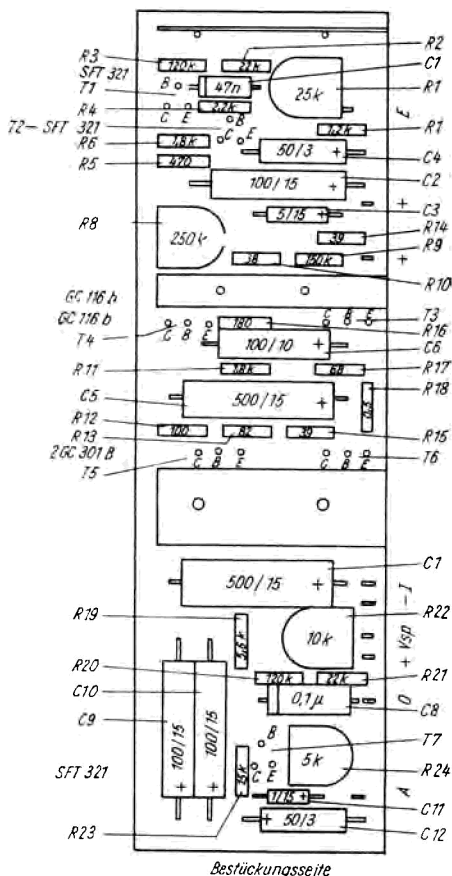


Bild 21.6 Bestückungsplan zum Hallverstärker nach Stromlaufplan  
Bild 9.25

Der Muttergenerator ist wegen seines Verwendungszwecks aufwendiger geschaltet und liefert eine sägezahnförmige Ausgangsspannung. Die Teiler geben rechteckförmige Tonfrequenzspannungen ab. Ihr Klangcharakter entspricht



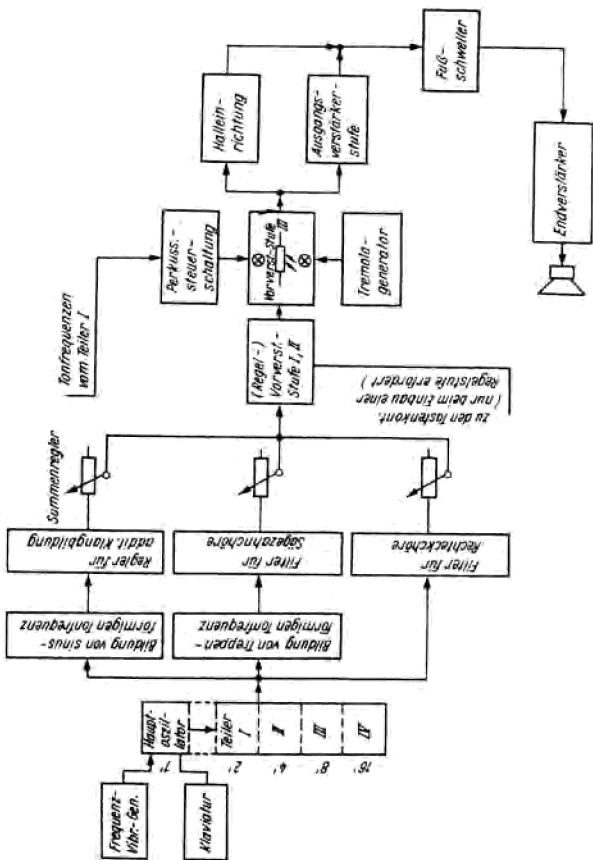


Bild 21.8 Instrument zur Wiedergabe effektvoller Solostimmen (Übersichtsschaltplan)

schaltet, Klangunterschiede ergeben sich durch die Kurvenform der Tonfrequenzspannungen am Eingang der Filter (Sägezahn- und Rechteckschwingungen).

Die Ausgänge der Filtergruppen liegen an Summenreglern. Es folgen 2 Vorverstärkerstufen. Es sind 2 Schaltungsvarianten zur Auswahl gezeichnet (siehe Bild 21.9, die ein-

fachen Verstärkerstufen sind nur gestrichelt eingezeichnet). Die Perkussionsschaltung und Nachhalleinrichtung müssen nicht unbedingt vorhanden sein, jedoch verbessern diese beiden Effektschaltungen das Klangbild erheblich.

Für den Schweller, den Endverstärker und die Lautsprecher gilt das bei elektronischen Orgeln Gesagte. Die erforderliche Ausgangsleistung des Verstärkers richtet sich beim Zusammenspiel mit einer Kapelle nach der jeweiligen Raumgröße. Bei der Wiedergabe in Wohnräumen und zu Versuchszwecken läßt sich auch ein größerer Rundfunkempfänger verwenden.

### 21.3. Musiksynthesizer (informatrische Erläuterungen)

In den letzten Jahren wird öfter der Begriff *Musiksynthesizer* gebraucht. Im Prinzip unterscheiden sich solche Instrumente wenig von den in Abschnitt 21.2. erwähnten Instrumenten. Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Prinzip der Klangsynthese, die bereits beim *Trautonium* angewendet wurde. In den meisten Synthesizern wird aber gleichzeitig auch von der selektiven Klangbeeinflussung Gebrauch gemacht.

Bild 21.10 zeigt den Übersichtsschaltplan eines Synthesizers (Prinzip). Er ist mit mehreren Tongeneratoren und Teilerstufen ausgerüstet. Die Ausgangsspannungsformen und die Amplituden sind regelbar. Die Tontastung erfolgt monophon über Klaviaturtasten (maximal 2 bis 3 Oktaven) und (oder) über ein Bandmanual (Widerstandsdraht, der beim Spielen gegen eine Gegenelektrode gedrückt wird). Dadurch ist eine gleitende Tonhöhenveränderung möglich. Im Synthesizer sind außerdem Vibratogeneratoren (AM und FM) sowie abstimmbare Rauschgeneratoren vorhanden. Den Tonfrequenzen können daher Vibratoeffekte und Rauschspannungen überlagert werden, wodurch die eigenartigsten Klangbilder entstehen. Dazu dient die Misch- und Modulationseinrichtung. Zur Klangbeeinflussung sind wei-

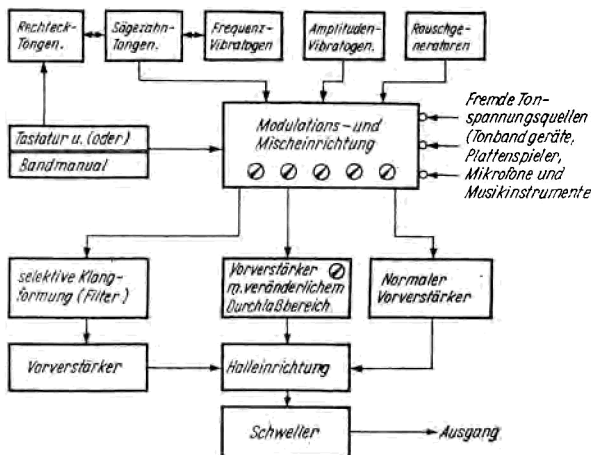


Bild 21.10 Übersichtsschaltplan eines Musiksynthesizers  
(Prinzipdarstellung)

terhin selektiv wirkende Filter, Verstärker mit abstimmbarer Durchlaßkurve und eine Halleinrichtung eingebaut. An die Mischeinrichtung können zusätzlich Fremdspannungsquellen wie Mikrofone, Tonbandgeräte, Plattenspieler und Musikinstrumente (Gitarren, elektronische Zupfbaßinstrumente u. a.) angeschlossen werden. Mit Hilfe der Einrichtungen des Synthesizers lassen sich Sprache und Musik klanglich stark beeinflussen (Anwendung z. B. bei Hörspielen, Effektklangerzeugung, Theateraufführungen und bei der Vertonung von Filmen usw.). Synthesizer werden industriell hergestellt. Umfangreich ausgestattete „Instrumente“ kosten mindestens so viel wie eine große elektronische Orgel.

## 21.4. Funktionsprinzip elektronischer Schlagzeuge

Mehrere ausländische Firmen stellen elektronische Schlagzeuge her. Ihre Ausführungsformen sind sehr unterschied-



lich. Es gibt einfache Schaltungen, die nur einige Generatoren für die Nachbildung von Schlaginstrumentenklängen haben. Schlageffekte werden durch Impulstasten (Handbedienung) ausgelöst. Andere Geräte sind zusätzlich mit Anschlußmöglichkeiten für das Pedal oder das Manual einer elektronischen Orgel ausgerüstet. Mit jedem Tastendruck erklingen die jeweils eingeschalteten Schlaginstrumente. Komplizierter aufgebaute Schlagzeuge werden von elektronischen Taktgebern vollautomatisch gesteuert. Man kann dann bestimmte Rhythmen auswählen (Bild 21.11). Umfangreiche Schlagzeuge sind mit 8 bis 10 Schlaginstrumenten ausgestattet. Die Taktgeber erzeugen Steuerimpulsfolgen für etwa 12 bis 15 verschiedene Rhythmen, die sich außerdem noch miteinander kombinieren lassen. Durch die im Takt gesteuerten Schlaginstrumente wird das Spiel auf einer elektronischen Orgel sehr bereichert, es können schwungvolle Melodien mit einer perfekten Schlagzeugbegleitung dargeboten werden. Allerdings besteht die Gefahr, daß die Vorträge monoton wirken, wenn die Einstellung des Schlagzeugs nicht oft genug und geschickt verändert wird.

Der vorliegende Abschnitt hat nur informativen Charakter.

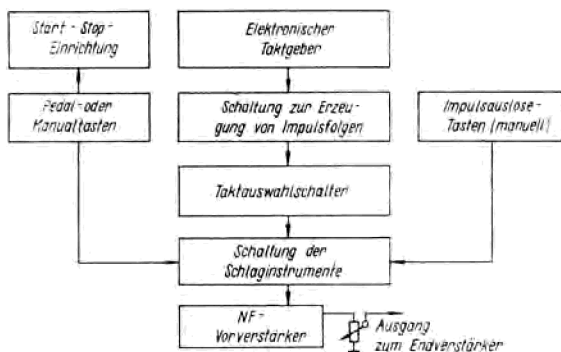


Bild 21.11 Übersichtsschaltplan eines elektronischen Schlagzeugs

In einigen Instrumenten unserer volkseigenen Industrie sind inzwischen Schaltungen zur Nachbildung von Schlagzeugklängen zu finden, die noch weiterentwickelt und ausgebaut werden.

## **Schlußbetrachtungen zu Teil 1 bis Teil 4**

Mit der Herausgabe der 4 Broschüren zum Thema elektromechanische und vollelektronische Musikinstrumente wurde der Versuch unternommen, die Amateurliteratur zu bereichern und einem breiteren Leserkreis einen Einblick in die Theorie und die Praxis des Baues elektroakustischer Musikinstrumente zu geben. Der Autor hofft, dieses Ziel durch die chronologische Gliederung des Themas erreicht zu haben. Die Vielseitigkeit des Stoffgebiets erfordert vom Leser ein systematisches Durcharbeiten der einzelnen Teile. Für Amateure und Elektronikfachleute mit wenig musiktheoretischen Kenntnissen hat der 1. Teil besondere Bedeutung. Zur Ergänzung der 4 Teile wird beabsichtigt, noch einen weiteren Teil zu erarbeiten, der sich speziell mit elektronischen Taktgebern (Metronomen), Schlagzeugen und anderen zusätzlichen Effektschaltungen beschäftigt. Derartige Schaltungen lassen sich auch in größere elektronische Tasteninstrumente einbauen, oder sie können als Zusatzeinrichtungen an Polyphone angestellt werden. Teilweise ist ihre Steuerung trotz räumlicher Trennung vom Spieltischgehäuse von den Bedienungselementen und Klaviaturen der Polyphone aus möglich.

Für Zuschriften von Lesern zur weiteren Vervollkommnung der 4 Teile bei Überarbeitungen wäre der Autor dankbar. Dies betrifft besonders Hinweise auf Abschnitte, die für den Amateur zu wenig verständlich sind und eventuell mehr ausgebaut werden müßten.

Der Autor dankt dem Militärverlag der DDR für das verständnisvolle Eingehen auf Sonderwünsche und für die sorgfältige Arbeit bei der Druckvorbereitung.

## Literaturverzeichnis

- [1] *Autorenkollektiv*: Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechnik, Band II; S. 588 bis 598. Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin-Borsigwalde 1953
- [2] *Goedecke, W.*: Lehrbuch der Elektrotechnik; VEB Verlag Technik, Berlin 1953
- [3] *Hildebrand, S., C. Markert*: Zeichnungen und Darstellungen in der Elektrotechnik; VEB Verlag Technik, Berlin 1963
- [4] *Jakubaschk, H.*: Amateurtontechnik; Deutscher Militärverlag, Berlin 1967
- [5] *Jakubaschk, H.*: Transistorschaltungen I, II; Band 20 und Band 35 der Reihe „Der praktische Funkamateurl“, Deutscher Militärverlag, Berlin 1962/66
- [6] *Jakubaschk, H.*: Elektronischaltungen für den Amateur; Band 28 und Band 66 der Reihe „Der praktische Funkamateurl“, Deutscher Militärverlag, Berlin 1964/67
- [7] *Jakubaschk, H.*: Radiobasteln leicht gemacht; Deutscher Militärverlag, Berlin
- [8] *Jakubaschk, H.*: Das große Elektronikbastelbuch; Deutscher Militärverlag, Berlin 1964
- [9] *Jobst, R.*: Zur Wirkungsweise und Dimensionierung des LC-Formantfilters; „radio und fernsehen“, 1971, H. 19, S. 642
- [10] *Kupfer, K.-H.*: Elektronische Orgeln; „Funktechnik“, 1967, H. 6 bis H. 10
- [11] *Lesche, J.*: Einführung in die Technik der elektronischen Musikinstrumente; „FUNKAMATEUR“, 1966, H. 1 bis H. 12
- [12] *Papst, B.*: Grundsaltungen der Funktechnik; VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1958

- [13] *Rose, G.*: Fundamente der Elektronik; Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin-Borsigwalde 1959
- [14] *Rumpl, K.-H.*: Bauelemente der Elektronik; VEB Verlag Technik, Berlin
- [15] *Rumpl, K.-H., M. Pulvers*: Transistor-Elektronik; VEB Verlag Technik, Berlin 1963
- [16] *Schlenzig, K.*: Von der Schaltung zum Gerät; Deutscher Militärverlag, Berlin 1968
- [17] *Schreiber, E.*: Die Ausgleichvorgänge in der Musik und deren synthetische Nachbildung bei elektronischen Musikinstrumenten; „radio und fernsehen“, 1957, H. 13 bis H. 15
- [18] *Schreiber, E.*: Grundlagen der elektronischen Klang-erzeugung; „radio und fernsehen“, 1955, H. 22, S. 680 bis 684
- [19] *Streng, K. K.*: abc der Niederfrequenztechnik; Deutscher Militärverlag, Berlin 1968
- [20] *Streng, K. K.*: NF-Verstärker-Meßtechnik; Band 30 der Reihe „Der praktische Funkamateurl“, Deutscher Militärverlag, Berlin 1963
- [21] *Schubert, K.-H.*: Elektrotechnische Grundlagen, I Gleichstrom, II Wechselstrom; VEB Verlag Technik, Berlin
- [22] *Schubert, K.-H.*: Elektronische Effekte in der Tanz-musik; „FUNKAMATEUR“, 1971, H. 5
- [23] *Wahl, R.*: Elektronik für Elektromechaniker; VEB Verlag Technik, Berlin 1966
- [24] *Winckel, F.*: Elektronische Musik durch konzertreife Instrumente; „Funktechnik“, 1951, H. 1 und H. 2
- [25] *Winckel, F.*: Farbige Spiel auf elektronischen In-strumenten; „Funktechnik“, 1951, H. 4 und H. 5
- [26] *Autorenkollektiv*: Fachkunde für Funkmechaniker, Teile I bis III; VEB Verlag Technik, Berlin
- [27] *Fischer, H.-J.*: Transistortechnik für den Funkama-teur; Deutscher Militärverlag, Berlin 1967
- [28] *Schubert, K.-H.*: Das große Radiobastelbuch; Deut-scher Militärverlag, Berlin 1962

- [29] Prospekt über die Heimorgel „Sonett de Lux“, Firma *Ahlborn*, Stuttgart
- [30] Prospekt und Übersichtsstromlaufplan für das voll-elektronische Musikinstrument emp 3 der Firma *F. A. Böhm KG*, Klingenthal (jetzt *VEB Musikelektronik Klingenthal*)
- [31] Prospekte und Serviceunterlagen des *VEB Harmonikawerke Klingenthal* für die Instrumente: *Basset*, *Claviset 200*, *Claviset 300*, *TO 200/5*, *TO 200/53* und *TO 10*
- [32] *Peltz, G.*: Elektronisches Klavier mit 5 Oktaven; „*Funkschau*“, 1973, H. 17, S. 643, und H. 18, S. 715
- [33] *Kahr, W.*: Elektronische Leslie-Einrichtung; „*Funkschau*“, 1973, H. 17, S. 647
- [34] *Böhm, R. H.*: Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau; „*Funkschau*“, 1960, H. 2 bis H. 5, H. 7
- [35] *Karmann, E.*: Elektronische Orgeln — eine Übersicht; „*Funktechnik*“, 1973, H. 4, S. 115
- [36] *Peltz, G.*: Zwölftongenerator für elektronische Orgeln mit integrierten Schaltkreisen, „*Funkschau*“, 1973, H. 6, S. 197
- [37] *Kunze, E.*: Elektronische Musikinstrumente (Fortsetzungsreihe); „*melodie und rhythmus*“, 1973
- [38] *Kühne, H.*: Astabiler Multivibrator mit dem integrierten Schaltkreis MBA 145 (frequenzstabil); *Elektronisches Jahrbuch 1973*, Militärverlag der DDR, Berlin
- [39] *Wittke, W.*: Tschebumm — ein elektronisches Schlagzeug; „*Funkschau*“, 1972, H. 7, S. 225
- [40] *Funke, R., S. Liebscher*: Grundsaltungen der Elektronik; *VEB Verlag Technik*, Berlin 1972

## Bildnachweis

### Bild 12.1

Entnommen aus: Prospektmaterial und Serviceunterlagen des VEB *Blechblas- und Signalinstrumentenfabrik* Markneukirchen/Sachsen (*Ionika EMP 1* und Verstärker *MV 2*)

### Bild 12.2

Entnommen aus: Reparaturunterlagen und Prospekten des VEB *Musik-elektronik Klingenthal*, Instrumente der *Matador*-Serie, Verstärker, Zusatzgeräte

### Bild 12.3, Bild 12.8

Entnommen aus Prospektmaterial der Firma *Wersi*, *Wersi-Elektronik*, Hal-senbach

### Bild 12.4

Entnommen aus: Prospektmaterial und Teilstromlaufpläne der Instrumente *S 22*, *C 25*, *Sonett de Lux* der Firma *Ahlborn*, Heimerdingen/Stuttgart

### Bild 12.5

Entnommen aus: Prospekt des Instruments Modell *D 2*, *Yamaha electone*, Japan

### Bild 12.6, Bild 12.7

Entnommen aus: Prospekt *Ri-ha*, Holland, elektronische Orgeln, Modelle *Allegro* und *Adagio*

### Bild 17.2

Gezeichnet nach Angaben in [39] (Funkschau) nach Bestückung und Erpro-bung mit DDR-Bauelementen

### Bild 17.13

Gezeichnet nach: Angaben in „Halbleiter-Schaltungen“, herausgegeben vom VEB *Werk für Fernsehelektronik* und dem Kombinat VEB *Halbleiterwerk* Frankfurt/Oder, S. 12

### Bild 17.15

Gezeichnet nach: Serviceunterlagen der *TO 200/5* vom VEB *Harmonika-werke Klingenthal*

### Bild 21.1

Entnommen aus Instrument *TO 10* vom VEB *Harmonikawerke Klingenthal*

### Bild 21.3 bis Bild 21.7

Entnommen aus: Serviceunterlagen für das Instrument *TO 200/5* vom VEB *Harmonikawerke Klingenthal*

### Bild 20.1 bis 20.3

Entnommen aus: „Integrierte Schaltungen für elektronische Musikinstru-mente“, ITT, Ausgabe 1973



# 135

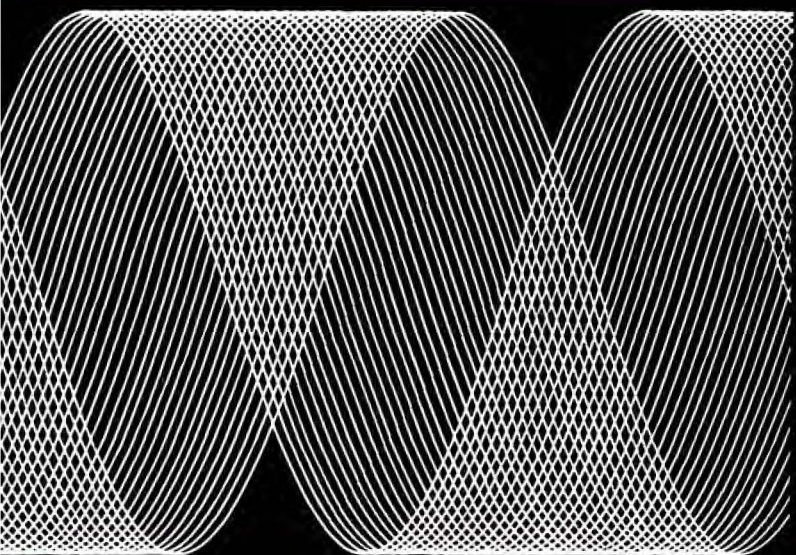






Bild 21 9 Stromlaufplan des Instruments nach Bild 21 8 (Es lassen sich auch typenähnliche

