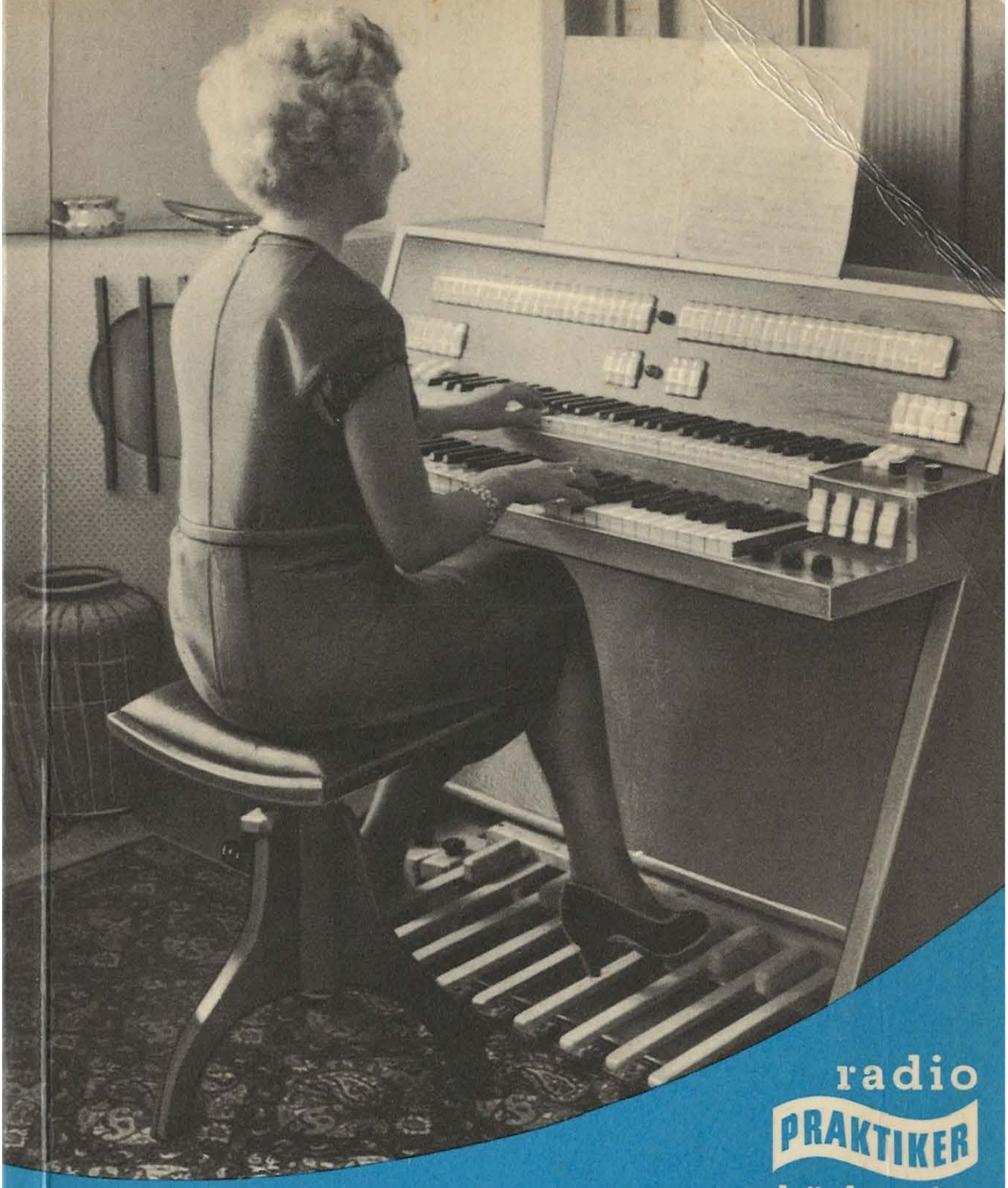


radio PRAKTIKER bücherei

DR. RAINER H. BÖHM

Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau

Franzis

Die **Cellu-Bände** der Radio-Praktiker-Bücherei

Preis je Nr. 2.50 DM, Mehrfach-Nr. entsprechend. Preisänderungen vorbehalten.

Vorläufiges Verzeichnis:

3/5 **UKW-FM-Rundfunk-Praktikum** (Herbert G. Mende). ✱ 6. Aufl., 200 Seiten, 80 Bilder.

6 **Antennen für Rundfunk- und Fernseh-Empfang** (Herbert G. Mende). 11. Aufl., 68 Seiten, 36 Bilder, 7 Tab.

9/10 **Tonbandgeräte-Praxis** (Wolfgang Junghans). 9. Aufl., 128 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen.

11/12 **Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone.** Aufbau, Verwendung und Selbstbau (Fritz Kühne). 7. Auflage, 116 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen.

13 **Schliche und Kniffe für Radiopraktiker** Teil I. Erfahrungen aus Werkstatt und Labor (Fritz Kühne). 8. Aufl., 64 Seiten, 56 Bilder.

14 **Wellen und Frequenzen für Rundfunk und Fernsehen.** Erzeugung, Ausbreitung und Bereichsaufteilung (Gustav Büscher). 3. Aufl., 72 Seiten, 57 Bilder, 20 Tabellen.

16 **Widerstandskunde für Radio-Praktiker.** Die Festwiderstände in Berechnung und Anwendung (Georg Hoffmeister). 5. Auflage, 72 Seiten, 9 Bilder, 2 Nomogramme und 6 große Zahlentafeln.

20 **Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern.** (Dr. A. Renardy). 10. Aufl., 68 Seiten, 20 Bilder.

21/21a **Funktechniker lernen Formelrechnen** (Fritz Kunze). 6. Aufl., 128 Seiten, 42 Bilder.

22/23a **Lehrgang Radiotechnik** Band I (Ferdinand Jacobs). 9. Aufl., 184 Seiten, 151 Bilder.

26 **Meß- und Schaltungspraxis für Heimton und Studio** (Fritz Kühne). 4. Aufl., 68 Seiten, 33 Bilder, 6 Tabellen.

27/27a **Rundfunkempfang ohne Röhren.** Vom Detektor zum Transistor (Herbert G. Mende). 11. Aufl., 128 Seiten, 94 Bilder, 9 Tabellen.

28/28a **Die Glimmröhre und ihre Schaltungen** (O. P. Herrnkind). ✱ 5. Aufl., 128 Seiten, 120 Bilder.

29/30 **Kleines ABC der Elektroakustik** (Gustav Büscher). 5. Aufl., 148 Seiten, 132 Bilder, 52 Tabellen.

31/32 **Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure** I. Teil (Ing. H. F. Steinhauser). 9. Aufl., 128 S., 56 Bilder.

33/35 **Dioden-, Röhren- und Transistorvoltmeter.** Eigenschaften und Schaltungen von elektronischen Voltmetern (Ing. Otto Limann). 6. Aufl., 176 Seiten, 160 Bilder.

41 **Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure** Band 1. Geradeausempfänger und Standardsuper (Werner W. Diefenbach). 9. Auflage, 68 Seiten, 78 Bilder, 9 Tabellen.

42/42a **Kurzwellen- und UKW-Empfänger für Amateure** Band 2. Spitzensuper und Transistorempfänger (Werner W. Diefenbach). ✱ 128 Seiten, 105 Bilder, 9 Tabellen.

43 **Musikübertragungs-Anlagen.** Planung, Aufbau und Wartung (Fritz Kühne). 4. Aufl., 72 Seiten, 39 Bilder, 11 Tabellen.

44 **Kurzwellen-Amateurantennen** für Sendung und Empfang (W. W. Diefenbach). 7. Aufl., 80 Seiten, 94 Bilder, 10 Tabellen.

45/46 **UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure** (Ing. H. F. Steinhauser). 5. Aufl., 136 S., 90 Bilder.

47/47a **Reiseempfänger mit Transistoren** (H. Sutaner). 4. Aufl., 128 Seiten, 86 Bilder und Schaltungen.

50 **Praktischer Antennenbau** (Herbert G. Mende). 10. Aufl., 72 Seiten, 38 Bilder, 9 Tabellen.

55/56 **Fernsehtechnik von A bis Z.** (K. E. Wacker / Joachim Conrad). 4. Aufl., 136 Seiten, 65 Bilder, 12 Tabellen.

58 **Morselehrgang** (Werner W. Diefenbach). 7. Aufl., 68 Seiten, 20 Bilder.

59 **Funk-Entstörungs-Praxis** (Herbert G. Mende). 3. Aufl., 72 Seiten, 43 Bilder, 6 Tabellen.

60 **Die Widerstand-Kondensator-Schaltung.** Einführung in die RC-Schaltungstechnik (Reinhard Schneider). 5. Aufl., 68 Seiten, 58 Bilder, 3 Tab.

62/62a **Englisch für Radio-Praktiker** (Dipl.-Ing. W. Stellrecht und Dipl.-Ing. P. Miram). 3. Aufl., 112 Seiten.

✱ In Vorbereitung.

Fortsetzung auf der dritten Umschlagseite!

Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau

Von

DR. RAINER H. BÖHM

Mit 53 Bildern

3. Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

Heft 101/102 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

Cellu-Band

Das Umschlagbild zeigt eine vom Verfasser entworfene und gebaute elektronische Orgel, gespielt von seiner Frau Ursula Böhm.

1966

Sämtliche Rechte — besonders das Übersetzungsrecht — an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 37, Karlstraße 35
Printed in Germany

Vorwort

Elektronische Orgeln erfreuen sich wegen ihrer guten und vielseitigen musikalischen Ausdrucksmöglichkeiten zunehmender Beliebtheit. Außer den weiten Anwendungsgebieten in der Öffentlichkeit sei auch der Gebrauch als *Hausinstrument* hervorgehoben, denn gerade ein so hochwertiges und wohlklingendes Musikinstrument ist geeignet, die Freude am eigenen Musizieren wieder mehr zu fördern.

Ein großer Kreis technisch und zugleich musikalisch interessierter Leser möchte gern Näheres über die Wirkungsweise der verschiedenen Orgelsysteme erfahren. Häufig wird auch der Selbstbau einer guten Elektronenorgel in Erwägung gezogen. Hierbei ist neben der Freude am eigenen Schaffen der relativ hohe Preis käuflicher Orgeln ausschlaggebend.

Der Verfasser hat in den letzten Jahren mehrere Elektronenorgeln gebaut, die ihm viel Freude bereiten. Um seine Erfahrungen weiterzugeben und den Nachbau zu erleichtern, hat er bereits in der FUNKSCHAU eine Aufsatzreihe über dieses Thema veröffentlicht. Das vorliegende Buch verfolgt den gleichen Zweck, stellt aber in zusammenhängender Form eine ganz wesentliche Erweiterung dar.

Nach einer umfassenden Einführung in die interessante Materie folgen mehrere ausführliche Bauvorschläge nach Mustergeräten des Verfassers, die den Selbstbau hochwertiger Elektronenorgeln wahlweise kleinen oder größeren Umfangs bei relativ niedrigem Materialaufwand ermöglichen und zahlreiche Neuerungen bringen. Neben Röhrenschaltungen wird auch die Anwendung von Transistoren auf Grund praktischer Erprobung dargelegt.

Vorwort zur zweiten und dritten Auflage

Erfreulich schnell konnte der Verlag dem Verfasser melden, daß eine Neuauflage des vorliegenden Bändchens erforderlich ist. Die zweite Auflage konnte 1963 als Cellu-Bändchen mit erweitertem Umfang herausgebracht werden. Hierfür und für die gewohnte sorgfältige Bearbeitung ist dem Verlag besonders zu danken. Die vorliegende dritte Auflage ist ein korrigierter, sonst aber unveränderter Nachdruck der zweiten.

Durch die Erweiterung konnte auf verschiedene Einzelheiten noch ausführlicher eingegangen werden. Ferner konnten einige bereits mit bestem Erfolg nachgebaute Neukonstruktionen des Verfassers beschrieben werden, die den Selbstbau guter elektronischer Orgeln weiter vereinfachen.

Schließlich wurde auch für eine größere Orgel ein zusammenhängendes Schaltbild der wichtigsten Baugruppen wiedergegeben und ausführlich besprochen, und auf die jetzt lieferbaren kompletten Material- und Bausätze wurde Bezug genommen. Somit erschließt sich einem weiteren Personenkreis die Möglichkeit, sich eine hochwertige und wohlklingende elektronische Orgel selbst zu bauen, die mit den Industrieerzeugnissen durchaus konkurrieren kann und allen zu stellenden Anforderungen genügt.

Möge die vorliegende Neuauflage den elektronischen Orgeln viele weitere Freunde gewinnen!

Minden (Westfalen) Dr. Rainer H. Böhm

Inhalt

1. Einführung in die technischen und musikalischen Grundlagen 7
1.1 Allgemeines 7
1.2 Generatorteil 7
1.3 Vibratogenerator 10
1.4 Tastenkontaktteil 11
1.5 Klangformungsteil 11
1.51 Obertöne und Klangfarbe 12
1.52 Die Klangfarbenerzeugung bei der Pfeifenorgel 15
1.53 Temperierte Stimmung 22
1.54 Die Klangfarbenerzeugung bei der Elektronenorgel 23
1.55 Lautstärkenbeeinflussung 28
1.56 Nachhall 29
1.57 Endverstärker und Lautsprecher 30
1.58 Einzelheiten industriell hergestellter Instrumente 31

2. Der Entwurf eines Selbstbauinstrumentes 33
2.1 Die Klaviaturen 33
2.2 Die Planung des Generatorteils 36
2.21 Hauptoszillator 36
2.22 Frequenzteiler 39
2.23 Der Ausgang der Oszillatoren 43
2.24 Generatoren mit Transistoren 45
2.25 Röhrenauswahl 51
2.26 Das Pedal 53
2.3 Der Vibratogenerator 54
2.4 Planung des Tastenkontaktteils 55
2.5 Planung des Klangformungsteils 58
2.51 Das Instrument A 64
2.52 Das Instrument B 71
2.53 Das Instrument C 77

2.54 Das Instrument D 81
2.55 Das Instrument C 1 82
2.551 Die Transistororgel 87
2.56 Spielhilfen 90
2.57 Perkussion 91
2.58 Nachhall 94
2.59 Sonstiges 94

3. Wahl der Einzelteile und Vorversuche 97
3.1 Generatorteil 97
3.2 Tastenkontaktteil 99
3.3 Klangformungsteil 100
3.4 Bürstenkontakte 103

4. Der Aufbau der Instrumente 105
4.1 Kleinere Instrumente 105
4.2 Größere Instrumente 109
4.3 Das Stimmen 114

5. Nachträge 117

6. Nachwort 125

Frequenztabelle der musikalischen Töne (in Orchester-Stimmung) 128

Literatur 129

Stichwortverzeichnis 130

1. Einführung in die technischen und musikalischen Grundlagen

1.1 Allgemeines

Die Elektronenorgel ist ein polyphon spielbares Tasteninstrument, dessen Töne auf elektrische Weise erzeugt und beeinflußt werden. Die Gehäuseausführung ähnelt meist dem Spieltisch einer Pfeifenorgel. Der Spieler findet wie dort eine oder mehrere Manualklaviaturen sowie in der Regel auch eine Pedalklaviatur. Daneben dienen verschiedene Registerhebel und andere Bedienungseinrichtungen der Beeinflussung des Klangbildes. Die mit diesen in Verbindung stehenden Schaltglieder sind meist zusammen mit den Tonerzeugern in diesem Gehäuse untergebracht, so daß sich gegenüber der Pfeifenorgel eine kleine und leichte Bauweise ergibt. Für Spezialzwecke gibt es besondere Bauformen.

1.2 Generatorteil

Bild 1 zeigt als Blockschaltung, wie man eine übliche Elektronenorgel in Baugruppen unterteilen kann (1)[1]). Im Generatorteil werden elektrische Schwingungen erzeugt, deren Frequenzen den musikalischen Tönen entsprechen. In der Regel wird für jeden Ton ein besonderer Generator eingebaut. Hierdurch wird gegenüber dem einstimmigen Instrument polyphones, also mehrstimmiges Spiel ermöglicht.

Man unterscheidet die *vollelektronische* Schwingungserzeugung und daneben die *mechanisch-elektronische* Methode. Letztere bedient sich rotierender oder schwingender mechanischer Bauelemente; durch deren Bewegung werden in induktiven, kapazitiven oder fotoelektrischen Abtastvorrichtungen elektrische Schwingungen erzeugt. Beispiele hierfür sind die *Hammond-Orgel* (2) und die *Wurlitzer-Orgel* (3)[2]). Erstere besitzt je Ton eine rotierende Profilscheibe mit einer Anzahl von Ausbuchtungen am Umfang, die zusammen mit der Umdrehungs-

[1]) Die Zahlen in Klammern weisen auf das Literaturverzeichnis Seite 123 hin.

[2]) Die Firma Wurlitzer verwendet jedoch in neuerer Zeit vollelektronische, synchronisierte Dauertongeneratoren.

zahl die Frequenz des Tones bestimmt. Vor jeder Scheibe befindet sich ein elektromagnetischer Tonabnehmer, in dem eine elektrische Schwingung von entsprechender Frequenz und Kurvenform induziert wird. Durch entsprechende Form des Scheibenprofils und Kondensatoren parallel zu den Abnahmespulen wird die Schwingung möglichst sinusförmig gehalten. Die Klangfarben werden nach dem additiven Verfahren erzeugt.

Die mit fotoelektrischen Tonabnehmern arbeitenden Orgeln besitzen meist Scheiben aus durchsichtigem Material. Diese sind nicht am Umfang, sondern auf der Fläche mit mehreren konzentrischen Tonringen aus lichtundurchlässigem Material versehen und werden von der Seite her durchleuchtet. Die durch die gezackten Tonringe entstehenden Intensitätsschwankungen des Lichtstrahls werden in einer Fotozelle oder dergleichen in elektrische Schwingungen umgesetzt.

Der Selbstbau von Orgeln nach dem mechanisch-elektronischen Verfahren dürfte wenig interessieren, da eine hohe mechanische Präzision erforderlich ist.

Innerhalb der vollelektronischen Schwingungserzeugung unterscheidet man zwei Gruppen von Generatoren: *Kurzton-* und *Dauertongeneratoren.* Bei einer Orgel mit Kurztongeneratoren wird der einzelne Oszillator erst beim Niederdrücken der zugehörigen Taste in Betrieb gesetzt. Hierdurch ist es möglich, durch allmähliches Einschwingenlassen das Tastenklicken zu vermeiden; auch lassen sich gewisse erwünschte Einschwingvorgänge erzielen. Das Verfahren erfordert allerdings eine hohe Tonkonstanz jedes einzelnen Oszillators, da eine Synchronisierung kaum möglich ist. Außerdem bereitet es Schwierigkeiten, Obertonregister und verschiedene Klaviaturen aus demselben Generatorsatz zu speisen.

Eine Sonderform des Kurztonprinzips sind sogenannte *Sparschaltungen.* Hier sind nur wenige Generatoren eingebaut, die wie bei einstimmigen Instrumenten jeweils für mehrere Töne umschaltbar gemacht werden. Man bemüht sich, mit jedem Generator eine *Anzahl* von Tönen zu erzeugen, die nur relativ selten gleichzeitig gespielt werden. Das Verfahren hat die gleichen Nachteile wie alle Kurztonmethoden. Die Materialersparnis ist demgegenüber heute kein ausschlaggebender Faktor mehr; zudem ist der Aufwand an Stimmelementen und Tastenkontakten relativ hoch. Da sich Obertonregister nicht ohne großen Aufwand ermöglichen lassen, werden meist obertonreiche Generatoren verwendet, deren Konstanz häufig nicht befriedigt.

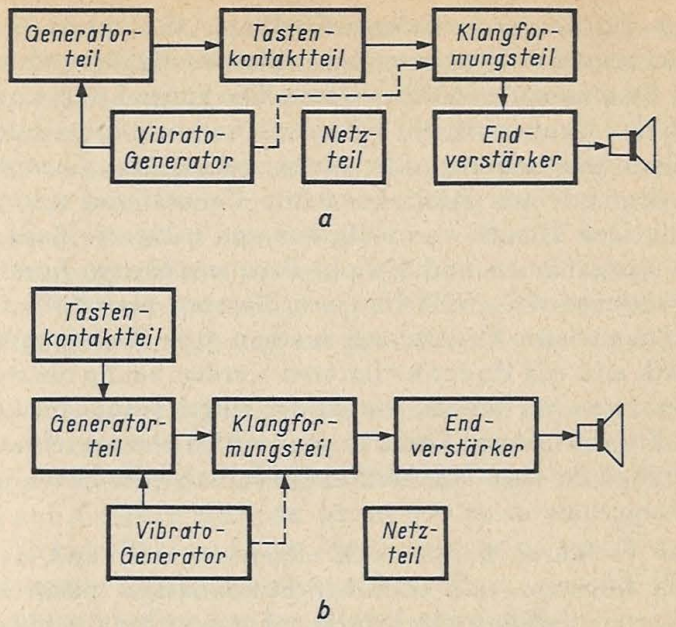


Bild 1. Blockschaltungen elektronischer Orgeln; a = Orgel mit Dauertongeneratoren, b = Orgel mit Kurztongeneratoren

Man bevorzugt heute das Dauertonverfahren. Hierbei sind alle Generatoren ständig in Betrieb, die Auswahl der Töne wird durch die nachgeschalteten Tastenkontakte getroffen. Meist werden die Generatoren zu Oktavteilerketten zusammengefaßt. So werden zum Beispiel die Generatoren aller Töne A zu einer Kaskade vereinigt und von einem Hauptoszillator synchronisiert, der in der Regel die oberste Frequenz der Kette erzeugt. Da die Oktaven im Frequenzverhältnis 1 : 2 stehen, bereitet die Synchronisation keine Schwierigkeiten. Jede zweite Schwingung des Hauptoszillators bildet einen Synchronisier-

impuls für den nächsttieferen Oszillator, der nur grob auf die halbe Frequenz abgestimmt ist. In gleicher Weise synchronisiert jeder Oszillator den nächsttieferen. Die ganze Kette wird somit durch den Hauptoszillator beeinflußt und befindet sich in exakter Oktavenstimmung. Für einen kompletten Generatorsatz sind demnach nur zwölf konstante Generatoren erforderlich. Die übrigen können von einfacher und billigerer Bauart sein. Zum Nachstimmen und für ein Frequenzvibrato braucht nur die Frequenz der zwölf Hauptoszillatoren beeinflußt zu werden. Die anderen Generatoren machen diese Änderungen automatisch mit. Als Hauptoszillatoren werden häufig obertonarme Generatoren verwendet, die in der Regel besonders konstant sind. Für die übrigen Generatoren werden obertonreiche Typen bevorzugt, da diese sich leichter synchronisieren lassen und der Obertongehalt meist erwünscht ist.

Das Verfahren bürgert sich allgemein mehr und mehr ein. Neben Konstanz und einfacher Stimmbarkeit bietet es auch den Vorteil, daß durch Mehrfachausnutzung der ständig schwingenden Generatoren mehrere Tastaturen und die stets qualitätssteigernden Obertonregister gespeist werden können. Man benötigt somit auch für eine größere Orgel nur einen Generatorsatz. — Der Verfasser benutzt dieses elegante Verfahren ausschließlich, da es allen anderen überlegen ist, und kann es hier bestens weiterempfehlen. Es erhält auch in den folgenden Kapiteln den Vorrang.

1.3 Vibratogenerator

Der Vibratogenerator erzeugt eine Schwingung von wenigen Hertz. Diese Spannung wird meist in der Frequenz und in der Amplitude variabel gemacht, so daß man Stärke und Schnelligkeit des Vibratos einstellen kann. Die Vibratospannung kann man dem Generatorteil oder dem Klangformungsteil zuleiten. Das erste Verfahren ist das einfachste; es ist sehr wirkungsvoll. Man drückt den Hauptoszillatoren eine langsame Frequenzmodulation auf und erzielt so ein Frequenzvibrato für alle Töne. Auf das zweite Verfahren kann man meist verzichten. Es wird angewendet, wenn die Vibratoerzeugung im Generatorteil nicht möglich ist, oder wenn man erreichen will, daß etwa nur ein Manual mit Vibrato versehen wird. — Man kann das im Klangformungsteil auftretende Tonfrequenzgemisch einer Phasenmodulation unterwerfen. Die Phasendrehung wird durch die Vibratospannung rhythmisch gesteuert. Dadurch entstehen ähnlich wie beim Doppler-Effekt Frequenzverschiebungen und somit ebenfalls ein Frequenzvibrato. — Ferner läßt sich im Klangformungsteil ein Amplitudenvibrato erzeugen, indem man die Vibratospannung etwa einer Exponentialröhre oder einer ähnlichen Vorrichtung zur Beeinflussung des Signalpegels zuführt.

Während das Frequenzvibrato, maßvoll angewandt, eine sehr wohltuende, das Klangbild belebende Wirkung hat, ist das Amplitudenvibrato weniger effektvoll. Man beschränkt sich häufig auf die erste Methode.

Der Vibratoeffekt ist in der Musik weitverbreitet. Da er aber für bestimmte Musikarten nicht stilgemäß ist, wird das Vibrato durch einen Schalter nur bei Bedarf eingesetzt.

1.4 Tastenkontaktteil

Der Tastenkontaktteil ermöglicht dem Spieler durch Schaltvorrichtungen, die mit den Tasten in Verbindung stehen, die Auswahl der Töne. Dem Generatorteil werden somit einige Frequenzen entnommen und zum Klangformungsteil weitergeleitet. Wichtig sind klickfreier und nicht zu harter Toneinsatz.

1.5 Klangformungsteil

Im Klangformungsteil werden verschiedene Methoden zur Beeinflussung des Klangbildes angewandt. Es handelt sich um Einstellvorrichtungen für Klangfarbe, Lautstärke, Nachhall, Nachbildung von Ein- und Ausschwingvorgängen und anderen besonderen Effekten. Bisher kaum bekanntgeworden, aber vom Verfasser mit bestem Erfolg erprobt, ist die Auslegung des Klangformungsteils für stereofone Wiedergabe. Hierbei wird das Spiel jeder Hand und des Pedals über besondere Lautsprecher wiedergegeben. Auch die einzelnen Register lassen sich auf verschiedene Kanäle verteilen.

Bevor die Beeinflussung der Klangfarbe bei der Elektronenorgel besprochen wird, müssen einige allgemeine theoretische Dinge eingeschoben werden.

1.51 Obertöne und Klangfarbe

Die Klangfarbe eines Tones wird bekanntlich durch seinen Gehalt an Obertönen bestimmt. Praktisch alle Musikinstrumente erzeugen nämlich zusammen mit dem Grundton eine Kette von Obertönen, die mit ersterem eine Einheit bilden und dadurch entstehen, daß die Töne nicht sinusförmig sind. Wir haben die Parallele hierzu in der Hf-Technik; jede nicht sinusförmige Schwingung läßt sich in eine Reihe von sinusförmigen Teilschwingungen, die Harmonischen, zerlegen. Diese sogenannte *harmonische Analyse* läßt sich sowohl nach Fourier rein mathematisch als auch experimentell-physikalisch durchführen. Zum Gegenbeweis ist der umgekehrte Vorgang möglich, nämlich die Synthese einer nicht sinusförmigen Schwingung aus mehreren Sinusschwingungen bestimmter Frequenz, Amplitude und Phasenlage.

Das Ohr enthält eine große Reihe resonanzfähiger Gebilde, die die einzelnen Harmonischen oder Teiltöne in ihrer Tonhöhe und Lautstärke getrennt registrieren und über Nervenleitungen dem Gehirn weitermelden. Dort wird die tiefste Harmonische, der Grundton, als maßgebend für die Tonhöhe empfunden, während die Summe der Obertöne den Klangfarbeneindruck bestimmt. Dem geübten Ohr ist es darüber hinaus mitunter möglich, einzelne, stark ausgeprägte Obertöne bewußt wahrzunehmen.

Will man die einzelnen Harmonischen nach Stärke und Lage experimentell ermitteln, so sind besondere Hilfsmittel, z. B. *Suchtonanalysatoren* (4), erforderlich [1]). Die damit gefundenen Werte decken sich mit den aus der Kurvenform errechneten.

[1]) Eine für einfache Zwecke ausreichende Genauigkeit liefert das vielseitig verwendbare *Selektojekt* (5). Es stellt einen selektiven Verstärker mit sehr schmaler und steiler Durchlaßkurve dar. Man schaltet ein Röhrenvoltmeter nach oder arbeitet behelfsmäßig mit akustischer Anzeige. Das einfache Gerät ist zugleich ein brauchbarer Tongenerator mit wahlweise obertonarmer oder obertonreicher Ausgangsspannung und ziemlich konstanter Amplitude über den gesamten Tonbereich hin.

Die Frequenzen der natürlichen Obertöne betragen stets ein ganzzahliges Vielfaches der Grundtonfrequenz. Somit ist der Frequenzabstand stets gleich der Grundtonfrequenz, sofern nicht einzelne Teiltöne ganz fehlen. Je nach Klangfarbe können einzelne Harmonische besonders stark ausgeprägt sein. Die Amplitude kann die des Grundtons übersteigen. Wird dieser einmal durch technische Hilfsmittel ganz unterdrückt, so wird er von dem Gehör infolge des festen Frequenzabstands der Obertöne ergänzt, so daß nicht die Tonhöhe, sondern nur die Klangfarbe als geändert empfunden wird.

Übrigens ist es ohne Einfluß auf den Klangfarbeneindruck, ob die Teiltöne demselben Tonerzeuger oder verschiedenen entstammen, und ihre Phasenlage ist für das Gehör ohne Belang. Daher ist es leicht möglich, beliebige Klangfarben aus Einzelschwingungen zu synthetisieren. Es sei bemerkt, daß die Phasenlage der Teiltöne zwar nicht den Klangeindruck, aber stets die Kurvenform des Gesamttons beeinflußt. Daher rufen auch Töne von verschiedener Kurvenform, aber gleichem, nur in der Phasenlage verschiedenem Obertongehalt den gleichen Klangfarbeneindruck hervor.

Bild 2 zeigt in Tabellenform an einem Beispiel einige der wichtigsten Teiltöne nach den verschiedenen Bezeichnungs-

Note	c	c^1	c^2	g^2	c^3	e^3	g^3	c^4
Frequenz [Hz]	130,8	261,6	523,3	784,0	1046	1319	1568	2093
Frequenzverhältnis zum Grundton	1 : 2	1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1	6 : 1	8 : 1
Nummer der Harmonischen		1	2	3	4	5	6	8
Nummer des Obertons			1	2	3	4	5	7
Lage zum Grundton	Okt.		Okt.	Quinte	Okt.	Terz	Quinte	Okt.
Registerbezeichnung [Fuß]	16′	8′	4′	$2^2/_3$′	2′	$1^3/_5$′	$1^1/_3$′	1′

Bild 2. Die wichtigsten Teiltöne für den Grundton c^1, dargestellt in den verschiedenen Bezeichnungsweisen

weisen. Als Beispiel wurde in dieser Tabelle der Grundton c^1 gewählt, der in der dritten senkrechten Spalte steht. Der tiefere Ton, der weiter links steht, spielt nur bei der Orgel eine Rolle. Rechts vom Grundton stehen einige der wichtigsten Obertöne. Während der Grundton als erste Harmonische bezeichnet wird, bildet der erste Oberton die zweite Harmonische, deren Frequenz doppelt so hoch wie die des Grundtons ist und die also genau eine Oktave höher liegt als dieser. Der zweite Oberton, also die dritte Harmonische, hat die dreifache Frequenz und bildet eine Quinte zur Oktave über dem Grundton, also zur zweiten Harmonischen. Entsprechend reihen sich die weiteren Obertöne an. Der Abstand auf der Tonleiter wird immer geringer.

Stark obertonreich ist die Sägezahnschwingung. In ihr treten sämtliche Harmonischen auf, und zwar fällt deren Amplitude nach den oberen Teiltönen hin stetig und gesetzmäßig immer weiter ab. Besitzt der Grundton die Amplitude 1, so hat die zweite Harmonische die Amplitude $1/2$, die dritte Harmonische $1/3$ usw. Der Klangeindruck einer solchen Schwingung ist äußerst hell, aber sonst neutral. — Eine deutliche Besonderheit weist schon eine regelmäßige Rechteckschwingung auf. Der Amplitudenabfall nach den hohen Teiltönen hin ist hier der gleiche, doch fehlen alle geradzahligen Harmonischen. Die stärksten vorhandenen Teiltöne sind somit die mit den Ordnungszahlen 1, 3, 5 und 7. Die Klangfarbe ist typisch hohl wie bei den oben geschlossenen Orgelpfeifen, den sogenannten Gedackten. — Je mehr sich eine Schwingung der Sinusform nähert, desto geringer wird der Obertongehalt.

Die Amplituden der Obertöne müssen nicht immer nach oben hin stetig abnehmen. Einzelne Obertöne oder Obertongruppen können besonders stark ausgeprägt sein. Man spricht in solchen Fällen von *Formanten*. Man kennt in der Musik zwei Arten: feste und mitlaufende Formanten. Erstere verändern ihre Lage nicht, auch wenn verschieden hohe Töne gespielt werden. Sie entstehen bei herkömmlichen Instrumenten meist durch deren Resonanzeigenschaften, die sich ja in der Regel nicht mit der Tonhöhe ändern. Ein bekannter fester Formant ist der Näselformant, der bei 1500...2000 Hz, nach manchen Angaben etwas

höher, liegt. Er ist u. a. für Oboe und Saxophon charakteristisch. Auch Vokale erhalten ihr Gepräge durch bestimmte, verschieden hoch liegende Formantgebiete, und ihre Eigenheiten werden etwa durch Tonbandwiedergabe mit falscher Geschwindigkeit völlig verändert.

Mitlaufende Formanten ändern ihre Lage mit der Höhe des Grundtons, und ihr Frequenzverhältnis zu demselben bleibt konstant. Sie entstehen meist durch die Eigenheit des Tonerzeugers selbst.

Die herkömmlichen Musikinstrumente weisen in der Regel beide Formanttypen gleichzeitig auf. Dasselbe sollte auch bei einer Elektronenorgel angestrebt werden und läßt sich, wie weiter unten gezeigt, relativ einfach durch elektrische Schaltmaßnahmen erreichen. Feste Formanten erzeugt man mit elektrischen Filtern, mitlaufende nach der additiven Klangsynthese.

Es sei noch erwähnt, daß bei Musikinstrumenten unharmonische Teiltöne sowie Geräuschkomponenten auftreten können. Diese mehr oder weniger zahlreichen Teiltöne stehen in keinem ganzzahligen Frequenzverhältnis zum Grundton und spielen insbesondere bei den Einschwingvorgängen eine Rolle. Ferner treten, z. B. bei Glockenspielen, Vertreter der subharmonischen Teiltonreihe auf. Diese zeichnet sich durch die Frequenzverhältnisse 1/2, 1/3, 1/4 usw. zum Grundton aus und stellt das intervallgetreue Spiegelbild der natürlichen Obertonreihe dar. Ein elektronisches Musikinstrument, das von der subharmonischen Teiltonreihe Gebrauch macht und die Klänge dabei nach der additiven Methode zusammensetzt, ist das *Mixtur-Trautonium* von *O. Sala* (6).

1.52 Die Klangfarbenerzeugung bei der Pfeifenorgel

Im Rahmen dieses Buches kann nur kurz auf die Pfeifenorgel eingegangen werden. Es ist jedoch interessant und lehrreich, sich mit diesem verwandten Gebiet ausführlicher zu befassen. Zur Einführung können verschiedene kleinere Bücher empfohlen werden (7). Wichtige Ergänzungen hierzu bieten auch die Arbeiten von *Lottermoser* (8). Die Klangfarben der Pfeifenorgel entstehen einerseits durch die Bauweise der ein-

zelnen Pfeifen und andererseits durch das Zusammenklingen mehrerer, zur gleichen Taste gehörender Pfeifen. Man ordnet nämlich jeder Tastatur mehrere Pfeifenreihen, Register genannt, zu. Diese sind nach ihrer Bauweise und demzufolge nach ihrem Klang unterschiedlich und können vom Spieltisch aus einzeln oder in beliebiger Kombination eingeschaltet werden. Man unterscheidet Zungen- und Lippenpfeifen.

Zungenpfeifen, auch Lingualstimmen oder Rohrwerke genannt, erzeugen den Ton durch im Luftstrom schwingende, meist aufschlagend konstruierte Metallzungen. Die erzeugten sehr stark obertonhaltigen Schwingungen werden durch einen aufgesetzten, oben offenen Metallbecher geleitet, der durch seine Resonanz- und Filtereigenschaften bestimmte Formantgebiete anhebt oder schwächt, so daß das Endresultat auch obertonarm sein kann, stets aber deutliche Formanten aufweist, die häufig auch im hohen Obertongebiet, bei der 30. Harmonischen und darüber, noch stark ausgeprägt sein können. Es lassen sich also die verschiedenartigsten Klangfarben erzielen, je nach Konstruktion der Pfeifen. Bekannte Register sind Krummhorn, Dulzian, Cornett, Klarinette, Vox Humana, Trompete, Posaune, Oboe, Horn, Saxophon, Fagott u. a.

Würde der Schallbecher bei allen Pfeifen eines Registers gleich groß sein, so könnte man von festen Formanten sprechen. Dies ist jedoch in der Regel nicht so, sondern die Becher werden meist nach den hohen Tönen hin kleiner, so daß die Formanten ebenfalls nach oben hin verschoben werden. Es wäre jedoch falsch, einfach von mitlaufenden Formanten zu sprechen, denn die Formanten ändern ihre Lage nicht in demselben Maße wie der Grundton. Die Schallbecher werden meist so bemessen, daß man ein Mittelding zwischen festen und mitlaufenden Formanten erhält. Es sei daher für solche Orgelregister der Ausdruck „verschobene Formanten" gestattet.

Die zweite Hauptgruppe sind die Lippenpfeifen oder Labialstimmen. Das Bauprinzip ist ähnlich wie bei der Flöte, sie enthalten somit keine bewegten mechanischen Teile, der Luftstrom gerät infolge einer lippenförmigen Öffnung und anderer Besonderheiten des unteren Pfeifenteils in Schwingungen. Das

Oberteil ist meist zylindrisch, mitunter auch schwach trichterförmig oder konisch gebaut. Seine Länge bestimmt die Tonhöhe, seine Weite im wesentlichen die Klangfarbe. Je enger eine Lippenpfeife gebaut ist, umso größer ist ihr Obertongehalt, jedoch wird auch bei engster Bauweise kaum der Obertonreichtum mancher Zungenregister erreicht. Formanten sind selten zu finden.

Man kann nach der Weite der Lippenpfeifen drei Untergruppen bilden: die weiten Flötenregister, die engen Streicherregister und dazwischenstehend die wichtige Familie der Prinzipale.

Zur ersten Gruppe gehören neben den verschiedenen, direkt mit Flöte bezeichneten Registern auch solche wie Nachthorn und Gemshorn. Die Klangfarbe ist ausgesprochen dunkel und entspricht etwa einer Sägezahnschwingung mit sehr starker, kontinuierlicher Obertonbeschneidung.

Die Prinzipale stehen in der Klangfarbe zwischen dunkel und hell. Registernamen sind Prinzipal (englisch: open diapason), Oktave, Quinte, Terz u. a. Letztere sind Obertonregister (s. u.).

Die engen Lippenpfeifen, zusammenfassend Engchor oder Streicher genannt, erzeugen helle, obertonreiche Klangfarben, die etwa einer leicht in den Höhen beschnittenen Sägezahnschwingung entsprechen. Sie dienen häufig zur Nachahmung der Streichinstrumente, was sich in Registernamen wie Viola, Violine und Cello ausdrückt. Wichtige Vertreter sind Gamba sowie das meist etwas zartere Salizional oder Salizet.

Während Lippenpfeifen normalerweise oben offen sind, gibt es eine weitere Untergruppe, die Gedackten. Sie sind oben geschlossen und klingen eine Oktave tiefer als die gleichlange Normalausführung. Daher sind sie materialsparend, und sie zeigen auch eine deutliche klangliche Eigenheit. Die geradzahligen Harmonischen sind weitgehend unterdrückt. Die Schwingungsform ähnelt daher weitgehend einem Rechteck, und die Klangfarbe wird als typisch hohl empfunden. Wegen der meist recht weiten Bauart treten die höheren Harmonischen ziemlich zurück. Bekannte Registernamen sind: Gedackt (englisch: stopped diapason), Bourdon, Untersatz (ein Pedalregister)

und Quintadena. Letztere enthält die 3. Harmonische, eine Quinte, besonders ausgeprägt.

Die Obertönigkeit der einzelnen Pfeifen ist innerhalb eines Registers nicht immer gleich, sondern in bestimmten Lagen, z. B. in den mittleren Oktaven der Tastatur, etwas verstärkt. Dadurch versucht man besonders günstige Klangwirkungen zu erzielen. In Parallele zu den innerhalb eines Registers verschobenen Formanten der Zungenregister sei hier der Ausdruck „verschobene Obertönigkeit" gewählt. Es sei erwähnt, daß eine abnehmende Obertönigkeit, etwa nach den Höhen hin, häufig mit zunehmender Lautstärke einhergeht.

Außer Registern, die in der Tonhöhe den gedrückten Tasten entsprechen und Grundtonregister genannt werden, baut man auch solche ein, die höher klingen und den Obertönen der Grundtonregister entsprechen, diese also verstärken. Außerdem bringen diese Obertonregister eigene Obertöne hervor, die sehr zur Gesamtwirkung beitragen. Die Grundtonregister werden auch als 8′-Register bezeichnet (sprich: acht Fuß). Die Fußangabe stammt aus der Frühzeit der Pfeifenorgel und bezieht sich auf die Länge der Pfeifen offener Lippenausführung für die Taste C, also meist die tiefste Manualtaste. Dementsprechend wird das Obertonregister, das der zweiten Harmonischen entspricht und somit eine Oktave höher klingt, als 4′-Register oder schlechtweg 4′ bezeichnet. Es folgen Quinte $2^2/_3{}'$, Superoktave 2′ und so fort gemäß Bild 2. — Schaltet man nun z. B. ein 8′-, ein 4′- und ein 2′-Register ein, so erklingen, wenn man eine Taste drückt, gleichzeitig drei Töne, die im Oktavabstand zueinander liegen und meist zu einer Einheit verschmelzen.

Durch das Zuschalten von Obertonregistern besteht die Möglichkeit, das Klangbild aufzuhellen, zu verbreitern und zu färben. Für die Obertonregister werden ebenso wie für die Grundtonregister Pfeifenreihen von unterschiedlicher Klangfarbe und Lautstärke eingebaut. Man wählt aber in erster Linie eine mehr oder weniger geschlossene Obertonregisterreihe, die aus gleichartigen Registern zusammengesetzt ist. Man nennt sie ein Plenum und bevorzugt hierfür insbesondere Register der Prinzipalfamilie. Jede Tastatur erhält dann nach Möglichkeit außer einem eigenen Plenum noch einige Grund-

und Obertonregister der übrigen Pfeifenarten, die färbend-untermalend oder auch für sich allein eingesetzt werden. Große Orgeln enthalten sogar oft ein eigenes Weitchor- und Zungenplenum.

Man verwendet an Obertonregistern insbesondere die Oktaven 4′, 2′ und 1′, ferner die Quinten $2^2/_3{}'$ und $1^1/_3{}'$ sowie die Terz $1^3/_5{}'$. Bei Kleinorgeln beschränkt man sich auf die Oktaven 4′ und 2′, bei großen Orgeln geht man bis zum 1′ und darüber.

Wichtig sind ferner die Mixturen. Dies sind Register, die pro Taste mit mehreren Pfeifen besetzt sind und meist zur Erzeugung der höheren Obertöne verwendet werden, die das Klangbild besonders strahlend gestalten. Die Mixturen repetieren meist. Eine einfache Mixtur besteht zum Beispiel für die tiefen Tasten aus $2' + 1^1/_3{}' + 1' + {}^2/_3{}'$. Würde dies bis in den Diskantteil der Tastatur beibehalten, so müßte man dort sehr hohe Töne erzeugen, was klanglich nicht günstig ist. Besser ist es, wenn man die Mixtur nach dem Diskant hin in tiefere Lagen zurückführt. Dies geht in mehreren Etappen vor sich, bis im Diskant etwa $5^1/_3{}' + 4' + 2^2/_3{}' + 2'$ erreicht sind. Hierbei springen die Oktaven in die nächst tiefere Quintlage und umgekehrt. Man nennt dies eine „milde Repetition". Demgegenüber werden bei der Oktavrepetition jeweils Oktavsprünge ausgeführt. Auch diese Art läßt sich in bestimmten Fällen anwenden, ohne beim Spiel störend zu wirken. — Mixturnamen sind: Mixtur, Zimbel, Scharf, Sesquialter und andere.

Ferner baut man, insbesondere beim Pedal, tieferklingende Register als 8′ ein. Gebräuchlich ist die Suboktave 16′, selten der zwei Oktaven unter dem Grundton liegende 32′. Selten sind auch diesen Registern zugeordnete Obertonregister wie die Quinte $5^1/_3{}'$, und die Terz $3^1/_5{}'$.

Bei den Obertonregistern bevorzugt man solche in Oktav- und Quintlage. Solche in Terzlage und in anderen Intervallen sind seltener, werden allerdings in letzter Zeit wieder mehr verwendet. — Für die Verschmelzungsfähigkeit der Teiltonregister ist neben dem Lautstärkeverhältnis ihre Obertönigkeit entscheidend. Will man eine gute Verschmelzung, so müssen die Grundtonregister relativ obertonreich, die Obertonregister aber selbst obertonarm sein. Allerdings ist es wenig zweck-

mäßig, zu weit zu gehen und für die Obertonregister Sinusklangfarben zu verwenden. Das Klangbild kann dann leicht ziemlich stumpf wirken. Eine mäßige Obertönigkeit ist günstiger, und außer solchen normalen Obertonregistern sollten stets einige besonders hell klingende eingebaut werden, da sich damit besonders interessante Wirkungen erzielen lassen.

Jede Klaviatur bildet mit den zugehörigen Registern eine selbständige Einheit, die man ein *Werk* nennt. Für die Manuale sind Namen wie Hauptwerk, Oberwerk, Schwellwerk und andere gebräuchlich, und beim Pedal spricht man vom Pedalwerk. Zwischen den Werken lassen sich durch Koppeln Querverbindungen herstellen. Man registriert die einzelnen Werke meist kontrastreich zueinander, um verschiedene Klangfarben nacheinander oder zur deutlichen Trennung einzelner Stimmen auch gleichzeitig zur Verfügung zu haben. Der letztere Fall tritt ein, wenn man etwa beim Triospiel für jede Hand und das Pedal eine eigene Klangfarbe benötigt. Bei solchem Spiel ist eine klangliche Verschmelzung der einzelnen Klaviaturen zu vermeiden. Soll etwa eine Baßstimme selbständig wirken und sich von dem Übrigen richtig abheben, so muß einer Verschmelzung durch die Wahl obertonarmer Pedalregister entgegengewirkt werden. Andererseits muß das Pedal auch helle Klangwirkungen ermöglichen, wenn es beispielsweise im Cantus-Firmus-Spiel die Melodieführung übernehmen soll.

Der Einbau geeigneter Obertonregister ist bei der Orgel schon seit Jahrhunderten zur Erzielung hervorragender Klangeigenschaften gebräuchlich und führte u. a. zu der besonderen Qualität der Barockorgel. Nach Untersuchungen von Lottermoser (8) ist es besonders günstig, wenn der Plenumklang beim Drücken *einer* beliebigen Taste eine breite Teiltonverteilungskurve aufweist. Einer zu starken Betonung des Grundtons muß in allen Tastaturbereichen durch die Obertonregister entgegengewirkt werden, und die Kurve muß außer einem schwachen Maximum im Grundtonbereich ein weiteres bei den höheren Teiltönen aufweisen, so daß dazwischen eine schwache Einsattelung entsteht. Dadurch, daß als Obertonregister hauptsächlich Oktaven und Quinten verwendet werden, die selbst

wieder eigene Obertöne enthalten, entsteht ein Klangbild, das nicht durch einen einzigen Schwingungserzeuger mit entsprechender Anhebung einzelner Teiltonbereiche nachgebildet werden kann.

Zu diesen Eigenschaften kommen bei einer guten Barockorgel Besonderheiten in der Tonansprache. Durch die deutlichen Einschwingvorgänge, Vorläufertöne und -Geräusche wird das Klangbild belebt, und schnelle Tonfolgen werden durchsichtiger. Allerdings muß eine allzu spuckende und hustende Tonansprache nicht immer schön wirken.

Im vergangenen Jahrhundert war man von der bewährten Linie abgegangen. Man strebte mehr nach Lautstärke und Dynamik, bemühte sich um die Nachahmung von Orchesterinstrumenten und überlud die Orgeln oft mit 8′-Registern. Diese romantische Stilepoche ist in manchen Ländern, z. B. Amerika, auch heute noch nicht verklungen. Es ist das Verdienst Albert Schweitzers und der durch ihn ausgelösten Orgelbewegung, daß man die alten Barockideale wieder entdeckt und sich zu eigen gemacht hat. Man hat die alten Orgeln genau studiert und erstrebt bei Neubauten wieder deren strahlenden Klangreichtum unter Anwendung moderner Fertigungstechnik sowie neuer Erkenntnisse. Bei der Konstruktion von Elektronenorgeln sollte man aus dieser Entwicklung mehr als bisher lernen.

Dem Leser sei empfohlen, vor dem Entwurf eines Selbstbauinstrumentes außer dem theoretischen Studium sich mit einigen guten Pfeifenorgeln vertraut zu machen, um selbst die Register einzeln und im Zusammenklang zu erproben und dadurch klare Vorstellungen von deren Bedeutung zu gewinnen, soweit diese Kenntnisse nicht bereits vorhanden sind. Zwar sei nicht einer sklavischen Nachahmung der Pfeifenorgel mit elektronischen Mitteln das Wort geredet, und die Ausbildung klanglicher Eigenheiten bei der Elektronenorgel ist wünschenswert, aber es wäre unklug, wollte man nicht aus den jahrhundertealten Erfahrungen der Orgelbauer lernen. Ein solches Studium ist die Grundlage für eigene schöpferische Tätigkeit.

1.53 Temperierte Stimmung

Die Keimzelle der Musik bilden die verschiedenen Intervalle, die im Zusammenhang als angenehm oder auch als mißklingend empfunden werden. Sie beruhen auf bestimmten, meist einfachen Frequenzverhältnissen und begegnen uns daher auch bei den natürlichen Obertönen. Im Laufe der Zeit führten sie zur Bildung der uns bekannten Tonarten. Die Oktaven wurden in eine Reihe von Ganz- und Halbtonschritten unterteilt. Daß die durch die natürlichen Intervalle bedingten zwölf Halbtonschritte untereinander nicht gleich groß sind, ist eine Schwierigkeit, die einer für alle Tonarten geeigneten festen Instrumentenstimmung zunächst im Wege stand. Man entschloß sich daher zu einem Kompromiß und schuf die sogenannte wohltemperierte oder gleichschwebende Stimmung. Hier sind alle zwölf Halbtonschritte untereinander gleich groß gemacht. Da die Oktaven im Frequenzverhältnis 1 : 2 stehen, bilden die zwölf gleichen Halbtonschritte stets das Frequenzverhältnis $\sqrt[12]{2}$. Nun führt dieser Wert aber erst nach zwölfmaliger Multiplikation mit sich selbst, also bei der Oktave, wieder zu einem einfachen Zahlenverhältnis (einfache Zahlenverhältnisse sind z. B. 1 : 2, 1 : 3, 3 : 5, 4 : 5, 2 : 3 u. a.). Deshalb treten bei allen Zwischentönen Abweichungen von der natürlichen Stimmung auf, die sich meist in Schwebungen äußern, wie man es etwa an den Quinten leicht feststellen kann. Bei der reinen, natürlichen Stimmung treten diese Abweichungen und Schwebungen naturgemäß nicht auf. Da die Frequenz der Schwebung sich bei der temperierten Stimmung über die Klaviatur hin nur mit der Tonhöhe ändert und somit in benachbarten Gebieten keine größeren Sprünge ausführt, spricht man auch von der *gleichschwebenden Stimmung*. Beim Spiel können die auftretenden Schwebungen und Rauhigkeiten mitunter störend wirken, jedoch sind diese, wenn die Stimmung exakt ausgeführt ist, so gleichmäßig über die Tonskala verteilt, daß sich das Gehör an diese Kompromißlösung gewöhnt und sie hinnimmt.

Es erhebt sich nun die Frage, ob man bei einer Orgel die Obertonregister rein oder temperiert stimmen sollte. Bei den Registern in Oktavlage besteht natürlich kein Unterschied

zwischen den beiden Stimmungen. Die anderen, die sogenannten Aliquoten, werden bei der Pfeifenorgel fast immer rein gestimmt. Hierdurch ergibt sich eine glatte Verschmelzungsfähigkeit mit den Grundstimmen. Eine Ausnahme bildet die Multiplexorgel, die Grund- und Obertonregister aus dem gleichen Pfeifensatz entnimmt, um mit weniger Pfeifen auszukommen. Die Aliquoten sind infolgedessen temperiert und bilden mit den Grundregistern Schwebungen, die einer völligen Verschmelzung entgegenwirken. Das gleiche gilt für die Elektronenorgel, da auch hier in der Regel für die Aliquoten der gleiche Generatorsatz mitverwendet wird. Die Obertonregister sind hier gegenüber der Multiplexorgel zwar klanglich selbständig, aber wie bei dieser temperiert gestimmt. Die meisten der temperierten Aliquoten wirken jedoch, richtig dosiert, nicht störend, und das Gehör nimmt sie ohne besonderes Widerstreben hin, zumal es sich ja an die temperierte Stimmung im allgemeinen schon gewöhnt hat. Zwar verschmelzen die Aliquoten nicht so ruhig und glatt wie in reiner Stimmung, aber sie bilden doch einen belebenden, würzig färbenden Zusatz zu den übrigen Stimmen, so daß sie ihre Berechtigung haben, denn gerade bei der Elektronenorgel ist eine solche Bereicherung vorteilhaft, weil eine zu weitgehende, glatte Perfektionierung des Klangbildes in der Musik stets schnell ermüdend wirkt und den Zuhörer keineswegs fesselt. Bestimmte, geringfügige Unregelmäßigkeiten wirken hingegen häufig sehr reizvoll, insbesondere, wenn man sie wie die Aliquoten nur zeitweise als besonderes Ausdrucksmittel verwendet.

1.54 Die Klangfarbenerzeugung bei der Elektronenorgel

Man unterscheidet vor allem das *additive* und das *selektive Verfahren*. Bei der additiven Klangfarbenerzeugung wird das Gesamtspektrum des einzelnen Tones aus den getrennt erzeugten Grund- und Obertönen zusammengesetzt. Man kann die einzelnen Teiltöne, ähnlich wie bei der Pfeifenorgel, getrennt zuschalten und auch in der Lautstärke dosieren. So hat man schon mit einer geringen Zahl von Obertonregistern viele Kombinationsmöglichkeiten. Die auf diese Weise dem Grundton in

verschiedenen Stärken zufügbaren Obertöne bilden die mitlaufenden Formanten.

Die Obertöne werden, wie schon erwähnt, meist demselben Generatorsatz entnommen wie die Grundtöne, indem die nach dem Dauertonverfahren ständig arbeitenden Generatoren einfach mit mehreren Ausgängen versehen werden. Um etwa den ersten Oberton zu erzeugen, zieht man den eine Oktav höher liegenden Generator heran und entnimmt dessen Schwingung über einen besonderen Auskopplungswiderstand. Ebenso werden die anderen Obertöne den entsprechenden Generatoren entnommen und später dem Grundton zugemischt. Um die Obertöne im Diskantbereich der Tastatur zu erzeugen, muß der Generatorsatz noch etwa ein bis zwei Oktaven höher reichen, als es der Tastatur entspricht. Bei den höheren Obertonregistern, etwa ab 2′, kann man die Repetition anwenden, so daß der Aufwand in Grenzen bleibt. Dies ist auch bei der Pfeifenorgel (s. S. 19) durchaus üblich, und zwar sowohl bei Mixturen als auch bei den hohen Obertonregistern, und es wirkt sich für den Klangeindruck durchaus vorteilhaft aus. Für die Obertöne können auch die ohnehin meist eine Oktave höher liegenden Hauptoszillatoren mit herangezogen werden. — Die Obertöne werden meist nicht über die gleichen Tastenkontakte geführt wie der Grundton, sondern über eigene Kontaktreihen. Jeder Kontaktreihe wird auf einer Sammelschiene ein Teilton einzeln entnommen, so daß die Teiltöne im Klangformungsteil getrennt hinsichtlich Stärke und Klangfarbe beeinflußt werden können. Eine Zusammenfassung mehrerer Teiltöne mit nur einer Kontaktreihe nach Art der Mixturen ist jedoch vertretbar (etwa Sesquialter $2^2/_3' + 1^3/_5'$) und zur Vereinfachung des Tastenkontaktteils geeignet.

In der Auswahl der verwendeten Obertonregister kann man bei einem Selbstbauinstrument maximal etwa bis zum 1′ hinaufgehen. Ein noch höherer Aufwand ist meist zu umfangreich und kaum noch lohnend. Die 7. Harmonische läßt man häufig weg, da ihre Abweichung von der temperierten Tonskala zu groß ist. Im Pedal baut man häufig auch ein 16′-Register ein. Im Manual ist die Notwendigkeit eines 16′ umstritten.

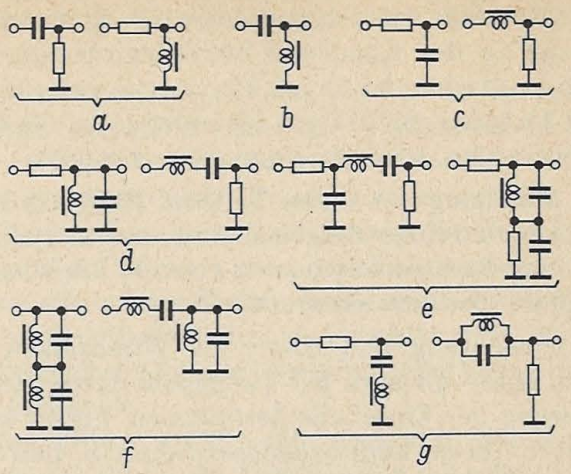


Bild 3. Filterschaltungen. Der Eingang liegt links, der Ausgang rechts

Ein Beispiel für die rein-additive Klangerzeugung ist die in ihrem Klangbild weitgehend bekannte Hammond-Orgel. Die Teiltöne sind in der Stärke einstellbar und werden der temperierten Tonskala entnommen. Trotzdem ist ihre Verschmelzungsfähigkeit mit dem Grundton sehr weitgehend, da sie selbst praktisch sinusförmig sind. Lediglich die obersten Generatoren erzeugen oberwellenreiche Töne.

Bei der selektiven Klangformung geht man von einer obertonreichen Grundschwingung aus. Sehr gut eignet sich die Sägezahnform. Mit Hilfe elektrischer Filter siebt man bestimmte Tonbereiche aus dem beim Spielen entstehenden Frequenzgemisch heraus oder hebt andere an. Weil sich die Filter praktisch nicht mit der Tonhöhe der gespielten Grundtöne verändern lassen, können nur feste Formanten erzeugt werden. Das Verfahren findet eine gewisse Parallele bei den Zungenpfeifen der Orgel, doch können auch die Klangfarben anderer Pfeifenarten damit nachgeahmt werden. Man verwendet Hochpässe, Tiefpässe sowie die verschiedensten L-C-Filter.

Glieder zur Höhenanhebung nach **Bild 3 a** oder auch ein linearer Durchlaß der Sägezahnschwingung bewirken eine Annäherung an den Klang der Streichinstrumente sowie der engen Lippenpfeifen der Orgel. Ein ausgesprochener Hochpaß nach **Bild 3 b** kann zur völligen Unterdrückung des Grundtons verwendet werden, wird aber nur selten benötigt.

Durch Anhebung der tiefen Teiltöne **(Bild 3 c)** lassen sich Flötenregister und einige Holzblasinstrumente nachahmen. Beim Anlegen einer Rechteckschwingung entsteht das Klangbild von Gedacktflöten, das sehr eindrucksvoll ist.

Der Frequenzgang und damit die Wirksamkeit läßt sich sowohl bei Hoch- als auch bei Tiefpässen durch geeignete Dimensionierung der Einzelteile beeinflussen. Ferner ist es möglich, mehrere Glieder hintereinanderzuschalten, doch wird dann die Wirkung leicht zu stark.

Bild 3 d zeigt Schaltungen, die ein bestimmtes Formantgebiet anheben. Es entstehen typische Formantspitzen in der Durchlaßkurve und somit eigenartige Klangwirkungen. Insbesondere läßt sich der Näselformant (s. S. 14) erzeugen. Mit einer Sägezahnspannung kann man zum Beispiel Oboe und Fagott, mit einer Rechteckschwingung z. B. die Klarinette nachahmen. Für Holzbläserklänge wird oft auch eine zusätzliche Tiefenanhebung **(Bild 3 e)** oder ein weiterer, anders abgestimmter Resonanzkreis **(Bild 3 f)** zugeschaltet.

Bild 3 g zeigt Filter, die bestimmte Formantgebiete nicht anheben, sondern schwächen; sie dienen zur Nachahmung des stationären Klanges einiger Blechblasinstrumente, sind aber nicht unbedingt erforderlich. Die Trompete läßt sich z. B. besser durch ein hochgestimmtes Resonanzfilter nach Bild 3 d in Verbindung mit einer Höhenanhebung nachahmen.

Alle diese Filter kann man bei Bedarf in ihrer Wirkung abschwächen, indem ohmsche Widerstände zur Überbrückung des ganzen Filters, zur Verminderung des Einflusses von Kondensatoren oder Drosseln auf den Frequenzgang oder zur Dämpfung von Resonanzkreisen beigeschaltet werden. Abwandlungs- und Kombinationsmöglichkeiten sind zahlreich, so daß der Konstrukteur ein weites Experimentierfeld findet.

Bei einem kleinen Instrument wird das selektive Verfahren allein angewandt. Es ergeben sich dann zahlreiche Klangwirkungen von dem Typ der 8′-Register.

Bei einer größeren Orgel kann, wie bei der Hammond-Orgel, das additive Verfahren allein verwendet werden, wenn man sich wie dort auf die Lautstärkenbeeinflussung der einzelnen Teiltonregister beschränkt. Daneben ist es möglich, bestimmte feste Teiltonkombinationen einzubauen, die dann mit Namen wie Prinzipal 8′, Salizet 4′ usw. versehen werden und eine Registrierung wie bei der Pfeifenorgel gestatten sollen. In diesem Fall klingen jedoch schon die Einzelregister meist wie Mixturen, da die Verschmelzung der Teiltöne innerhalb eines Einzelregisters gering ist.

In beiden Fällen werden aber noch nicht die Möglichkeiten erschlossen, die sich in der Kombination des selektiven und des additiven Verfahrens ergeben. Hierzu wendet man zwar die additive Methode an, benutzt aber für die Teiltöne obertonreiche Schwingungen und formt die einzelnen Obertöne für sich nach der selektiven Methode mit Filtern. Das entstehende Klangbild ist von überlegener Schönheit. Sein Aufbau ist ungefähr analog dem der Pfeifenorgel, deren Teiltonregister ebenfalls einen eigenen Obertongehalt und eigene Klangfarben besitzen, und bietet darüber hinaus weitere Möglichkeiten.

Die verschobenen Formanten und die verschobene Obertönigkeit innerhalb der Einzelregister der Pfeifenorgel (s. S. 16 u. 18) können bei der Elektronenorgel ebenfalls erzeugt werden. Dies ist zwar bisher noch nicht üblich gewesen und auch nicht unbedingt erforderlich, bringt aber in manchen Fällen Vorteile. Erforderlich ist der Einbau besonderer Filter für jeden Generator. Der Mehraufwand ist zumindest bei der Nachbildung der Prinzipalregister, den wichtigsten zum Aufbau des Plenumklanges, tragbar. Wie weiter unten vorgeschlagen, benötigt man lediglich ein R-C-Glied für jeden Generator und erhält dadurch bei Mehrfachausnutzung der Generatoren beliebig viele Obertonregister von Prinzipalcharakter. Der Vorteil des Verfahrens liegt darin, daß man den tiefen, mittleren und hohen Tonbereichen getrennt optimalen Obertongehalt geben kann. Bei L-C-Filtern wird der Aufwand für ein Selbstbauinstrument zu

groß. Man kann aber bei Verzicht auf völlige Kontinuität die Sammelschienen aufteilen und den Abschnitten verschiedene Filter abgestufter Größe zuordnen, so daß man mit geringerem Aufwand auskommen kann. — Solche Maßnahmen sind jedoch insbesondere dann entbehrlich, wenn das Spiel jeder Hand getrennt registriert und nur auf einen Teil der Tastatur ausgedehnt wird.

Weitere Verfahren zur Beeinflussung des Obertongehaltes sind bekannt und lassen sich mit der additiven und der selektiven Methode kombinieren. So ist es zum Beispiel möglich, aus zwei Sägezahnschwingungen eine Rechteckschwingung zu erzeugen. Die eine der Sägezahnschwingungen liegt eine Oktave höher. Sie wird mit 180° Phasenverschiebung und in halber Amplitude der anderen zugefügt. Dabei werden die geradzahligen Harmonischen des unteren Tones ausgelöscht, da sie mit den Teiltönen des oberen zusammenfallen, welcher somit ebenfalls verschwindet. Das Verfahren eignet sich auch für ein Gemisch aus mehreren gespielten Tönen; es braucht also nicht für jeden Ton einzeln angewandt zu werden. Erforderlich sind ein Satz Tastenkontakte für die Oktaven, der meist ohnehin vorhanden ist, eine Phasenumkehrstufe und ein Spannungsteiler. Das Verfahren ist sehr zu empfehlen und wird vielfach angewandt, z. B. bei der *Baldwin-Orgel* (9).

1.55 Lautstärkenbeeinflussung

Zur Einstellung der Lautstärke im ganzen oder in einzelnen Teilkanälen des Klangformungsteils dienen Potentiometer und Schalter sowie ferner sogenannte *Schweller*, die mit dem Fuß bedient werden und eine kontinuierliche Beeinflussung eines Manuals oder der ganzen Orgel gestatten. Es können auch mehrere Schweller eingebaut werden, so daß jedes Manual einen erhält. Ferner ist es möglich, jedoch wenig gebräuchlich, die Lautstärke durch den Druck zu verändern, den die spielende Hand auf die Tastatur ausübt. Auch sogenannte Knieschweller sind gebräuchlich. Sie werden durch seitliche Bewegung des Knies bedient.

Eine besondere Art der Lautstärkenbeeinflussung ist das bereits erwähnte *Amplitudenvibrato*. Ferner kann man die

Lautstärke durch eine Regelvorrichtung beeinflussen, die über besondere Tastenkontakte beim Einsetzen eines Tones in Tätigkeit tritt. Man kann diese Anordnung zur Nachbildung von Einschwingvorgängen benutzen, indem die einzelnen Teiltöne getrennt beeinflußt werden, oder wenn die Lautstärke eines Tones insgesamt etwa beim Einsatz des Tones stark anschwellen und dann allmählich abklingen soll, wie es zur Erzeugung von Zupfklängen, oft Perkussion genannt, nötig ist. Zur konsequenten Durchführung muß nach *Schreiber* (10) jeder Teilton einzeln beeinflußt werden, was zwar sehr wirkungsvoll ist, aber für den Selbstbau zu großen Aufwand erfordert. Man kann sich jedoch auf nur eine Regelvorrichtung für ein ganzes Manual beschränken und erzielt so zumindest bei einstimmigem Spiel brauchbare Effekte. Der Einbau einer solchen Vorrichtung in eine Orgel ist nicht unbedingt erforderlich. Stattdessen kann man bei Bedarf auch ein einstimmiges Instrument zusätzlich einbauen, das eine Perkussionsvorrichtung enthält und ferner auch ein von der Orgel unabhängiges Vibrato, Hawaieffekte u. a. m. gestattet. Es kann mit an ein vorhandenes Manual angeschlossen werden, so daß es jeweils für den obersten gespielten Ton wirksam wird. — In Amerika wurden in letzter Zeit spezielle Abkling-Generator-Schaltungen entwickelt. Der Abklingvorgang setzt meist erst beim Loslassen der Taste ein und erzeugt somit auch einen Nachhall-Effekt. Man bedient sich hierzu oft einer Kombination von Dauerton- und Kurzton-Generator und verwendet häufig Röhren mit geteilten Anoden. Hierbei steht eine Anode dauernd unter Spannung, während die andere Anode ihre Spannung aus einem Kondensator erhält, der sich beim Abklingvorgang langsam entlädt und erst beim Drücken der Taste wieder aufgeladen wird.

1.56 Nachhall

Die Erzeugung eines künstlichen Nachhalls verbessert den Klangeindruck einer Elektronenorgel ganz beträchtlich, insbesondere bei der Aufstellung in kleinen Räumen. Über die technischen Einzelheiten wurde in der FUNKSCHAU (11) zusammenfassend berichtet. Eine einfache Methode arbeitet mit mechanischen Schwingern, zum Beispiel Metallfedern, jedoch

ist es mit geringem Aufwand recht schwierig, die nötige Linearität des Nachhalls über den großen Frequenzbereich einer Orgel hin zu erzielen. Bekanntlich darf sich der Nachhall nicht zu einseitig auf bestimmte Frequenzgebiete erstrecken.

Die Hallraummethode ist für private Zwecke nicht immer durchführbar, da sie einerseits empfindlich für Außengeräusche ist und andererseits manchmal eine Belästigung der Umwelt darstellen kann.

Gute Ergebnisse liefert das Tonbandverfahren, bei dem auch eine endlose Bandschleife verwendet werden kann. Man zweigt bei diesem Verfahren vom Ausgang des Wiedergabeverstärkers einen Teil der Spannung ab und legt diesen auf den Eingang des Aufsprechverstärkers. Man kann diese Rückkopplung so dosieren, daß ein Flatterecho von mehreren Sekunden Dauer entsteht, das bei kleinem Kopfabstand und ausreichender Bandgeschwindigkeit in einen für das Ohr kontinuierlichen Nachhall übergeht. Günstig ist ein Abstand der Einzelechos von $^1/_{20}$...$^1/_{10}$ Sekunde. Die Verschmelzung ist besonders weitgehend, wenn die gespielten Töne länger dauern, als dieser Zeitabstand beträgt. Diese Bedingung ist beim Orgelspiel meist erfüllt. — Besonders vorteilhaft ist es, mehrere Hörköpfe einzubauen und mit dem Wiedergabeverstärker zu verbinden. Nur die in dem letzten Kopf induzierte Spannung wird, getrennt verstärkt, für die Rückkopplung auf den Sprechkopf benutzt. Dadurch wird eine Verfälschung des Nachhalls durch allzu häufiges Überspielen vermieden. Durch unterschiedliche Kopfabstände erzielt man besonders günstige und dem Aufbau des natürlichen Nachhalls ähnliche Ergebnisse.

1.57 Endverstärker und Lautsprecher

Auch die Qualität des dem Klangformungsteil nachgeschalteten Verstärkers und der Lautsprecheranlage ist für die Klangwirkung der Orgel wesentlich. Über die Vorteile der vom Verfasser mit gutem Erfolg angewandten stereofonen Wiedergabe wurde schon berichtet. Schon mit zwei Knälen erhält man eine sehr plastische und durchsichtige Wiedergabe. Man behauptet mitunter mit gewissem Recht, die notwendige Verwendung eines Lautsprechers bei der Elektronenorgel sei ein Nachteil

gegenüber der Pfeifenorgel, die ja durch die getrennte Aufstellung der einzelnen Pfeifengruppen eine plastische Schallstrahlung ermöglicht. Dieser Nachteil wird durch die stereofone Wiedergabe beseitigt; außerdem erzielt man hierdurch zwangsläufig eine recht weitgehende Aufteilung der tiefen und der hohen Töne auf verschiedene Lautsprecher. Dadurch werden auch die Rauhigkeiten der hohen Töne vermieden, die bei gleichzeitiger Abstrahlung mit starken Bässen von der gleichen Lautsprechermembran infolge des Doppeleffektes leicht auftreten. Eine zusätzliche Aufteilung der Lautsprecher in Hoch- und Tieftöner bringt eine noch weitergehende Verminderung dieser Gefahren.

Mit einem weiteren, entfernt aufgestellten Lautsprecher und entsprechenden Schalteinrichtungen kann man auch ein Echo- oder Fernwerk nachbilden, wie es von großen Pfeifenorgeln her bekannt ist und mitunter für besondere Effekte gebraucht wird.

1.58 Einzelheiten industriell hergestellter Instrumente:

In der industriellen Fertigung macht sich eine Trennung der angebotenen elektronischen Orgeln in zwei Gruppen bemerkbar. Die eine Gruppe ist mehr für die Interpretation der seriösen Orgelmusik bestimmt, während die andere mehr zur Darbietung moderner Unterhaltungsmusik geeignet ist. Zwar sind die Übergänge fließend und beide Instrumententypen lassen sich in gewissem Umfang auch für die andere Musikart verwenden, doch ist eine Spezialisierung deutlich bemerkbar.

Instrumente für vorwiegend sakrale Musik, wie sie von den Firmen Ahlborn, Lipp und anderen gebaut werden, lehnen sich in der Größe der Klaviaturen und in der Art der Register an die Pfeifenorgel an, die sie ja ersetzen sollen. Auch das Pedal entspricht meist mit einem Umfang von dreißig Tasten der Kirchenorgelausführung. Man kann zwar auf diesen Instrumenten ohne weiteres auch leichte Musik spielen, doch wird diesem Verwendungszweck in der Auslegung der Instrumente nicht besonders Rechnung getragen.

Bei den elektronischen Orgeln für vorwiegend leichte Musik, wie sie auch für Hausmusik viel angeboten werden, ist die

Zahl der Obertonchöre oft nicht so groß wie bei der ersten Gruppe. Dafür werden mitunter besondere Vorrichtungen, wie vielseitig einstellbares Vibrato, Perkussion, Mandolineneffekt (eine Variante des Amplitudenvibratos) oder der im Kapitel 1.55 erwähnte Abkling-Hall eingebaut. Auslegung und Namen der Register zielen oft auf besonders für leichte Musik geeignete Klangeffekte hin. Als Pedal wird oft ein kleines Stummelpedal verwendet, das für Unterhaltungsmusik mit nur einem Fuß gespielt wird, während der andere den Fußschweller bedient, an dem mitunter ein kleiner Hebel zur kurzzeitigen Herabsetzung der Stimmung (Hawaiieffekt, vgl. Bild 5) angebracht ist. Die Manuale sind meist verkürzt und ungefähr 3 bis 3½ Oktaven groß. Sie sind dann gegeneinander versetzt, so daß die obere Klaviatur weiter nach rechts geht als die untere. Man nennt solche Orgeln auch „Spinett-Ausführung". Klanglich und spieltechnisch erzielt man hierdurch nur wenig mehr als mit einem teilbaren großen Manual, denn die beiden kleinen Klaviaturen sind ja doch hauptsächlich nur für das Spiel je einer Hand bestimmt und im Umfang für zweihändiges Spiel ein wenig knapp. Die klassische Orgelliteratur ist wegen des geringen Klaviaturumfangs oft weniger gut spielbar als auf einem Instrument mit nur einem größeren Manual. Hat ein solches eine abschaltbare Klaviaturteilung, so ist es in mancher Hinsicht vielseitiger verwendbar als ein Spinett-Modell. Der Verfasser lehnt die Spinett-Modelle jedoch nicht ab, insbesondere, wenn sie in erster Linie der Unterhaltungsmusik dienen sollen. Sie benötigen zwar ein größeres Gehäuse als die einmanualigen Instrumente, bieten aber auch optisch ein recht ansprechendes Bild.

In extremen Fällen wird für die linke Hand auch eine Knopf-Tastatur eingebaut, die der Akkordeon-Baßmechanik entspricht. Vorwiegend der leichten Musik dienen auch die kleinen Klavierzusatzinstrumente, die zum Beispiel von Tanzkapellen wegen der leichten Transportmöglichkeit öfters benutzt werden.

Der Verfasser empfiehlt, ortsfeste elektronische Orgeln am besten so auszulegen, daß sie sich gleich gut für jeden Verwendungszweck eignen.

2. Der Entwurf eines Selbstbauinstrumentes

Vor Beginn des praktischen Aufbaues muß eine Menge gedanklicher Arbeit geleistet werden. Man muß sich, soweit möglich, über alle Teilprobleme des Orgelbaus klar werden und die erforderliche Übersicht gewinnen. *Ziel der Planung ist es, ein gutes Musikinstrument mit möglichst geringem Material- und Arbeitsaufwand zu bauen.* Der Arbeitsaufwand ist in jedem Fall beträchtlich. Deshalb ist es zweckmäßig, den Entwurf nicht allzu großzügig anzulegen. Eine gewisse Beschränkung ist hier von Vorteil. Ein gut funktionierendes kleines Instrument ist besser als ein unfertiges großes. Man kann jedoch bei der Planung bereits spätere Erweiterungen berücksichtigen. Hierbei ist an Platzbedarf, Anschlußmöglichkeiten und andere schaltungstechnische Einzelheiten zu denken. — *Beim Nachbau für gewerbliche Zwecke ist auch die patentrechtliche Lage zu berücksichtigen.*

2.1 Die Klaviaturen

Die Mindestgröße der Manuale liegt bei vier Oktaven. Auch die älteren Pfeifenorgeln sind häufig so ausgelegt. Sie beginnen dann bei C und reichen bis c^3. Dieser Umfang ist bereits für viele Zwecke ausreichend. Wer etwas weiter gehen will, sollte maximal fünf Oktaven wählen, wie es auch bei großen Elektronenorgeln üblich ist. Das Manual kann dann bei $\underline{A}$ beginnen. Moderne Pfeifenorgeln beginnen bei C und reichen bis f^3, g^3 und a^3 hinauf. Ein solcher Umfang von etwa 4½ Oktaven ist auch für eine größere Elektronenorgel durchaus brauchbar. Auch in diesem Fall bildet man im Generatorteil zweckmäßig alle Oktaven voll aus, so daß alle Kaskaden gleich groß werden. Eine Fortsetzung nach oben hin ist für die Obertonregister ohnehin wünschenswert.

Hinsichtlich der Tastenbreite richte man sich nach den üblichen Klavier- und Orgeltasten. Schmälere Tasten sind unzweckmäßig. Üblich sind etwa 165,5 mm für eine Oktave bzw. zwölf Halbtöne. Die Tasten sollen im sichtbaren Teil mindestens 13 cm lang sein; der Hub am vorderen Ende soll 10...11 mm

betragen. Die Tasten müssen, bis Toneinsatz erfolgt, einen toten Gang von 2...3 mm aufweisen. Bei Vorrichtungen für kontinuierlichen Toneinsatz soll letzterer nach etwa weiteren 4 mm beendet sein, so daß beim Durchdrücken der weiteren 4 mm keine Änderung der Lautstärke mehr erfolgt. Der Gegendruck, den die Tasten ausüben, soll etwa 75...130 g betragen und kann innerhalb dieser Grenzen persönlichen Wünschen angepaßt werden. Dieser Druck soll sich beim langsamen Durchdrücken der Tasten nur unwesentlich ändern. Man erreicht dies durch entsprechende Vorspannung der Rückstellfedern und durch leichtgängige Kontakte. Auch Bleigewichte, die in die Tasten jenseits des Waagepunktes eingelassen sind, wirken sich günstig aus, weil wegen ihrer Trägheit zum Niederdrücken mehr Kraft erforderlich ist als zum Halten einer Taste.

Mit der Zahl der Manuale sollte man sich auf eins oder zwei beschränken. Bereits auf einem kleineren Instrument mit nur einem Manual kann man sehr gut musizieren. In diesem Fall empfiehlt es sich, die den Tasten zugehörigen Kontakte in einen Baß- und einen Diskantteil aufzuteilen und den beiden Gruppen getrennte Kanäle im Klangformungsteil zuzuordnen. Durch diese Aufteilung des Manuals in zwei Abschnitte kann man mit jeder Hand eine andere Klangfarbe spielen, wie es auch bei einmanualigen Pfeifenorgeln üblich ist. Durch einen einfachen Schalter läßt sich die Aufteilung bei Bedarf beseitigen.

Die Aufteilung ist bei einem einmanualigen Instrument mit rein selektiver Klangformung, also mit nur einer 8′-Sammelschiene, aus einem weiteren Grunde vorteilhaft. Es ist nämlich klanglich meist weniger günstig, sowohl die Sägezahnschwingungen des Diskant als auch die des Basses über das gleiche Filter zu leiten. Wenn dieses die Obertöne des Diskant zur Klangformung beschneiden, aber dessen Grundtöne zur Erzielung einer ausgewogenen Lautstärke gegenüber dem Baß ungeschwächt durchlassen soll, so werden zwangsläufig auch zahlreiche Obertöne des Basses ungeschwächt durchgelassen. Der Baß ist somit leicht zu obertonreich gegenüber dem Diskant, während das Gegenteil meist gewünscht ist: relativ obertonarme Bässe und frische Diskantklangfarben. Somit ist es günstig, entweder die Klaviatur aufzuteilen und im Diskant und im Baß verschiedene Filter anzuwenden, oder die Bässe gegenüber dem Diskant obertonarm zu machen. Letzteres eignet sich eher für zweimanualige Instrumente und kann durch R-C-Glieder an den Generatorausgängen oder an Teilabschnitten der Sammelschienen erreicht werden (vgl. S. 27 u. 44).

Ferner ist bei Verwendung nur eines Manuals eine Schaltvorrichtung zweckmäßig, mit der man rasch auf eine andere Registrierung umschalten kann. Hierdurch läßt sich beim Spielen ebenso rasch die Klangfarbe wechseln wie beim Übergreifen auf ein anderes Manual, wenn der Umschalter bequem zu bedienen ist, etwa mit dem Fuß. Eine solche Einrichtung bezeichnet man auch als *freie Kombination* im Gegensatz zur festen Kombination, bei der durch Hebeldruck auf eine vom Orgelbauer fest eingestellte Registrierung übergewechselt werden kann.

Es ist einfacher, den für diese Umschaltmöglichkeiten erforderlichen Aufwand zu treiben, als ein komplettes zweites Manual einzubauen. Allerdings erschließt ein solches noch größere musikalische Möglichkeiten. Daher sollte man bei einem ortsfesten Gerät zumindest den späteren Einbau in Erwägung ziehen. — Mehr als zwei Manuale vorzusehen ist wegen der erforderlichen Mehrarbeit bei einem Selbstbauinstrument nicht ratsam. Zweckmäßiger ist es, später einmal ein kleines einstimmiges Instrument beizufügen, das sich besser zur Nachbildung von Einschwingvorgängen eignet als die Orgel und Möglichkeit für weitere Effekte bietet.

Ein Pedal ist stets zu empfehlen, da die Orgelliteratur größtenteils für zwei Hände und Pedal geschrieben ist. Auch für moderne Unterhaltungsmusik aller Art bietet ein Pedal Vorteile. Hier kann es die Baßnoten übernehmen, so daß ein Springen der linken Hand vermieden wird. Wenn man für das Pedal einen einstimmigen Frequenzteiler einbaut, braucht man den Generatorteil hierfür nicht zu erweitern. Man kann notfalls auf einen 16′ im Pedal verzichten, so daß der Aufwand noch geringer wird.

Das Pedal baute man früher mit etwa zwei Oktaven von C...d¹. Heute geht man oft bis etwa f¹ hinauf. Pedaltasten besitzen normalerweise eine sichtbare Länge von 75 cm oder mehr, und die Halbtöne sollen mindestens 13 cm lang sein. Der Hub soll etwa 20 mm, der tote Gang 5 mm und der Gegendruck etwa 1,5...2 kg betragen.

Neben den großen Pedalen haben sich bei Elektronenorgeln für einfache Ansprüche sogenannte *Stummelpedale* durchgesetzt. Diese haben meist nur etwa den halben Tonumfang der großen Pedale, und die Tasten sind wesentlich kürzer. Sie ragen frei aus dem Spieltisch heraus.

Die Tastaturen werden am besten mit dem Klaviaturrahmen, auf dem die Tasten sitzen, fertig bezogen. Häufig kann man auch bei einem Klavier- oder Orgelbauer eine gebrauchte billig erwerben. Die etwa nicht benötigten Tasten werden entfernt. Wenn der Belag schon abgenutzt ist, kann er mit geringem Kostenaufwand erneuert werden. Neue Pedale können auch von Orgelspieltischfabriken bezogen werden.

2.2 Die Planung des Generatorteils

Für den Selbstbau sei, wie erwähnt, besonders das vollelektronische Dauertonverfahren mit Oktavsynchronisation empfohlen. Die Generatoren sollen betriebssicher, frequenzstabil und leicht nachstimmbar sein und nur wenig Materialkosten verursachen. Ein Frequenzvibrato soll sich leicht einfügen lassen. Für ein Selbstbauinstrument ist es ferner vorteilhaft, wenn die erzeugten Einzeltöne bereits obertonhaltig sind, da die additive Synthese *aller* musikalisch interessierenden Obertöne zu umfangreich ist. Es trifft sich daher gut, daß die meisten für Oktavteilerkaskaden geeigneten einfachen, leicht synchronisierbaren Oszillatortypen von oberwellenreichem Charakter sind. Auf Wunsch lassen sich die Oberwellen leicht absieben, um obertonarme Ausgänge zu schaffen.

2.21 Hauptoszillator

Als Hauptoszillator hat der Verfasser für seine Orgeln den Doppel-T-Oszillator nach **Bild 4a** gewählt. Die Schaltung hat sich gut bewährt und kann, auch wegen der hervorragenden

Konstanz, für den Nachbau empfohlen werden. Eine versuchsweise Herabsetzung der Anodenspannung von 250 V auf 100 V ist praktisch ohne Einfluß auf die Frequenz. Auch die Heizspannung kann soweit herabgesetzt werden, daß die Katode nur noch einen Bruchteil der ursprünglichen Emission aufweist. Die Betriebsspannungen brauchen daher nicht stabilisiert zu werden. Die Anodenspannung soll 250 V oder mehr betragen,

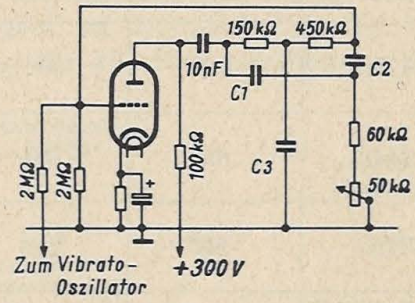


Bild 4a. Doppel-T-Oszillator; die Katodenkombination kann für alle zwölf Hauptoszillatoren gemeinsam sein. Röhre: ½ 6 SC 7; der Katodenwiderstand für eine Triode ist 2 kΩ groß. Bild 4b siehe Tabelle auf der nächsten Seite

damit die erzeugte Niederfrequenzspannung eine möglichst große Amplitude aufweist. Dies ist für Synchronisationszwecke günstig. Die abgegebene Tonfrequenz ist äußerst obertonarm und wird deshalb hauptsächlich zur Synchronisation der Teilerkette verwendet. Sie kann jedoch, wie es bei den größeren Orgeln des Verfassers geschieht, zur Erzeugung von Obertönen bei der additiven Klangbildung mit herangezogen werden. Der Hauptoszillator kann mit dem Potentiometer leicht um mehrere Ganztonschritte verstimmt werden. Die Vibratospannung läßt sich in einfacher Weise in den Gitterkreis einkoppeln.

Mitunter ist es erwünscht, die Gesamtstimmung der Orgel besonders schnell anderen Instrumenten anpassen zu können. Der Verfasser hat hierzu die Hauptoszillatorschaltung etwas abgewandelt. Nach **Bild 5** wird die Gittervorspannung nicht durch eine Katodenkombination sondern gesondert erzeugt und durch das Potentiometer P für alle Hauptoszillatoren gemeinsam einstellbar gemacht. Hierdurch läßt sich leicht die

Ton	Frequenz [Hz]	C 1 [pF]	C 2 [pF]	C 3 [pF]
(c‴)	1046,5	1015	338	1690
cis‴	1108,7	960	320	1600
d‴	1174,7	905	301	1506
dis‴	1244,5	853	284	1421
e‴	1318,5	805	268	1342
f‴	1396,9	775	258	1270
fis‴	1480,0	716	239	1195
g‴	1568,0	677	226	1130
gis‴	1661,2	640	213	1065
a‴	1760,0	600	200	1000
ais‴	1864,7	570	190	950
h‴	1975,5	535	179	895
(c⁗)	(2093,0)	(506)	(169)	(845)

Bild 4b. Kondensatorwerte zu Bild 4a; die Toleranz der Werte beträgt ± 5 %

Stimmung der ganzen Orgel um etwa einen Halbton ändern. Die beiden 2-MΩ-Widerstände aus Bild 4a werden durch nur einen 1-MΩ-Widerstand ersetzt, und die Katoden können ohne längere Leitung an der günstigsten Stelle geerdet werden. Die gute Konstanz der Hauptoszillatoren bleibt erhalten.

Bei einer Orgel mit vier Oktaven Manualumfang legt man die Hauptoszillatoren am Besten eine Oktave höher als die oberste Oktave des Manuals. Man kommt dadurch mit kleineren Kondensatoren im Doppel-T-Netzwerk aus. In diesem Falle wählt man für alle Hauptoszillatoren dieselben Wider-

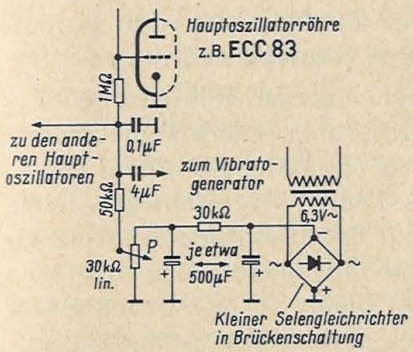


Bild 5. Abänderung der Gittervorspannungserzeugung des Hauptoszillators

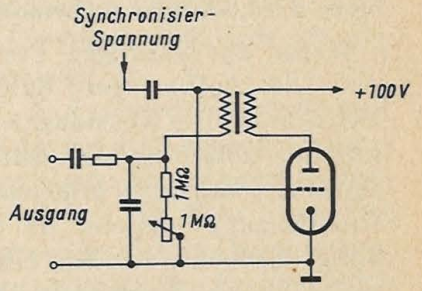


Bild 6. Sperrschwingergenerator

standswerte nach Bild 4a und entnimmt die Kondensatorwerte der Tabelle in **Bild 4b.** Hat man sich zu einem größeren Manual entschlossen, so kann man dieselben Hauptoszillator-Frequenzen beibehalten, wenn man auf die additive Klangerzeugung verzichtet. Die Hauptoszillatoren liegen also in diesem Falle auf der gleichen Tonhöhe wie die obersten Generatoren der Frequenzteilerkette. Bei Anwendung der additiven Klangformung legt man sie durch Halbierung der Kondensatorwerte eine Oktave höher. Die Einzelteilwerte für die heute viel benutzte Röhre ECC 83 folgen auf Seite 118 (Bild 51).

2.22 Frequenzteiler

Für die Teilerkette bietet sich zunächst der *Glimmröhrenoszillator* mit seinen verschiedenen Varianten an. Auch die erste Orgel des Verfassers arbeitete nach diesem Prinzip. Zur

Synchronisation waren nach *Strassner* (12) Hilfselektroden auf den Glimmröhrenkolben angebracht worden. Trotz künstlicher Alterung der Röhren und Nachstimmöglichkeit durch Potentiometer alterten die Röhren ständig weiter, so daß oft nach einiger Zeit der Nachstellbereich der Potentiometer nicht mehr ausreichte und die Kondensatorwerte geändert werden mußten, um die Orgel wieder zum einwandfreien Arbeiten zu bringen. Wegen der schlechten Konstanz der in Deutschland billig erhältlichen Glimmröhren sei deshalb von diesem Oszillatortyp abgeraten. Experimente dürften sich lediglich mit dem in der Originalliteratur (13; 14) oft empfohlenen amerikanischen Typ NE 2 oder ähnlichen lohnen. Zur Prüfung sind der Aufbau einer Kaskade und mehrmonatiger Dauerbetrieb ratsam.

Wegen der günstigen Preislage mancher Röhrentypen bereitet der Aufbau einer Röhrenschaltung jedoch keine großen Mehrkosten. Die Konstanz der vom Verfasser gewählten *Sperrschwingerschaltung* nach **Bild 6** ist seit Jahren sehr gut. Diese einfache Schaltung wurde auch mit Batterieröhren bei Wechselstromheizung erprobt, da Batterie-Doppeltrioden oft sehr billig angeboten werden. Hierbei bleibt der Heizstrombedarf und damit die Wärmeentwicklung gering. Der Gesamtanodenstrom des Generatorteils beträgt zudem nur wenige Milliampere.

Die *Arbeitsweise* sei kurz erläutert: Wegen der festen Kopplung der beiden Spulen in Bild 5 setzt sofort nach dem Einschalten eine Schwingung ein, die hier Rückkopplungsschwingung genannt sei und deren Frequenz hauptsächlich durch die Induktivität der Spulen und die Wicklung- und Schaltkapazitäten bestimmt wird. Sie wird um so höher liegen, je kleiner die Windungszahlen und der Eisenkern sind. Diese starke und schnelle Schwingung dauert häufig nur eine halbe bis eine Periode an und setzt dann aus, weil durch Gittergleichrichtung und hohen Gitterableitwiderstand das Gitter so stark negativ wird, daß die Röhre sperrt. Hierbei hat sich der Kondensator parallel zum Gitterableitwiderstand schnell aufgeladen. Die Ladung fließt danach allmählich über den Gitterableitwiderstand wieder ab, bis die Gitterspannung wieder im Arbeitsbereich liegt und sich das Spiel wiederholt.

Am R-C-Glied entsteht somit eine Sägezahnspannung, deren Frequenz im wesentlichen durch seine Zeitkonstante sowie durch die Stärke der negativen Spannungsstöße bestimmt wird. An der Anode entsteht dagegen eine Folge von sehr kurzen, steilen Impulsen von geringer Spannung, aber hohem Obertongehalt. Diese Spannung wird zur Synchronisation der folgenden Stufe verwendet. Die Tonfrequenz hingegen wird am R-C-Glied über einen Kondensator und einen Hochohmwiderstand abgenommen, um den Generator nicht zu stark zu belasten.

Durch ans Gitter gelegte Synchronisierimpulse läßt sich der Einsatz der Rückkopplungsschwingung zeitlich verschieben, so daß in gewissen Grenzen Synchronisation möglich ist. Durch Grobabstimmung auf die halbe Frequenz läßt sich die gewünschte Oktavsynchronisation erzielen.

Die Daten der Transformatoren sind relativ unkritisch, und das Übersetzungsverhältnis kann in weiten Grenzen schwanken. Je stärker die Rückkopplung, desto besser ist im Allgemeinen die Synchronisierbarkeit; ferner ist diese besonders gut, wenn die Transformatoren unter sich gleiche Daten haben. Offenbar wirkt sich eine Resonanz bezüglich der Frequenz der oben erwähnten Rückkopplungsschwingung günstig aus.

Im Prinzip lassen sich für den Sperrschwinger Hf-Spulen verwenden, die gitterseitig etwa 50, anodenseitig etwa 20 Windungen Draht auf einem einfachen Spulenkörper ohne Eisenkern enthalten. Durch die dann sehr hoch liegende Rückkopplungsfrequenz können jedoch leicht Rundfunkstörungen verursacht werden. Auch muß man verhindern, daß die Oszillatoren aufeinander koppeln und sich innerhalb einer Kette zu stark mitnehmen, was zu einem Frequenzverhältnis 1 : 1 führt. Nach Versuchen liegt die Ursache nicht im Magnetfeld der Spulen (Verdrehen und Abschirmen brachten keine Änderung), sondern in der Leitungs- und Röhrenkapazität und in der Induktivität der Leitungen. Diese Faktoren sind bei solchen einfachen Spulen besonders einflußreich, da in diesem Fall die Rückkopplungsschwingung weit im Hf-Bereich liegt.

Zur Abhilfe kann man Siebglieder in die Betriebsspannungsleitungen legen, Kopplungen mit kleinen Kondensatoren kom-

pensieren oder unterschiedliche Spulendaten verwenden. Zur Vermeidung von Rundfunkstörungen ist es jedoch besser, Übertrager mit höherer Induktivität zu verwenden. Geeignet sind größere Hf-Topfspulen, deren Eigenfrequenz in gewissen Grenzen durch Parallelkondensatoren weiter herabgesetzt werden kann. Noch besser sind kleine Nf-Übertrager, wie sie oft billig angeboten werden oder auch selbst angefertigt werden können. Bei einem Kernquerschnitt von 0,4 cm² sind insgesamt etwa 500 Windungen bereits ausreichend. Der Verfasser benutzt für die Röhren 3 B 7 und ECC 83 gitterseitig 400 Windungen, anodenseitig 200 Windungen auf einem solchen kleinen Kern. Bei höheren Windungszahlen werden die Verhältnisse allmählich wieder ungünstiger. — Um die einzelnen Generatoren einer Kette zu koppeln, können Kondensatoren C nach **Bild 7** verwendet werden, jedoch ist auch induktive Kopplung möglich. Hierzu stellt man die Transformatoren so dicht nebeneinander auf, daß sich die Blechpakete berühren.

Die Potentiometer im Gitterkreis der Kippgeneratoren dienen zum Nachstellen der Frequenz, falls diese aus der Synchronisation herausspringen. Bei den Mustergeräten war dies zwar nicht erforderlich, der Einbau bedeutet aber eine zusätzliche Sicherheit. Auch gestaltet sich hierdurch das erste Into-

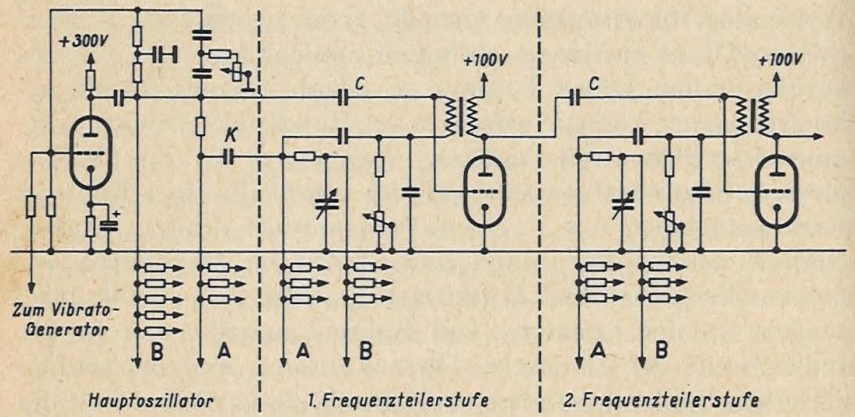


Bild 7. Teilschaltbild einer Oktavteilerkaskade; die übrigen Teilerstufen werden in gleicher Weise ausgebildet. A = obertonreiche Ausgänge, B = obertonarme Ausgänge

nieren der Orgel einfacher, da bei der Auswahl der frequenzbestimmenden Kondensatoren ein noch größerer Spielraum verbleibt. Es genügen einfache Trimmwiderstände oder billige Tonblendenpotentiometer, die man ohne Drehknopf einbaut.

Von anderen Generatortypen werden für den Hauptoszillator öfters auch L-C-Generatoren verwendet, denen man für Spezialzwecke auch höhere Synchronisierspannungen entneh-

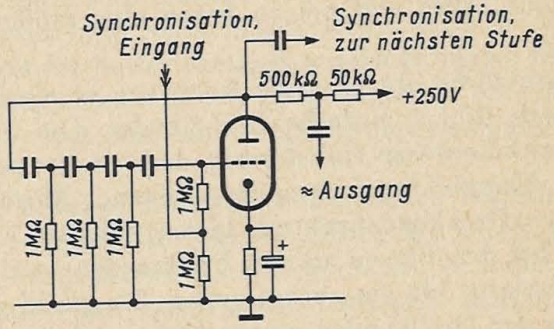


Bild 8. Phasenschiebergenerator für Tonerzeugung (1000 Hz)

men kann als Doppel-T-Generatoren. Ihre Konstanz ist aber in der Regel geringer, und Nachstimmen und Vibratoerzeugung sind schwieriger. — Für die Teilerketten werden mitunter Phasenschiebergeneratoren benutzt, die ohne Amplitudenbegrenzung meist auch genügend Obertöne erzeugen. Für diese Schaltung **(Bild 8)** wird kein Transformator benötigt, dafür ist der Aufwand an frequenzbestimmenden Kondensatoren und Widerständen größer. Diese Einzelteile müssen untereinander etwa gleich groß sein.

2.23 Der Ausgang der Oszillatoren

Die Belastung des Sperrschwingerausgangs soll insgesamt etwa 1 MΩ nicht unterschreiten. Werden nach Bild 7 zur Mehrfachausnutzung der Generatoren mehrere Auskopplungswiderstände angebracht, so können diese wegen der hohen Ausgangsspannung leicht 8...10 MΩ groß gemacht werden. Dieser Wert ist auch wegen der unten empfohlenen kapazitiven Tastenkontakte günstig. — Die Ausgangsspannungen der einzelnen

Generatoren gleicher Art liegen im allgemeinen etwa in gleicher Höhe, so daß sie meist nicht besonders aneinander angeglichen werden müssen. In Ausnahmefällen kann man durch Einsetzen einer anderen Röhre Abhilfe schaffen oder die Ausgangsspannung durch Einfügen eines Widerstandes in den Generatorausgang herabsetzen. Bei der kapazitiven Tastenkontaktmethode ist ein Lautstärkenangleich besonders einfach, indem man bei zu lauten Tönen eine Papierzwischenlage entsprechender Dicke und bei zu leisen eine größere Elektrode anbringt.

Für zusätzliche obertonarme Ausgänge verwendet der Verfasser nach Bild 7 einfache R-C-Glieder. Die Spannung ist dann zwar keineswegs sinusförmig, doch ist dies gerade für die additive Klangbildung besonders günstig. Mittels einfacher Hartpapier-Drehkondensatoren lassen sich die höheren Frequenzen bei den Bässen stärker beschneiden, so daß über die ganze Klaviatur hin ein ausgewogenes Klangbild entsteht. Die Endwerte der Drehkondensatoren betragen beim Ton C etwa 500 pF, beim Ton c^3 etwa 100 pF. Dazwischen sind die Größen abgestuft. Die Töne werden so abgeglichen, daß etwa der Obertongehalt der Prinzipalregister, der wichtigsten für die Plenumbildung, erreicht wird. Dies ist bei R-Werten von 2 MΩ etwa in Mittelstellung der Fall. — Zu den angegebenen Kapazitätswerten ist zu bemerken, daß den Kondensatoren die Ausgangswiderstände wechselstrommäßig parallel liegen. Nun sind diese aber im Diskantteil zahlreicher, da die Obertonregister verschieden hoch einsetzen. Die Werte gelten für zwei obertonarme 10-MΩ-Ausgänge in der unteren Oktave und fünf solche in der oberen Oktave.

Wird der Hauptoszillator für die Fortsetzung von Obertonregistern mit herangezogen, die aus obertonarmen Generatorausgängen gespeist werden, so ist dies unter Verwendung größerer Ausgangswiderstände ohne weiteres möglich, da seine Spannung höher ist als die der Sperrschwinger. Für obertonreiche Register hingegen ist die abgegebene Spannung nicht obertonreich genug. Abhilfe schaffen nach Bild 7 kleine Kondensatoren K, mit denen dem nächst tieferen Generator Obertöne entnommen und dem Ausgang beigefügt werden. Die Grundtonregister müssen jedoch durchweg aus obertonreichen Generatoren gebildet werden.

2.24 *Generatoren mit Transistoren*

Im Generatorteil von Elektronenorgeln werden bis jetzt Röhren gegenüber Transistoren bevorzugt, da sie noch preisgünstiger und auch in den elektrischen Daten konstanter sind. Deshalb soll ihnen auch hier der Vorrang gegeben werden. Für bestimmte Zwecke und Neukonstruktionen, wie z. B. eine tragbare Kleinorgel für Batteriebetrieb, wird man jedoch den Transistor nach Möglichkeit bevorzugen, zumal er eine deutliche Platzersparnis und eine einfachere Stromversorgung ermöglicht.

Die in der üblichen Literatur angegebenen einfachen Tongeneratoren erwiesen sich bei Versuchen als wenig geeignet. Auch nach theoretischen Gesichtspunkten scheiden bereits einige Generatortypen aus. Da für den Hauptoszillator wegen der meist guten Konstanz Sinusgeneratoren zu bevorzugen sind, wurde zunächst der L-C-Generator in engere Wahl gezogen. Dieser Typ erwies sich jedoch auch nicht als hinreichend konstant, und bei obertonarmer Ausführung bietet sich keine einfache Stimmöglichkeit, z. B. mit Hilfe eines Trimmwiderstandes, wenn man von der mechanisch nicht einfachen Methode der Luftspaltveränderung absieht. Auch die Einkopplung eines Vibratos erfordert besondere Kunstgriffe. — Einfache Phasenschiebergeneratoren sind ohne Amplitudenbegrenzung wegen der entstehenden Übersteuerungen bereits obertonhaltig und für den Hauptoszillator nicht genügend konstant.

Der Verfasser hat deshalb die zwar wenig bekannte, aber in jeder Hinsicht bewährte *Doppel-T-Oszillatorschaltung* für Transistoren abgeändert und nach eingehenden Versuchen eine brauchbare Form gefunden. Das Gleiche gilt für die in der Frequenzteilerkette verwendeten Sperrschwinger und für den Vibratogenerator. — Von den zur Verfügung stehenden Transistoren hat sich besonders gut die Type 541 der Fa. Dr. Böhm[1]) bewährt. Für den Hauptoszillator werden Exemplare mit guter Stromverstärkung (z. B. etwa 90fach bei 1,5 V Kollektorspannung) benötigt; für die anderen Stufen des transistori-

[1]) Vgl. Seite 116

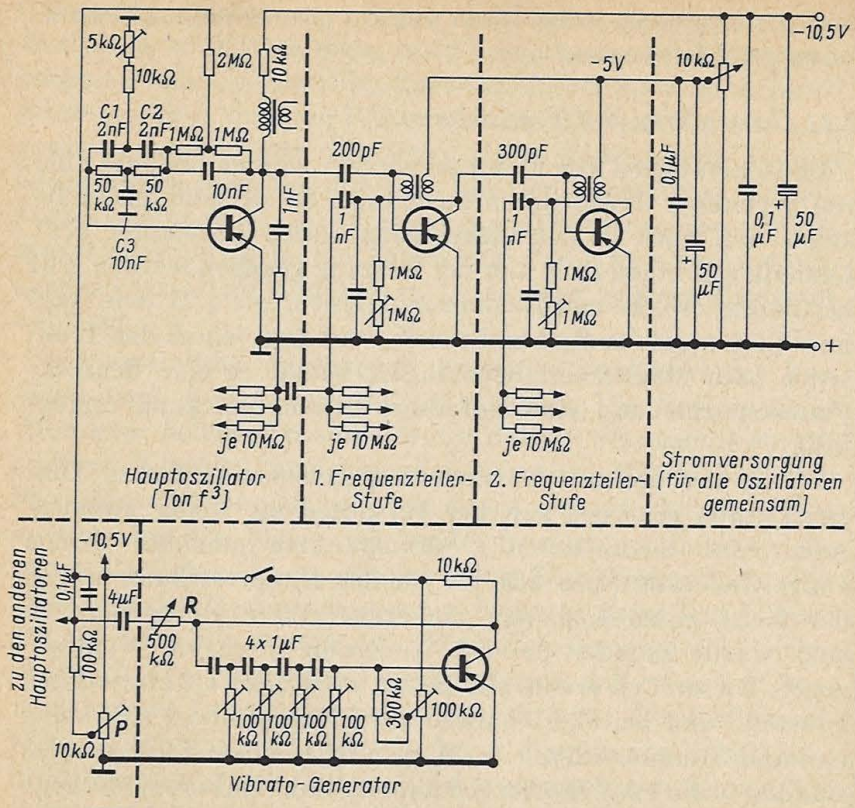


Bild 9. Teilschaltbild einer Oktavteilerkaskade mit Transistoren

sierten Generatorteils genügt eine mittelgroße Stromverstärkung. Zwar ist diese Type ein Hf-Transistor, doch ist eine besonders hoch liegende obere Grenzfrequenz nicht erforderlich.

Im Kollektorkreis des Hauptoszillators liegt nach **Bild 9** die hochohmige Spule eines Transistor-Vorstufenübertragers oder eine Spezialdrossel[1]), weil ein rein ohmscher Widerstand eine zu geringe Ausgangsspannung liefert. Ein solcher Widerstand ist jedoch zusätzlich erforderlich, weil er den Einfluß der Betriebsspannung auf die Frequenz einschränkt. Die richtige Bemessung des Kollektorkreises ist etwas kritisch.

Das Doppel-T-Filter wurde hier symmetrisch und niederohmiger als bei den Röhrenschaltungen gestaltet. Der 5-kΩ-Widerstand dient zum Stimmen. Die beste Frequenzkonstanz

1) Vgl. Seite 116

Ton	C 1, C 2	C 3
c^3, cis^3	2630	13200
d^3, dis^3	2320	11100
e^3, f^3, fis^3	2000	10000
g^3, gis^3, a^3	1700	8450
b^3, h^3, (c^4)	1420	7100

Bild 10. Kondensatorwerte in pF für die Hauptoszillatoren nach Bild 9

wird bei Einstellungen im unteren Teil des Frequenzgebietes erzielt, in dem der Generator noch schwingfähig ist, offenbar weil die Amplitude dann etwas geringer ist und so Übersteuerungen am sichersten vermieden werden. **Bild 10** zeigt die Kondensatorwerte für die übrigen Hauptoszillatoren. Abweichend von dieser Tabelle können auch von Ton zu Ton abgestufte Kondensatorwerte gewählt werden. Durch Halbieren der Kapazitätswerte im Netzwerk lassen sich die Generatoren eine Oktave, durch zusätzliches Halbieren der zugehörigen drei Widerstandswerte eine weitere Oktave höher legen. — Die Erzeugung des Basisstroms durch die beiden 1-MΩ-Widerstände, die den kollektorseitigen Koppelkondensator überbrücken, erwies sich als besonders günstig. Eine basisseitig über den 2...3-MΩ-Widerstand einkoppelbare Gleichspannung gestattet eine Frequenzverschiebung. Für die ersten Versuche wird diese Leitung zunächst weggelassen. Das Potentiometer P ermöglicht später ein Tiefer- oder Höherstimmen der ganzen Orgel um je einen Halbton. Der gleiche Weg wird zur Erzeugung des Vibratos benutzt.

Der Vibratogenerator erzeugt mit Hilfe eines in den Daten nicht kritischen Transistors eine geeignete, ziemlich obertonarme langsame Schwingung von ausreichender Amplitude. Die vier linken Trimmwiderstände bestimmen die Frequenz und

sollen stets ungefähr auf untereinander gleiche Werte eingestellt werden. Der rechte Trimmwiderstand dient zur Einstellung des günstigsten Basisstroms. Die Schwingfähigkeit ist bei ziemlich niedrigen Basisströmen am besten. Mit dem Potentiometer R läßt sich die Vibratostärke einstellen. Analog Bild 15 kann auch die Vibratofrequenz einstellbar gemacht werden.

Die Sperrschwinger enthalten die gleichen einfachen Transformatoren, die auch bei den Röhrenschaltungen verwendet werden. Die kleinere Wicklung liegt im Kollektorkreis. Die etwas niedrigere Betriebsspannung von 5 Volt ergibt zwar eine kleinere Amplitude, aber auch eine bessere Synchronisierbarkeit, und sie verhindert Rückwirkungen auf den Hauptoszillator. Durch den Anschluß des frequenzbestimmenden Widerstands an den Pluspol der Stromquelle wird die erforderliche Größe des parallel dazu liegenden Kondensators verringert. Die Sperrschwinger arbeiten jedoch auch bei Anschluß dieses Widerstandes an eine negative Spannung von z. B. 1 Volt oder mehr, die genau wie die Kollektor-Arbeitsspannung zu erzeugen und einzustellen ist. Infolge der dann schnelleren Entladung des Kondensators ändert sich jedoch die Frequenz.

Die Einzelteilwerte aller Teilerstufen, auch der im Bild nicht eingezeichneten weiteren Teilerstufen, sind bis auf die nach Seite 98/99 auszuprobierenden Kondensatoren genau gleich. Es zeigte sich, daß die Sperrschwinger etwa gleiche Ausgangsspannungen liefern, so daß auch hier auf die Einschaltung von Trimmpotentiometern zur Lautstärkeneinstellung verzichtet werden konnte. An jedem Generator können beliebig viele Ausgänge angebracht werden, die zur Speisung mehrerer Tastaturen und der stets klangveredelnden Obertonregister dienen. Der Hauptoszillator wird für die hohen Töne der Obertonregister herangezogen. Über eine kleine Kapazität wird auch dieser Ausgang obertonreich gemacht.

Die Temperaturkonstanz der Kaskaden ist gut. Zunächst wurden in einer Versuchskaskade die Transistoren in einem auf 30° C geheizten Raum betrieben und dann durch gemeinsames Eintauchen in eine Eis-Wasser-Mischung von 0° C stark abgekühlt. Hierbei zeigte sich eine Frequenzverschiebung von nur

etwa 1/8 Ton. Auch alle Sperrschwinger blieben ohne weiteres im Takt. Eine solche geringe Verstimmung der Orgel ist in der Praxis meist nicht störend. Sie kann durch Nachstellen von P leicht ausgeglichen werden, wenn die Orgel etwa mit anderen Instrumenten zusammen gespielt werden soll. Ferner zeigte es sich, daß die Frequenzverschiebung, falls gewünscht, durch Einbau von weniger temperaturkonstanten Kondensatoren im Doppel-T-Netzwerk leicht kompensiert werden kann, da deren Temperaturverhalten umgekehrt ist wie das der Transistoren. Da bereits Kondensatoren mit mittelguter Temperaturkonstanz eine größere Abhängigkeit der Frequenz von der Temperatur bewirken als die Transistoren, braucht man nur einen der drei Kondensatoren durch ein Exemplar mit etwas schlechterem Temperaturkoeffizienten zu ersetzen. Der Erfolg einer solchen Maßnahme erwies sich bei einer Abkühlung der ganzen Kaskade im Kühlschrank. Hierbei war keine Änderung der Stimmung mehr festzustellen. Daher erübrigt sich die Verwendung eines Thermostaten, der an sich bei ortsfesten Orgeln den Aufwand nicht wesentlich erhöhen würde. Auch die Lautstärke blieb bei den Kühlversuchen stets praktisch konstant.

Beim Herabsetzen der Betriebsspannung von 10,5 auf 8 Volt war keine Änderung der Stimmung feststellbar, nur die Amplitude änderte sich etwas. Erst beim Absinken der Spannung auf 4 Volt änderte sich die Stimmung ziemlich schnell um etwa 1/2 Ton. Bei noch tieferer Spannung fielen die Sperrschwinger wegen der dann zu geringen Amplitude des Hauptoszillators aus der Synchronisation. Da auch die Spannungskonstanz somit gut ist und die Stromaufnahme des ganzen Generatorteils (72 Generatoren) nur etwa 8 mA beträgt, kann man für den Generatorteil leicht eine besondere Batterie verwenden, die dann genügend lange die erforderliche Spannung liefert. In besonderen Fällen und bei Netzbetrieb mit starken Stromschwankungen wäre wegen des geringen Strombedarfs auch leicht eine Stabilisierung mit Hilfe einer Zenerdiode zu erreichen.

Auf Grund dieser Ergebnisse kann die entwickelte Schaltung für eine transistorisierte Orgel als *voll brauchbar* und *gut konstant* bezeichnet werden. Alle Vorteile der Dauertonmethode

und der Oktavsynchronisation bleiben erhalten. Auch der Aufwand bleibt recht gering, wenn man von den Kosten für die Transistoren absieht. Letztere werden jedoch schließlich durch die höhere Lebensdauer ausgeglichen. — Recht günstig ist auch, daß im Emitterkreis Widerstände und Elektrolytkondensatoren, die zudem mitunter defekt werden können, nicht benötigt werden. — Für die Transistoren sollte man nicht die billigste Ware verwenden, da diese oft von geringer Qualität ist. Eigene Materialeignungsversuche sind wegen der mitunter erheblichen Streuung der Daten der Transistoren, insbesondere bei Verwendung anderer Typen, erforderlich. — Schaltvorschläge für den Klangformungsteil folgen auf Seite 87.

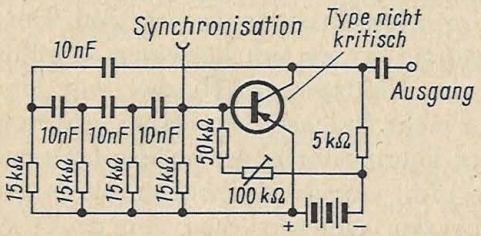


Bild 11. Transistor-Phasenschiebergenerator als Tongenerator

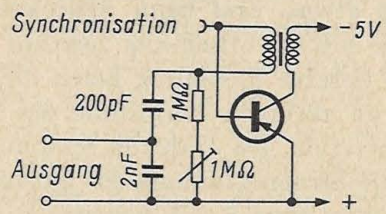


Bild 12. Erzeugung eines niederohmigeren Ausgangs bei einem Sperrschwinger

Es sei noch ergänzt, daß sich auch ein Transistor-Phasenschiebergenerator synchronisieren und nach **Bild 11** für die Frequenzteilerkette verwenden läßt. Die benötigten Kapazitätswerte werden jedoch bei den tieferen Tönen ziemlich hoch. — Ferner sei bemerkt, daß man nach **Bild 12** bei Bedarf auch an einem Sperrschwinger niederohmige Ausgänge anbringen

kann. Der frequenzbestimmende Kondensator wird im Verhältnis 1 : 10 unterteilt. Hierdurch kann der Ausgang ziemlich stark belastet werden. Dies ist mitunter bei Verwendung rein metallischer Tastenkontakte günstig. Die Methode kann auch bei Röhrensperrschwingern angewandt werden.

2.25 Röhrenauswahl

Für die Röhrenbestückung sind aus Preis- und Platzgründen *Doppeltrioden* besonders vorteilhaft. Für die Sägezahngeneratoren wurde bei den ersten Orgeln des Verfassers die direkt geheizte amerikanische Doppeltriode 3 B 7 verwendet, die seinerzeit noch weniger als eine DM kostete.

Die Röhrenauswahl ist nicht kritisch und hauptsächlich von der Marktlage abhängig. Praktisch lassen sich alle Trioden und Mehrgitterröhren in Triodenschaltung verwenden. Wer indirekt geheizte Röhren bevorzugt, findet unter den ECC-Typen eine größere Auswahl. In letzter Zeit wird die Röhre ECC 83 preisgünstig angeboten; sie hat sich ebenfalls gut bewährt. Das gleiche gilt für die Type ECC 82.[1]) — Bei Serienheizung ist darauf zu achten, daß die Brummeinstreuung aus dem Heizkreis nicht zu groß wird. Sichere Abhilfe bringen wie auch im Klangformungsteil die Gleichrichtung und Siebung des Heizstroms. Einen solchen Serienheizkreis könnte man mit einem Eisenwasserstoffwiderstand stabilisieren, wenn dies bei Verwendung weniger konstanter Generatoren, als hier angegeben, und starken Netzschwankungen erforderlich ist.

In den Sperrschwingern kann die Röhre 3 B 7 oder eine ähnliche ohne weiteres mit Wechselstrom geheizt werden. Die Einstellung des Entbrummers ist nicht kritisch. Man verwendet entweder für jede Kaskade eine getrennte Heizwicklung oder man legt, wenn nur eine gemeinsame Wicklung verwendet wird, ihre beiden Enden über je einen 100-µF-Kondensator an Masse.

Wenn für den Hauptoszillator die Röhre 3 B 7 mitverwendet werden soll, so müssen beide Heizfadenhälften mit gut gesiebtem Gleichstrom geheizt werden, andernfalls kommt es zu einer Brummodulation. Deshalb ist zu überlegen, ob für den

1) Vergleiche Seite 122

Hauptoszillator nicht Röhren mit *indirekter Heizung* verwendet werden sollten. Besonders naheliegend ist dies bei einem Instrument mit vier Oktaven Manualumfang. Man benötigt hier für die viergliedrige Frequenzteilerkette jeweils zwei Doppeltrioden. Eine weitere Doppeltriode wird dann für je zwei benachbarte Hauptoszillatoren gemeinsam verwendet. Auf diese Weise kommt man mit insgesamt sechs indirekt geheizten Röhren für den Generatorteil aus. Im kleinen Mustergerät wurde so verfahren. Anstelle der benutzten Röhre 6 SC 7 eignet sich auch jede ähnliche Type (vgl. Seite 122).

Bei einem größeren Instrument mit 4½ bis 5 Oktaven Manualumfang benötigt man in jeder Kaskade einschließlich des Hauptoszillators sechs Röhrensysteme. Hier ist es günstiger, pro Kaskade drei gleiche Doppeltrioden einzubauen, von denen eine dem obersten Sperrschwinger und dem Hauptoszillator gemeinsam zugehört. Diese Röhre muß, wenn sie direkte Heizung hat, ganz mit Gleichstrom geheizt werden, falls nicht beide Heizfadenhälften völlig voneinander getrennt sind. Um auf 1,4 V Heizspannung zu kommen, muß man von etwa 6,3 V Wechselspannung ausgehen und Doppelweggleichrichtung anwenden. In der Siebkette sind eine mittelgroße Drossel und zwei Kondensatoren von mehreren 1000 µF erforderlich. Die Lebensdauer der Röhre 3 B 7 und die Konstanz sind sehr gut.

Erweitert man in Sonderfällen den Generatorteil, so gilt bei einem Umfang von sieben Generatoren je Kaskade das gleiche wie im ersten, bei acht Generatoren das gleiche wie im zweiten

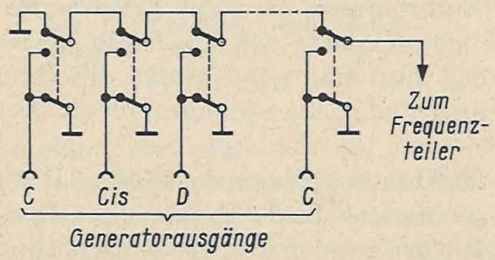


Bild 13. Tastenkontakte für einstimmiges Pedal

Fall, sofern man sich nicht zu den etwas teureren Röhren ECC 82 oder ECC 83 entschließt. Der Verfasser verwendet in letzter Zeit vorwiegend die ECC 83 oder eine neue Spezialröhre (vgl. Seite 122).

2.26 Das Pedal

Beim Pedal wird oft auf Polyphonie verzichtet. Wählt man Tastenkontakte nach **Bild 13,** so wird jeweils nur ein Ton weitergegeben, auch wenn versehentlich mehrere Tasten gedrückt sind. Durch Nachschalten eines nichtselektiven Frequenzteilers, etwa eines bistabilen Multivibrators nach **Bild 14,** läßt sich zusätzlich zum 8′-Ton ein 16′-Ton abnehmen. Ferner ist es möglich, eine zusätzliche Kontaktreihe für ein polyphones Register, z. B. 4′, einzubauen. Für einfache Ansprüche ist auch ein 8′-Register im Pedal allein oft hinreichend voll, um dem Spiel das nötige Fundament zu geben, sofern einwandfreie Lautsprecher verwendet werden. Gut eignen sich Eckenlautsprecher (15) und große, geschlossene Lautsprecherboxen bei Einbau entsprechend hochwertiger Lautsprechersysteme. — Hohe Ansprüche erfordern im Pedal einen *polyphonen* 16′ und damit die Erweiterung des Generatorteils um eine Oktave nach unten sowie eine Klangkrone aus einigen Obertonregistern.

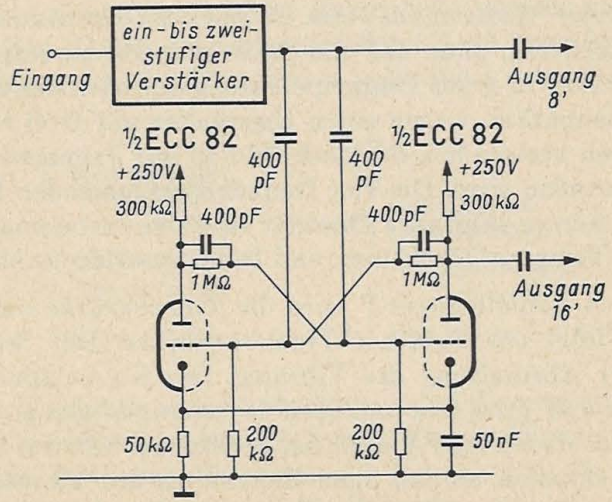


Bild 14. Bistabiler Multivibrator

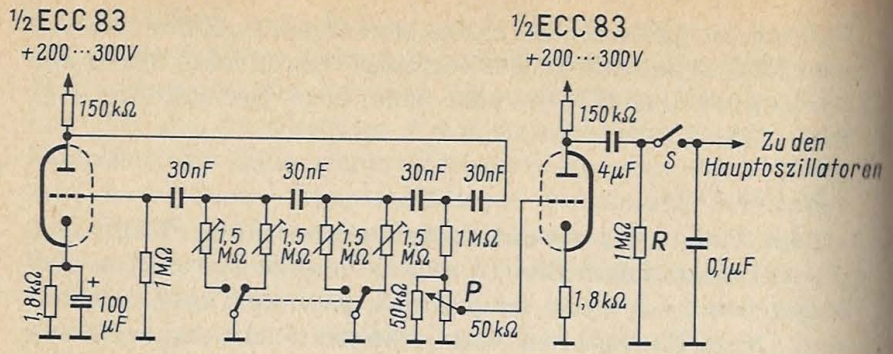


Bild 15. Vibratogenerator. Der Widerstand 50 kΩ parallel zum Potentiometer P ist ein Trimmwiderstand

2.3 Der Vibratogenerator

Für die Erzeugung der Vibratofrequenz eignet sich neben anderen Schaltungen gut ein *Phasenschiebergenerator* nach **Bild 15.** Als Röhre kann man eine Triode mit ausreichender Spannungsverstärkung verwenden; man benötigt dann vier R-C-Glieder, um die nötige Phasenverschiebung von 180° und Selbsterregung zu erreichen. Für gute Schwingfähigkeit ist es günstig, wenn diese R-C-Glieder unter sich ungefähr gleich groß sind, jedoch läßt sich schon durch gleichlaufende Veränderung zweier Widerstandswerte in gewissen Grenzen die Frequenz variieren, ohne daß die Schwingungen aussetzen. Man kann hierzu ein gutes Doppelpotentiometer oder der einfacheren Bedienbarkeit wegen einen Umschalter mit zwei oder drei Stellungen verwenden, der nach Bild 15 mit Trimmwiderständen verbunden wird. Die vier frequenzbestimmenden Kondensatoren müssen sehr gute Qualität besitzen, insbesondere hinsichtlich Temperaturkonstanz und Isolationswiderstand.

Mit dem Potentiometer P wird die Vibratostärke eingestellt. Diesem folgt ein einfacher Trennverstärker. Der Schalter S dient zur Abschaltung des Vibratos. Der Koppelkondensator soll etwa 4 µF groß sein und beste Isolation aufweisen. Er wird durch den Widerstand R auch bei geöffnetem Schalter S immer geladen gehalten, so daß beim Einschalten des Vibratos keine Gleichspannungsstöße in den Generatorteil gelangen können,

wo sie starke Frequenzverschiebungen der Generatoren zur Folge hätten. Der Kondensator 0,1 µF unterdrückt störende Tonfrequenzspannungen aus dem Generatorteil, die sonst durch die Zuleitung abgestrahlt werden könnten. Der Anschluß des Vibratos an die Hauptoszillatoren erfolgt über die 2-MΩ-Widerstände an deren Gittern (Bild 4a). — Die Vibratospannung muß oberwellenarm sein, damit das Vibrato angenehm ist. Deshalb darf die Einstellung der Vibratostärke nicht hinter die Trennröhre verlegt werden, damit diese nicht übersteuert wird, andernfalls könnten rechteckähnliche Impulse entstehen. Verwendet man für das Vibrato oberwellenreiche Generatoren, so muß deren Ausgangsspannung durch ein R-C-Glied geglättet werden.

2.4 Planung des Tastenkontaktteils

Der Tastenkontaktteil ist ein wichtiger und stark beanspruchter Baustein der Orgel, er sollte daher einfach, robust und sehr zuverlässig konstruiert sein. **Bild 16** zeigt die vom Verfasser angewandte Schaltungstechnik der Tastenkontakte. Sie hat sich auch in der Industrie neben einfachen Arbeits- oder Ruhekontakten weitgehend eingeführt, da sie verschiedene Vorteile bietet. Die Zuleitungen vom Generatorteil brauchen wegen der Erdung bei nicht gedrückter Taste nicht einzeln abgeschirmt zu werden. Durch die vielen geerdeten Leitungen können sich auch die gespielten Töne kaum gegenseitig beeinflussen oder

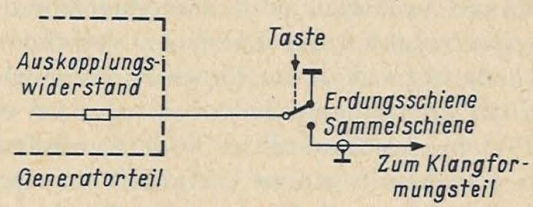


Bild 16. Schaltungsprinzip der Manualtastenkontakte

andere Störspannungen aufnehmen, und die einzelnen Kanäle bleiben somit hinreichend getrennt. Ferner können bei dieser Methode die beiden feststehenden Kontakte durch unter der ganzen Tastatur durchlaufende Schienen gebildet werden.

Im einfachsten Fall bestehen alle drei Kontaktteile aus Metall; hierfür werden Hartsilber, Gold und bestimmte Legierungen empfohlen. Ein zu harter Toneinsatz und Klicken lassen sich vermeiden, wenn in die Orgel pro Taste mehrere Kontakte eingebaut werden, um mehrere Registerfußlagen für die additive Klangsynthese zu ermöglichen. Man läßt die Einzelkontakte dann nicht exakt gleichzeitig schließen, so daß die Teiltoneinsätze bzw. Einzelklicke kurz nacheinander erfolgen. Gut eignen sich hierfür die einfachen und billigen Bürstenkontaktsätze, die zudem wenig Arbeit erfordern (vgl. Seite 103). Häufig bemüht man sich jedoch um eine Veredelung des Toneinsatzes, der ja für das Klangbild eines jeden Musikinstrumentes wesentlich ist. Bei einstimmigen Instrumenten kommt man relativ einfach zum Ziel, indem man eine Regelvorrichtung benutzt. Man kann zum Beispiel mit Hilfe einer Exponentialröhre, deren Verstärkung durch Tastenkontakte beeinflußt wird, einen weniger plötzlichen Toneinsatz erreichen und so das Klicken unterdrükken. Bei Orgeln mit mechanisch-elektrischer Schwingungserzeugung bleibt der Aufwand trotz Polyphonie ebenfalls gering. So verwendet man mitunter auch Tonabnehmer, die sich erst beim Tastendruck den Profilscheiben nähern. Lichtelektrische Orgeln benutzen mit den Tasten gekoppelte bewegliche Blenden oder bedienen sich der Anwärmzeit einzelner Glühlampen, die durch die Tastenkontakte zum Aufleuchten gebracht werden. Schwieriger ist das Problem bei der vollelektronischen Methode zu lösen. Da getrennte Regelvorrichtungen für jeden Ton und Teilton zu großen Aufwand bedeuten, muß man das Klicken und den harten Toneinsatz bereits im Entstehen verhindern. Bei der Kurztonmethode nutzt man die Einschwingzeit der Generatoren aus, bei der Dauertonmethode muß man bei den Tastenkontakten für eine kontinuierliche Widerstandsänderung sorgen. Hierfür sind bereits einige Verfahren entwickelt worden (9, 16, 17, 18), jedoch ist nach *Dorf* (19) das Problem bisher noch nicht zufriedenstellend gelöst worden.

In letzter Zeit wurden Fotodioden als veränderliche Widerstände vorgeschlagen, so daß man im Tastenkontaktteil einfach mit beweglichen Blenden oder einzeln eingeschalteten Lämpchen wie bei den Lichtorgeln arbeiten kann. Denkbar

wäre auch die Verwendung von Fototransistoren im Tastenkontakt- und Generatorteil. Das Verfahren ist zweifellos sehr elegant und betriebssicher. Leider sind die benötigten Dioden und Transistoren vorerst noch für ein Selbstbauinstrument in der benötigten Anzahl von oft über 500 Stück zu teuer. — Vom

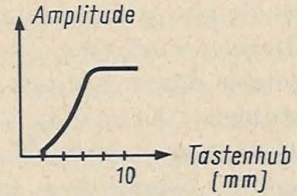


Bild 17. Kontinuierlicher Toneinsatz

Verfasser wurde eine einfache Methode beschrieben (1), bei der die Sammelschiene mit einem Glycerin-getränkten Schaumgummistreifen belegt ist, so daß sich der Kontaktwiderstand mit dem Drücken der Taste ändert. Noch eleganter ist die ebenfalls dort empfohlene kapazitive Tastenkontaktmethode, die der Verfasser für seine Orgeln entwickelt hat [1]). Sie erfordert zwar einen etwas größeren Arbeitsaufwand, bietet aber für den Nachbau eine besonders große Sicherheit. Die Methode ergibt einen sehr guten Toneinsatz und eine fast unbeschränkte Haltbarkeit der Kontakte. Daneben bietet sie durch zahlreiche Variationsmöglichkeiten weitere Vorteile, und sie hat sich so gut bewährt, daß sie hier bestens empfohlen werden kann.

Die Möglichkeit, zu laute oder zu leise Töne den übrigen anzugleichen, wurde schon auf Seite 44 erwähnt. Ferner ist es leicht möglich, bei der Aufteilung der Sammelschiene in verschiedene Abschnitte kontinuierliche Übergänge zu schaffen. Der Nachbau erfordert keine überaus große Präzision.

Die beweglichen Kontakte, die an den Generatorausgang angeschlossen sind (Bild 16), bestehen aus zwei Teilen, die elektrisch verbunden sind. Der eine ist ein normaler, federnder Kontakt, der im Ruhezustand die Erdungsschiene berührt. Beim Drücken der Taste wird zunächst dieser Kontakt geöffnet. Wie in **Bild 17** dargestellt, erfolgt hier bereits ein Toneinsatz, der aber so schwach ist, daß beim Spiel sein Klicken und seine Härte

1) Patent und Gebrauchsmuster angemeldet.

nicht wahrgenommen werden. Gleichzeitig nähert sich der zweite Teil des beweglichen Kontaktes, der eine kleine, ebene Metallplatte oder -folie darstellt, der Sammelschiene, einem ebenfalls ebenen, etwa 2 cm breiten Blechstreifen, und bildet mit dieser einen Kondensator. Die Kapazität nimmt beim weiteren Durchdrücken der Taste ständig zu, bis sie ein Maximum erreicht, wenn sich die bewegliche Elektrode der Sammelschiene aufgelegt hat. Hierbei wird eine direkte Verbindung durch eine dazwischengelegte dünne Isolierfolie verhindert. Trotz der Kleinheit der gebildeten Kapazität werden alle Frequenzen gleichmäßig durchgelassen, sofern die mit den Kontakten in Verbindung stehenden Schaltkreise so dimensioniert werden wie weiter unten vorgeschrieben. Wegen der Hochohmigkeit dieser Kreise werden auch die tiefsten Töne nicht geschwächt.

Der Toneinsatz, dessen Verlauf in Bild 17 dargestellt ist, wird durch die Schnelligkeit des Drückens der Tasten beeinflußt. Er paßt sich somit in idealer Weise dem Spieltempo an. Beim langsamen Spiel ist seine Dauer etwas größer, weil dann auch meist der Anschlag etwas langsamer erfolgt, und es ergeben sich besonders günstige Legatowirkungen. Andererseits ist der Toneinsatz auch bei schnellsten Tonfolgen völlig präzise und unverzögert, so daß er allen Anforderungen entspricht.

Im einfachsten Fall wird nur ein Umschalter pro Taste benötigt. Die beweglichen Kontaktteile können dann direkt an den Tasten befestigt werden. Soll die additive Klangformung angewendet werden, so kann man bis zu einer Zahl von zwei oder drei Umschaltern pro Taste ähnlich verfahren, indem man die Schalter horizontal nebeneinander anordnet. Bei einer größeren Kontaktzahl ist es jedoch besser, die beweglichen Kontakte übereinander an senkrecht stehenden Leisten zu befestigen, die durch die Tasten auf- und abbewegt werden. Dadurch kommt man zu einem übersichtlichen Aufbau.

Der Arbeitsaufwand steigt mit der Zahl der Kontaktsätze beträchtlich an, was man bei der Planung berücksichtigen sollte.

2.5 Planung des Klangformungsteils

Die Auslegung des Klangformungsteils ist fast gleichbedeutend mit der Disposition der ganzen Orgel, denn sie zieht eine

entsprechende Konstruktion von Tastenkontakt- und Generatorteil nach sich. Sie erfordert Klarheit über die Größe des zu planenden Werkes sowie über die Art, wie die Einstellvorrichtungen des Klangformungsteils und die mit ihnen in Verbindung stehenden Schaltkreise ausgelegt werden sollen.

Man kann zum Beispiel versuchen, die Register der Pfeifenorgel möglichst originalgetreu nachzubilden, und gibt den Registerhebeln dann Namen wie Prinzipal 8′, Flöte 4′ usw. Diesen Weg wird man wählen, wenn das Instrument hauptsächlich für Organisten gedacht ist, die die Registrierweise der Pfeifenorgel beibehalten wollen. Andererseits bieten sich durch die Technik der Elektronenorgel andere Möglichkeiten an, die teils einfacher, teils zweckmäßiger sind; auch ist die genaue klangliche Nachbildung der Einzelregister der Pfeifenorgel nicht immer möglich. Daher sollte man ein Selbstbauinstrument ruhig so planen, daß sich einfache und naheliegende Konstruktion mit musikalischer Qualität und Vielseitigkeit vereinen. Die Bedienungsweise darf von anderen Orgeln abweichen, wenn sie nur zweckmäßig, einfach und übersichtlich ist. Zum Beispiel ist es zwar nicht allgemein üblich, aber durchaus vorteilhaft und daher zu empfehlen, Einzelregister oder auch alle Register derselben Fußzahl in ihrer Lautstärke einstellbar zu machen. Bei der Pfeifenorgel sind die Lautstärken der Einzelregister vom Spieler nicht einstellbar. Da man aber doch den Wunsch hat, über bestimmte Registertypen in verschiedenen Lautstärken verfügen zu können, baut man in größere Orgeln mehrere gleichartige, aber verschieden laute Register ein.

Bei der Elektronenorgel läßt sich dies einfacher und mit weniger Bedienungsaufwand erreichen, indem man nur einen Schalter für die Klangfarbe und etwa ein Potentiometer für die Lautstärke vorsieht. Auch bei besonders wirkungsvollen Filtern zum Beispiel kann eine vom Üblichen abweichende Bedienungsweise in Kauf genommen werden. Der Klangformungsteil soll möglichst vielseitig sein, doch ist zur Erhaltung der Übersicht alles Überflüssige wegzulassen.

Möglichkeiten zur Klangfarbenbeeinflussung sind vor allem das additive und das selektive Verfahren. Der Leser möge zunächst entscheiden, wie weitgehend er diese beiden Methoden

anwenden will. Verwendet er das selektive Verfahren allein, so erhält er ein einfaches Instrument, das nur eine Reihe von Tastenkontakten besitzt. Die Sammelschiene führt dem Klangformungsteil obertonreiche 8′-Grundtöne zu, die dort durch Filter beeinflußt werden. Obwohl der Arbeitsaufwand im Generatorteil, Tastenkontakt- und Klangformungsteil gering bleibt, erhält man ein vollwertiges, wohlklingendes polyphones Musikinstrument, das dem Spieler die Auswahl zwischen zahlreichen interessanten 8′-Klangwirkungen bietet. Es kann auch leicht transportabel ausgeführt werden.

Größere Klangähnlichkeit mit der Pfeifenorgel erhält man jedoch erst durch Anwendung der additiven Methode und Einbau einiger Obertonregister, insbesondere wenn diese selbst noch Obertöne enthalten und unterschiedliche Klangfarben besitzen. Gleichzeitig wird dadurch auch für die Wiedergabe leichter Musik das Klangbild verbessert, bei der man nicht den Klang der Pfeifenorgel benötigt, sondern anders registriert. Obertonregister bringen also für alle Musikarten eine wesentliche klangliche Bereicherung.

Da die Obertonregister im Diskant weiter hinaufreichen, als es dem Umfang der Tastatur entspricht, muß auch der Generatorteil gegenüber dem einfachen Instrument erweitert werden, jedoch läßt sich der Mehraufwand mit Hilfe der Repetition in Grenzen halten. Bei einem Instrument mit einem Manual von $4^1/_2$ bis 5 Oktaven kann man mit drei Doppeltrioden pro Generatorkaskade noch 2′ und $1^3/_5$′ einbauen, ohne daß solche Register bereits zuviel repetieren müßten. Wird so ein Instrument mit zwei Manualen und Pedal ausgestattet, so erfüllt es bereits recht hohe Ansprüche. — Bei Einbau von vier Doppeltrioden pro Kaskade lassen sich 1′ und auch Mixturen durchführen. Gleichzeitig kann der Generator bei einem solchen Röhrenaufwand nach unten um eine Oktave erweitert werden, so daß man auch den 16′ polyphon machen kann und somit nochmals eine Qualitätssteigerung erzielt. Der Arbeitsaufwand wird jedoch auch beträchtlich gesteigert, so daß der Selbstbau besonders viel Ausdauer und Idealismus erfordert. Bei einem Instrument, das nur für den Hausgebrauch gedacht ist, braucht man nicht so weit zu gehen.

Die Illusion einer größeren Konzert- oder Kirchenorgel wird für nicht allzu kritische Zuhörer nahezu vollständig, wenn außer dem Einbau einiger Obertonregister bei Aufstellung in normalen Räumen ein *zusätzlicher Nachhall* erzeugt wird. Der Verfasser fand dies beim Vorführen von Tonbandaufnahmen bestätigt. — Auf die hervorragende Wirkung stereophoner Wiedergabe wurde bereits hingewiesen.

Baut man neben dem 8′ noch Obertonregister ein, so sind am wichtigsten 4′ und 2′. Letzterer ist am wirkungsvollsten, jedoch sollte man auf den 4′ nie verzichten, da er füllend wirkt. Insbesondere werden die Tastenkontakte des 4′ auch zur Erzeugung der so wichtigen 8′-Rechteckschwingung benötigt.

Färbende und würzende Komponenten bringt die Quinte $2^2/_3$′. Ähnliches gilt für die Terz $1^3/_5$′, die aber, insbesondere beim Spiel im linken Manualbereich, vorsichtig dosiert werden muß. Sie ergänzt die Quinte $2^2/_3$′, ist aber notfalls entbehrlich und kann auch gut mit dieser zu einem Sesquialter kombiniert werden. Man kommt dann nach **Bild 18** mit nur einer Reihe von Tastenkontakten für die Quinte und Terz aus und benötigt für letztere lediglich besondere Generatorausgangswiderstände, die

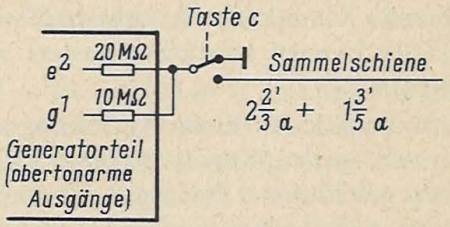


Bild 18. Sesquialter

zweckmäßig etwa doppelt so groß gemacht werden wie die übrigen, damit die Terz nicht zu stark ist. Das Verfahren ist besonders gut für obertonarme Generatorausgänge geeignet und von guter Wirkung.

Bereits wenn ein 2′ oberstes Register ist, läßt sich eine ausgezeichnete Klangkrone erzeugen, besonders wenn dieser 2′ ziemlich obertonreich ist.

Es sei erwähnt, daß sich auch Register, die aus obertonarmen Generatorausgängen gespeist werden, im Klangformungsteil wieder obertonreich machen lassen, wenn man sie ein Glied zur

Höhenanhebung passieren läßt. So kann man auch zum Beispiel eine Art behelfsmäßiger Mixtur herstellen, ohne daß der Aufwand im Generator- und Tastenkontaktteil erhöht wird. Geht man etwa von einem Manual mit obertonarmen 8′, 4′, 2²/₃′ und 2′ aus, so sieht man zunächst für alle diese Obertöne Einzelregistrierbarkeit vor. Zusätzlich zweigt man vorher 2²/₃′ und 2′ ab, führt diese über ein Höhenanhebungsglied und vereinigt sie zwecks gemeinsamer Registrierbarkeit. In kräftiger Lautstärke den übrigen Tönen zugesetzt, wirkt das entstandene Gemisch wie eine einfache Mixtur, die sogar repetiert wie jede Mixtur, da die ihr zugrundeliegenden Einzelregister ebenfalls repetieren. Statt der Quinte kann auch ein Sesquialter verwendet werden.

Steht im Generatorteil oben eine Oktave mehr zur Verfügung, so empfehlen sich zusätzlich insbesondere 1′ und zur Färbung die Quinte 1¹/₃′. Beide können mit 2²/₃′ und 2′ zu einer vierfachen Mixtur vereinigt werden. Wie im obigen Fall geschieht dies erst im Klangformungsteil, um besondere Ausgangswiderstände und Tastenkontakte zu sparen. Eine Höhenanhebung ist hier nicht nötig, bei Verwendung obertonreicher Schwingungen kann man die Höhen sogar beschneiden. — Eine bis zum 1′ hinaufgehende Klangkrone ist sehr brillant, und die hohen Obertonregister können schwächer dosiert werden, als wenn 2′ das oberste ist.

Es ist vorteilhaft, für die Teiltonregister verschiedene Klangfarben vorzusehen. Für die tieferen empfehlen sich wie bei der Pfeifenorgel Flöten-, Prinzipal-, Streicher- und Zungenklänge. Oberhalb 4′ kann man auf die Erzeugung von Formantklangfarben mittels L-C-Filter verzichten. Für die Quinten und Terzen genügen Prinzipal- oder Flötenregister. Wenn die Teiltöne somit eigene Klangfarben haben, kann man sich auf relativ wenige Obertonregister beschränken.

Bei Anwendung der additiven Klangformung ist die Zahl der Auskopplungswiderstände bei den einzelnen Generatoren verschieden. Man notiert sie am besten in einer Tabelle für jeden Generator gesondert unter Anführung der zugehörigen Taste, indem man für jeden Generator eine waagerechte, für jedes Obertonregister eine senkrechte Spalte vorsieht. Letztere

muß bei den repetierenden Registern entsprechend breit sein. In einer solchen Tabelle, die auch die verschiedenen Klaviaturen einschließen muß, kann man den unteren Einsatz der Teiltonregister und das Repetieren der Obertonregister leicht überblicken. Gleichzeitig läßt sich für jeden Generator die Zahl der Ausgangswiderstände leicht ablesen.

Hat der tiefste Generator den Ton C, so beginnt hier die 8′-Reihe. Beim Generator c beginnt die 4′-Reihe, die folglich eine Oktave höher hinaufgeht als die erste, und so weiter. Reichen trotz Ausnutzung der Hauptoszillatoren die verfügbaren Generatoren für die höheren Obertonregister im Diskant nicht mehr aus, so wendet man die Repetition an, indem man die zwölf höchsten Generatoren mehrfach heranzieht. Die Obertonregister klingen dann, soweit sie repetieren, eine oder auch zwei Oktaven tiefer, als sie es bei normaler Fortführung nach den Höhen hin tun würden.

Später werden die so gebildeten Reihen von Ausgangswiderständen mit den entsprechenden Reihen der Tastenkontakte verbunden. Während die Reihen im Generatorteil bei verschiedenen Tönen einsetzen, beginnen sie bei den Tastenkontakten stets bei der untersten Taste, meist also bei C. Jede Sammelschiene stellt dann einen Teilton, z. B. 8′, 4′ usw., zur Verfügung.

Der Klangformungsteil sollte fernerhin so ausgelegt werden, daß sich beim Einschalten von Filtern stets eine echte Addition der Klangwirkungen ergibt und nicht irgend etwas Neues, so daß man die sich ergebende Gesamtklangfarbe leicht voraussehen kann, wenn man den Einzelcharakter der Filter kennt.

Als Beispiele für die Planung werden nachfolgend vier besonders zweckmäßige Konstruktionen von verschiedener Größe beschrieben. Der Leser kann sich für eins der Modelle entscheiden oder auch aus Einzelheiten derselben sowie nach dem vorher Gesagten eine andere Kombination treffen. Bei der Besprechung der größeren Instrumente wird auf die nähere Erörterung solcher Einzelheiten verzichtet, die schon bei den vorangehenden kleineren Modellen erläutert werden. Im Anschluß an die vier Modelle werden noch Zusatzeinrichtungen und spezielle Schaltungen für Sonderfälle behandelt.

2.51 Das Instrument A

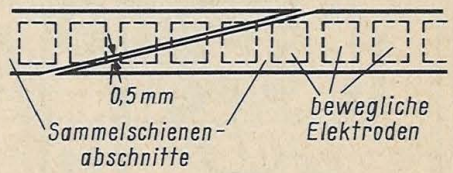
Dieses Modell ist das einfachste und stellt die Grundlage für Weiterentwicklungen dar. Es besitzt ein Manual mit vier Oktaven Umfang (C...c^3) und ein Stummelpedal, das mit zwölf Tasten von C...H reicht, bei Bedarf aber nach oben hin erweitert werden kann. Das Gerät bietet eine große Anzahl interessanter 8′-Klangfarben.

Das Manual läßt sich in zwei Hälften aufteilen. Beide Teile sowie das Pedal lassen sich verschiedenfarbig registrieren, so daß Triospiel möglich ist. Frequenzvibrato und Schweller bieten weitere wertvolle Ausdrucksmöglichkeiten. Das Gerät läßt sich leicht transportabel herstellen, wie **Bild 19** zeigt. Material- und Arbeitsaufwand sind verhältnismäßig gering, und der Nachbau ist relativ einfach.

Bild 19. Transportables polyphones Instrument von der Größe des Modells A. (Der Klangformungsteil ist anders gestaltet.) Das Instrument wurde in Gemeinschaftsarbeit mit seinem Eigentümer, Herrn Dr. Pluhatsch, entwickelt und gebaut

Das Studium des an sich umfangreichen Schaltbildes nach **Bild 20** (S. 66/67) zeigt, daß sich dieses aus einfachen und zum Teil gleichartigen Einzelschaltkreisen zusammensetzt. Oben ist eine Generatorkaskade dargestellt. Der obertonarme Hauptoszillator synchronisiert eine Oktavteilerkette aus vier obertonreichen Sperrschwingern. Die zwölf tiefsten Sperrschwinger besitzen je zwei Ausgänge, da sie das Pedal mit speisen müssen. Die Generatorausgänge führen über unabgeschirmte Leitungen zu den Tastenkontakten, die nach der Kondensatormethode hergestellt werden. Man erkennt drei Sammelschienenabschnitte für Diskantteil, Baßteil und Pedal. Die Aufteilung des Manuals erfolgt meist zwischen h und c^1.

Bild 21. Erzeugung eines allmählichen Übergangs bei einer geteilten Sammelschiene



Besonders vorteilhaft und bei anderen Tastenkontaktmethoden weniger leicht zu erreichen ist statt plötzlichem ein allmählicher Übergang zwischen den beiden Manualteilen. Hierzu wird die Sammelschiene nicht rechtwinklig durchgeteilt, sondern durch eine sehr schräge Linie nach **Bild 21** [1]). So vermeidet man auf sehr einfache Weise einen starken Sprung in der Klangfarbe, wenn die rechte Hand einmal tiefer als c^1 greifen muß und umgekehrt. Der Übergang erstreckt sich zweckmäßig etwa von e...c^1. Mit dem Schalter S 1 läßt sich die getrennte Registrierung der Manualhälften bei Bedarf aufheben. Für das ganze Manual wird dann die Registrierung des Diskantteils gültig.

An jede Sammelschiene schließt sich eine Verstärkerstufe an. Der Spannungsteiler 2 MΩ + 1 MΩ am Gitter ist hochohmig, damit auch die tiefsten Frequenzen nicht benachteiligt werden. Andererseits ist die Sammelschiene so stark belastet, daß ein angehaltener Ton beim Drücken einer zweiten Taste keinesfalls geschwächt wird. Der 3-MΩ-Widerstand und der nicht überbrückte Katodenwiderstand bewirken eine Gegenkopp-

[1]) Vergleiche Seite 107.

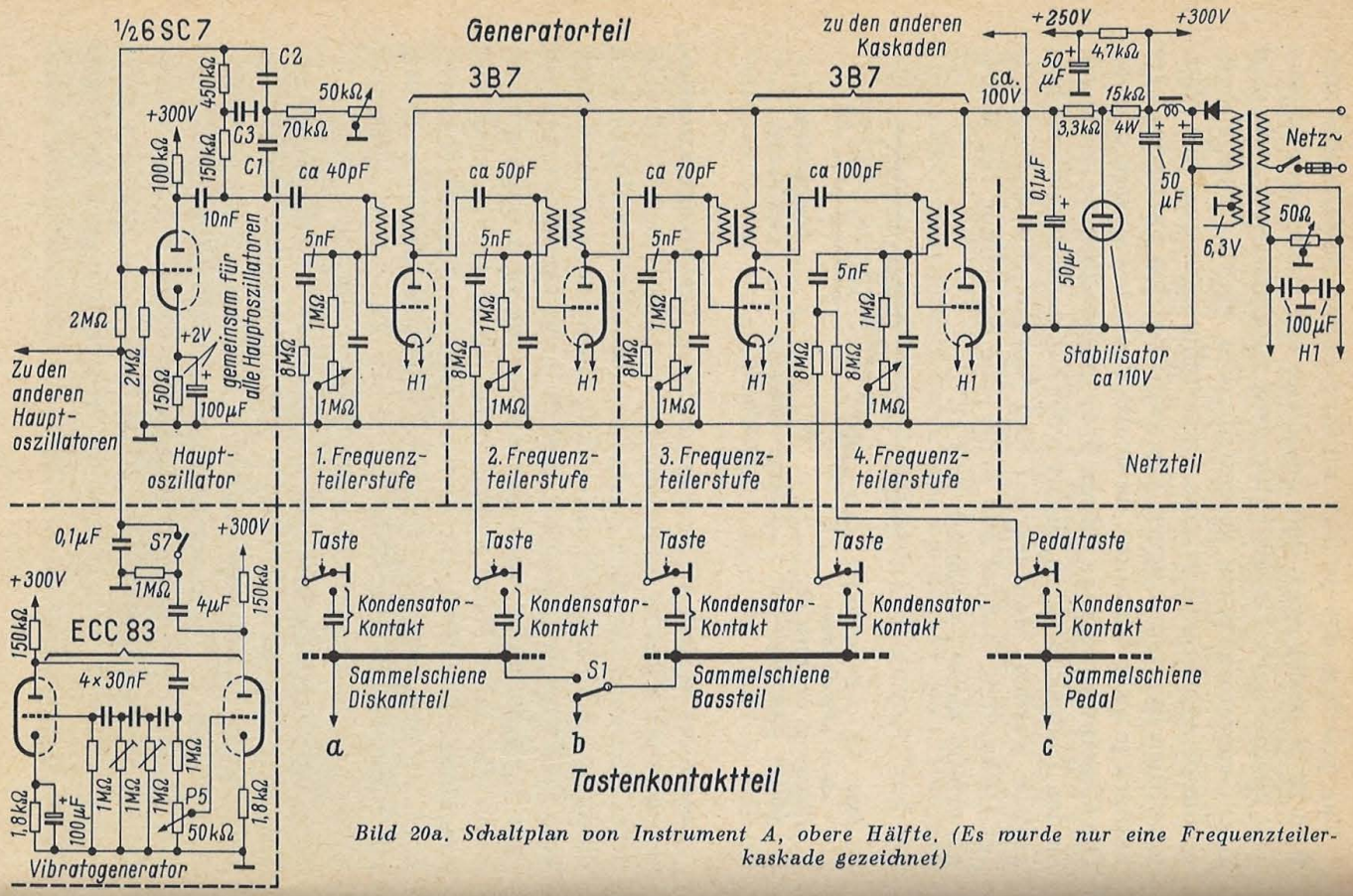


Bild 20a. Schaltplan von Instrument A, obere Hälfte. (Es wurde nur eine Frequenzteilerkaskade gezeichnet)

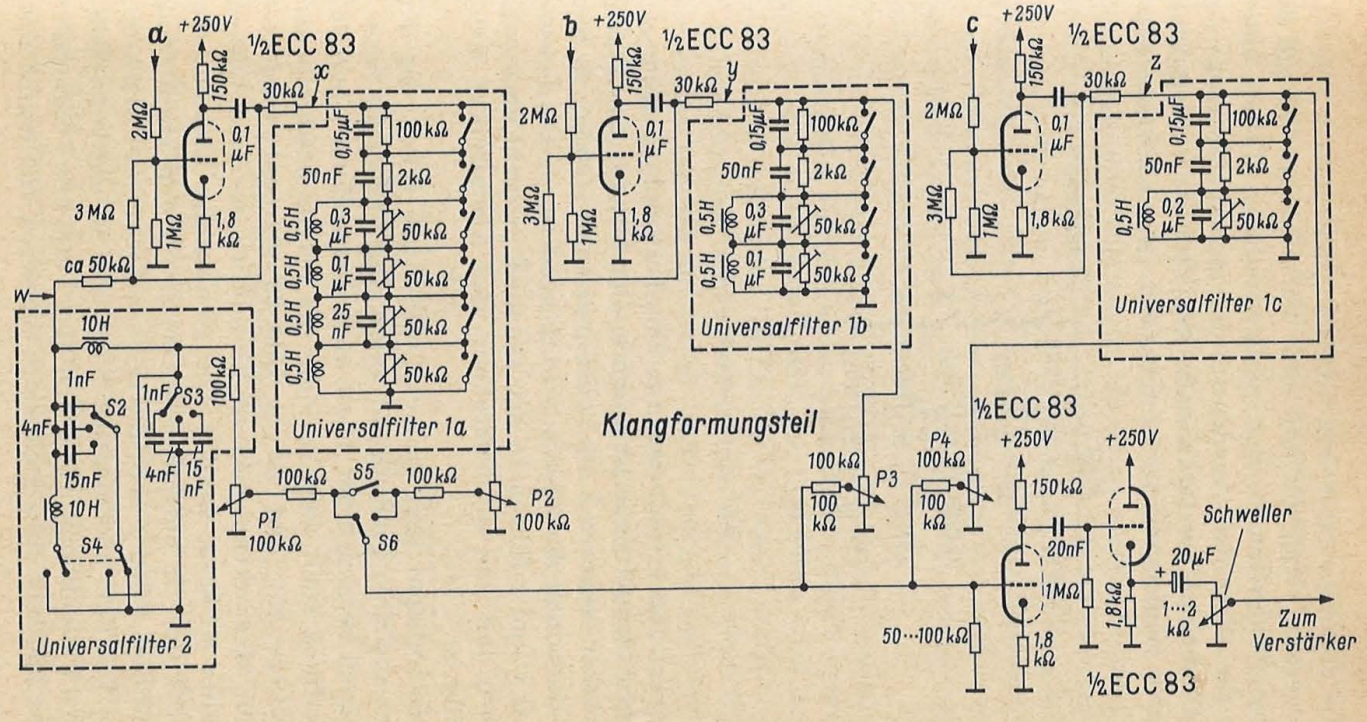


Bild 20b. Untere Hälfte der Schaltung des Instrumentes A. Die mit den Buchstaben a, b und c versehenen Leitungen der Teilschaltungen Bild 20a und b sind miteinander zu verbinden

lung, die zusammen mit dem Spannungsteiler am Gitter eine Übersteuerung vermeidet und auch Verzerrungen infolge des niedrigen Widerstandes der nachgeschalteten Filter unterdrückt, die sonst den Anodenstromkreis leicht zu stark belasten. Die beiden Verstärkerstufen des Manuals werden direkt neben den Sammelschienen angebracht, so daß keine abge-

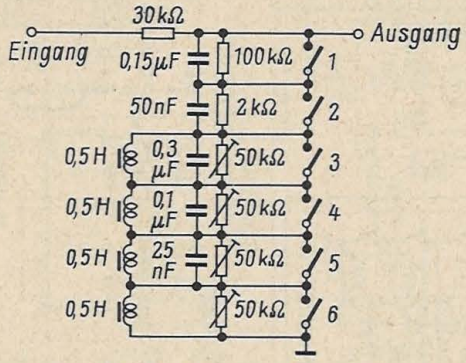


Bild 22. Universalfilter 1

schirmte Leitung erforderlich ist. Die Verwendung einer gemeinsamen Doppeltriode ist möglich. Der Ort für den Pedalvorverstärker hingegen kann beliebig gewählt werden, da hier eine Beschneidung der Höhen nicht störend ist. — Die Leitungen w, x, y und z führen zu den räumlich getrennt eingebauten Filtern und sind so niederohmig, daß Abschirmung meist nicht nötig ist.

Im Diskantkanal liegt ein sehr vielseitiges Filter, das der Verfasser aus einer großen Zahl untersuchter Filter als besonders geeignet befunden hat. Diese als Universalfilter 1 bezeichnete Schaltung stellt eine Variante des bereits beschriebenen Solovoxfilters dar und ist in **Bild 22** getrennt wiedergegeben (20). Man erkennt mehrere Einzelfilter, die durch Öffnen der Schalter wirksam werden. Die gleichzeitige Einschaltung mehrerer Filter ist besonders wirkungsvoll und ergibt eine echte Addition. Filter 1 hebt die tiefsten Frequenzen stark an. Es ergibt kräftige, obertonarme Bässe und in mittleren Tonlagen etwa Flötenklangfarben. Teilfilter 2 läßt alle Frequenzen außer den höchsten etwa gleichstark passieren und ergibt eine

neutrale, aber doch für Melodieführung geeignete Klangfarbe, die ungefähr dem Prinzipalcharakter entspricht.

Die drei Formantkreise bevorzugen die Frequenzgebiete bei etwa 400, 750 und 1500 Hz. Sie dienen u. a. zur Erzeugung von Holzbläser- und Vokalähnlichen Klängen. Mit den Trimmerwiderständen werden die Kreise gedämpft und die günstigsten Resonanzkurven eingestellt, da allzu starke Formanten unnatürlich wirken. Teilfilter 6 hebt die höchsten Frequenzen an, die zu einem hellen, streicherähnlichen Klangbild gehören. In Verbindung mit Filter 2 lassen sich enge Labialregister, mit einem Resonanzkreis gewisse Zungenregister nachahmen, zum Beispiel die Trompete. Der günstigste Effekt läßt sich auch hier mit einem Trimmerwiderstand einstellen.

Es sei hier eingeschoben, daß sich alle sechs ohmschen Widerstände in den Teilfiltern durch Drehwiderstände ersetzen lassen, die von außen bedienbar sind. Das Filter wird dann noch vielseitiger, aber der Bedienungsaufwand steigt, weil die Schalter trotzdem beibehalten werden müssen. Nach **Bild 23** ist ferner bei Verzicht auf stetige Einstellbarkeit auch der Einbau eines Schalters mit drei Stellungen für „aus", „mittel" und „stark" möglich. — Dieses Universalfilter 1 nach Bild 22 läßt sich mannigfach variieren oder auch bei Bedarf abkürzen, indem nur weniger Einzelfilter eingebaut werden.

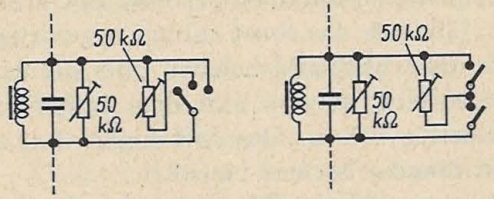


Bild 23. Dreistufenschalter für Universalfilter 1

Im Baß- und Pedalkanal liegen solche vereinfachten Varianten des Universalfilters 1 vor. Im Diskantkanal liegt außer dem kompletten Filter parallel hierzu, jedoch entkoppelt, ein weiteres Filter. Dieses Universalfilter 2 gestattet, mit Hilfe des relativ einfachen Umschalters S 4 zwei Einzelfilter nach **Bild 24**

einzustellen. Die Kapazitäten können durch S 2 und S 3 variiert werden. Dadurch ergeben sich viele interessante Möglichkeiten.

Ist der Schalter S 5 offen, so läßt sich nach Art der freien Kombination vom Universalfilter 1 auf das Universalfilter 2 leicht umschalten, so daß rasches Wechseln auf eine andere Registrierung möglich ist, wenn S 6 etwa durch einen Seilzug für Fußbedienung eingerichtet wird oder sonst bequem bedienbar ist. Auf eine solche freie Kombination kann man im Pedal und im Baßteil des Manuals verzichten, allerdings wird die freie Kombination auch für die Baßhälfte mit wirksam, wenn diese mittels S 1 an den Diskantteil angeschlossen wird. — Beim Schließen von S 5 werden beide Diskantfilter gleichzeitig wirksam. Dadurch ergeben sich weitere interessante Klangfarben. — Durch die Potentiometer P 1...P 4 lassen sich die vier Kanäle leicht in der Lautstärke so aufeinander abstimmen, wie es das zu spielende Musikstück erfordert.

Der Klangformungsteil gestattet trotz geringen Aufwands alle Möglichkeiten auszunutzen, die durch Generator- und Tastenkontaktteil gegeben sind. Seine zweckmäßige Konstruktion ergibt einfache Bedienung. Schon das Universalfilter 1 ist so vielseitig, daß Nr. 2 hauptsächlich wegen der Möglichkeit raschen Registrierungswechsels eingebaut wurde. — Das Vibrato läßt sich mit S 7 einschalten und mit P 5 in seiner Stärke regulieren. Mit den beiden Trimmerwiderständen wird die Vibratofrequenz optimal eingestellt. Bei Musikarten, die dies gestatten, läßt sich das sonst ruhige, orgelartige Klangbild durch das Vibrato wohltuend beleben und mit dem Schweller dynamisch bereichern, so daß sich dem Spieler schöne Ausdrucksmöglichkeiten bieten. Das Instrument hat sich in jeder Beziehung seit langem bestens bewährt.

Der Netzteil ist einfach. Die hohe Anodenspannung von 300 V oder etwas mehr sorgt bei den Hauptoszillatoren für eine starke Amplitude. Dies ist für einwandfreie Synchronisation günstig. Der Glimmstabilisator dient insbesondere zur Vermeidung stärkerer Anodenspannungsschwankungen beim Ausprobieren der frequenzbestimmenden Kondensatoren bei den Sperrschwingern, soll aber auch später im Gerät verbleiben. Die Anodenstromaufnahme aller Sperrschwinger zusammen beträgt im Schwingzustand nur etwa 3...5 mA. — Da das Instrument keinen Endverstärker und keine Lautsprecher enthält, wird es an eine vorhandene Verstärkeranlage angeschlossen. Bei transportabler Ausführung werden Pedal und Schweller als getrennte Einheit ausgebildet und über Kabel und Vielfachstecker mit dem Hauptgerät verbunden. Letztere kann auf einem Tischchen Platz finden oder mit untergeschraubten Beinen selbständig aufgestellt werden.

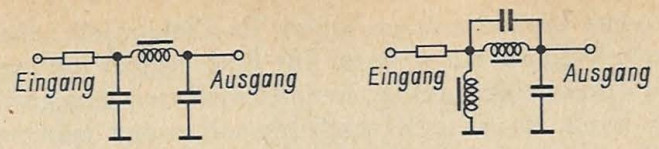


Bild 24. Die Einzelfilter des Universalfilters 2

2.52 Das Instrument B

Durch den Einbau der zwei wichtigsten Obertonregister 4′ und 2′ sowie einer Vorrichtung für 8′-Rechteckschwingungen wird gegenüber dem Modell A eine wesentliche Bereicherung des Klangbildes erzielt, die bereits hohen Ansprüchen genügt. Das Pedal hat hier normal lange Tasten und 2...2½ Oktaven Umfang. Es wird nach Bild 13 und Bild 14 mit besonderen Kontakten und einem Frequenzteiler für einstimmiges Spiel in 8′- und 16′-Lage ausgestattet. Es kann aber auch wie beim Modell A einfacher oder wie beim Modell C komfortabler gestaltet werden.

Das Manual hat fünf Oktaven Umfang und ist wie im vorhergehenden Fall in zwei Teile geteilt. Die Aufteilung kann wieder mit allmählichem Übergang zwischen e und c^1 erfolgen. In allen drei Kanälen (Pedal, Baß und Diskant) können die einzelnen Teiltöne durch besondere Filter getrennt beeinflußt werden. Ferner kann die Lautstärke jedes einzelnen Teiltones für sich getrennt eingestellt werden, und zwar nach Art der freien Kombination einmal mit einer Reihe von Potentiometern, und einmal mit Dreistufenschaltern. Mit einem leicht bedienbaren Umschalter kann schnell von der Potentiometerregistrierung auf die Schalterregistrierung umgeschaltet werden. Es hat sich gezeigt, daß hierbei nicht unbedingt auch die Filter mit

umgeändert werden müssen, zumal im Diskantteil neben dem normalen 8′-Kanal ein weiterer für Rechteckschwingungen mit eigenen Filtern eingebaut ist, so daß zwischen diesen gewechselt werden kann. Es ist z. B. eindrucksvoll, wenn man von der vollen Registrierung: 8′ (Sägezahn) + 4′ + 2′ auf 8′ (Rechteck) + 2′ (schwach) überwechselt. Auch 8′ (Rechteck) allein oder mit einem leisen, hellen 4′ klingt sehr gut.

Im Baßteil des Manuals sind 8′, 4′ und 2′, jedoch keine Rechteckschwingung, vorgesehen. Das Manual kann aber auch durchgehend registriert werden, wobei dann auch in der Baßhälfte Rechteckklänge registriert werden können.

Auf eine zusammenhängende Wiedergabe des Schaltbildes dieser Orgel wurde verzichtet, da seine einzelnen Teilabschnitte weitgehend gleich und unabhängig voneinander sind. Der Generatorteil enthält pro Kaskade drei Doppeltrioden. Der Hauptoszillator wird eine Oktave höher als die obersten Sperrschwinger gelegt und für die hohen Töne des 4′ und 2′ mit herangezogen. Jeder Generator erhält hierfür mehrere obertonreiche Ausgänge nach Bild 7. Der 2′ repetiert in den hohen Lagen einmal.

Im Klangformungsteil wird für jeden Sammelschienenabschnitt eine besondere Verstärkerstufe eingebaut, wie es **Bild 25** für den Diskantteil zeigt. Diese Verstärker werden für das Manual aus drei Doppeltrioden gebildet, die man auf einem kleinen Chassis direkt neben dem Tastenkontaktsatz montiert. Hinter den 30-kΩ-Widerständen beginnen längere Leitungen, die zu den Filtern, Potentiometern und Schaltern führen.

Unten im Bild 25 dienen die Röhren Rö 4 und Rö 5 zur Erzeugung der Rechteckschwingungen. Der gemeinsame Katodenwiderstand 1,8 kΩ hat etwa doppelten Sollwert. Zum Ausgleich führt das Gitter von Rö 5 gleichstrommäßig das Katodenpotential von Rö 3, während das Gitter von Rö 4 an einer künstlichen Anzapfung des Katodenwiderstandes liegt. Hierdurch werden Koppelkondensatoren vermieden und die Gefahr unerwünschter Phasendrehungen vermindert. Der Trimmerwiderstand R 1 wird nach dem Gehör so eingestellt, daß die geradzahligen Harmonischen ein Minimum aufweisen.

Der Umschalter S 1 muß bequem erreichbar sein. Er kann durch einen Seilzug bedient werden oder durch die Kontakte

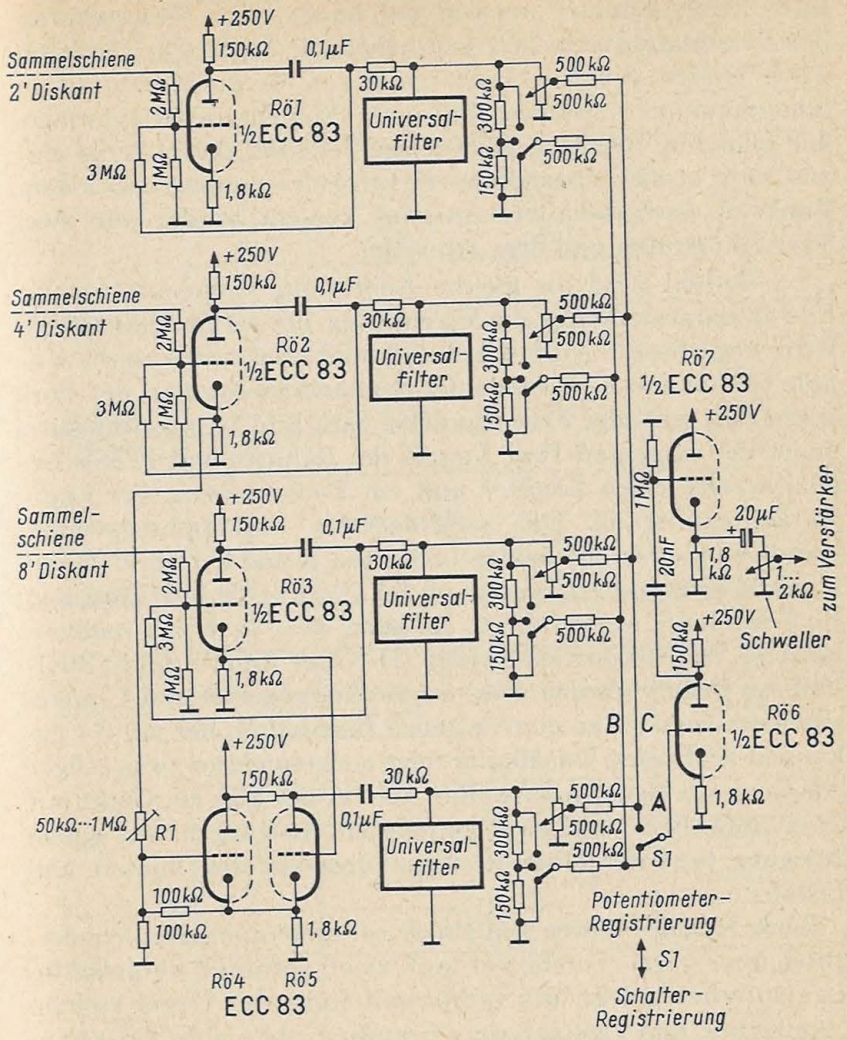


Bild 25. Klangformungsteil für den Diskantkanal der Orgel B

Der Mehraufwand für die Orgel B gegenüber dem Modell A ist gering in Anbetracht des wesentlich besseren Klangergebnisses und lohnt sich daher unbedingt. Auch für transportable Instrumente ist diese Type noch gut geeignet. Die jetzt lieferbaren kompletten Bausätze, Spezialröhren und gedruckten Schaltungen machen den Nachbau so sicher, daß die Orgel B auch Anfängern empfohlen werden kann, während Fortgeschrittene sich an die Orgel D wagen können. Näheres über die Orgel B, die man auch als Spinett-Modell und mit einem 16′ im Diskantteil bauen kann, folgt im Nachtrag auf Seite 117

eines Relais gebildet werden, das durch einen Druckschalter (Nachttischlampenschalter) von beliebiger Stelle aus geschaltet wird. Diesen Schalter kann man zur Geräuschisolation in Schaumgummi verpacken und so am Schwellerpedal anordnen, daß man zum Registrierungswechsel lediglich dieses Pedal einmal kurz in die Leisestellung zu bringen braucht. — Der dem Punkt A nachgeschaltete Ausgang besteht wieder aus zwei Verstärkerstufen und dem Schweller.

Im Baßteil wird die gleiche Anordnung eingebaut wie im Bild 25 dargestellt, nur die Vorrichtung für die Rechteckklänge wird weggelassen. Auch der Pedalkanal erhält zwei solche Kanäle für 16′ und 8′. Anstelle der Sammelschienen und der Vorverstärker wird der Frequenzteiler nach Bild 14 angeschlossen. Jeder der insgesamt fünf Kanäle des Baßteils und Pedals besitzt wieder einen Schalter und ein Potentiometer zur Lautstärkenregulierung. Die nachfolgenden Entkopplungswiderstände können an die beiden Leitungen B und C in Bild 25 mit angeschlossen werden, so daß ab S 1 alle Kanäle über Rö 6 und Rö 7 vereinigt weiterführen. Es kann aber auch ein anderer, besserer Weg beschritten werden: Die fünf Kanäle des Baßteils und des Pedals werden nicht an die Leitungen B und C angeschlossen, sondern an einen eigenen Umschalter, der mit S 1 gekoppelt ist. Diesem Umschalter folgt ein besonderer zweistufiger Ausgang mit eigenem Schweller. Man erhält also ein Gerät mit zwei Schwellern und zwei getrennten Ausgängen. An einem Ausgang liegt der Diskantteil, an dem anderen Baßteil und Pedal.

Beide Kanäle werden schließlich zur stereofonischen Wiedergabe über zwei Verstärker auf zwei getrennt aufgestellte Lautsprecher gelegt, die rechts und links der Orgel stehen. Verstärker und Lautsprecher brauchen aber nicht untereinander gleich zu sein. Für den oberen Kanal genügt ein gutes Rundfunkgerät, für den unteren kann man eine gute Verstärkeranlage benutzen. Sollen die Verstärker neu gebaut werden,

Kanal	Teilfilter Nr.	L	C	R
8′ Sägezahn Diskant	1		0,15 µF	100 kΩ F
	2		50 nF	2 kΩ F
	3	0,5 H	0,3 µF	50 kΩ T
	4	0,5 H	0,1 µF	50 kΩ T
	5	0,5 H	25 nF	50 kΩ T
	6	0,5 H		50 kΩ T
8′ Rechteck Diskant	1		0,15 µF	100 kΩ F
	2		50 nF	2 kΩ F
	3	0,5 H	70 nF	50 kΩ T
	4	0,5 H	30 nF	50 kΩ T
	5			3 kΩ F
4′ Diskant	1		30 nF	2 kΩ F
	2			2 kΩ F
	3	125 mH		25 kΩ T
2′ Diskant	1			2 kΩ F
	2	125 mH		25 kΩ T
8′ Baß	1		0,15 µF	100 kΩ F
	2		50 nF	2 kΩ F
	3	0,5 H	0,3 µF	50 kΩ T
	4	0,5 H	0,1 µF	50 kΩ T
4′ Baß	1		30 nF	2 kΩ F
	2			2 kΩ F
2′ Baß	1			2 kΩ F
16′ Pedal	1		0,2 µF	100 kΩ F
	2		50 nF	2 kΩ F
8′ Pedal	1		0,15 µF	100 kΩ F
	2		50 nF	2 kΩ F
	3	0,5 H	0,2 µF	50 kΩ T

Bild 26.
Die Filterwerte der Orgel B. Die Teilfilter werden durch Parallelschalten der aus den waagerechten Spalten ersichtlichen Größen L, C und R gebildet. T = Trimmwiderstand, F = Festwiderstand

so genügen für normale Wohnräume solche mit je zwei Röhren EL 84 in Verbindung mit hochwertigen Lautsprechern, von denen mindestens einer in einer Zimmerecke stehen sollte. Die beiden Schweller werden so dicht nebeneinander montiert, daß sie auch gleichzeitig mit einem Fuß bedient werden können.

Der Mehraufwand für stereofone Wiedergabe wird durch eine ganz vortreffliche Klangwirkung belohnt. Die Musik erhält eine deutliche Plastik, und eine Störung der hohen Töne durch die Bässe kann kaum auftreten. Doch auch wer sich mit normaler Wiedergabe zunächst begnügt, wird mit diesem hochwertigen Instrument zufrieden sein und sich über die Schönheit und Vielseitigkeit des Klangbildes freuen.

Der Vibratogenerator wird nach Bild 15 geschaltet. Die Einstellung des Vibratos kann auch in die freie Kombination einbezogen werden. — Die Universalfilter in den einzelnen Kreisen werden teilweise stark vereinfacht, wie die Tabelle in **Bild 26** zeigt, so daß der Aufwand verringert und die Bedienung erleichtert wird.

Es sei noch auf eine Besonderheit aufmerksam gemacht: Normalerweise ist es ohne Belang, wenn die Kontakte einer Taste nicht gleichzeitig schließen und die Teiltöne somit nicht exakt gleichzeitig einsetzen. Das Ohr nimmt dies bei normalem Tastenanschlag nicht wahr. Anders ist es bei der Rechteckschwingung, die ja durch Subtraktion eines 4′-Tones von einem 8′-Ton gebildet wird. Setzen hier beide Teiltöne nicht gleichzeitig ein, so hört man bei nicht zu schnellem Spiel deutliche Vorläufertöne, die aus den geradzahligen Harmonischen gebildet werden. Diese werden deswegen bewußt wahrgenommen, weil sie im stationären Klang wieder verschwinden. Die Erscheinung tritt sowohl auf, wenn der 8′ zuerst einsetzt, weil dann der 4′ schwächer und die Subtraktion der geradzahligen Harmonischen somit unvollständig ist, als auch, wenn der 4′ zuerst einsetzt. Der Effekt ist nicht etwa nachteilig, sondern belebt das Klangbild auf interessante Weise. Er entspricht etwa den Vorläufertönen mancher Flötenregister alter Bauart. — Während also bei der Justierung der Kontakte im allgemeinen gleichzeitiger Einsatz der Teiltöne nicht angestrebt werden muß, ist zwischen 8′ und 4′ sogar eine geringe Verschiebung (15...20 % des Tastenhubes) wünschenswert.

2.53 Das Instrument C

Diese Orgel unterscheidet sich von den vorhergehenden durch die Verwendung von zwei Manualen und die dadurch erweiterten Spielmöglichkeiten. Die Klangformungsteile der beiden Manuale wurden unterschiedlich konstruiert. Dadurch ergibt sich eine größere Vielseitigkeit des Instrumentes. Für das obere Manual wurden wieder die drei wichtigsten Teiltöne 8′, 4′ und 2′ als obertonreiche Register vorgesehen und über eigene Filter geleitet. Das untere Manual benutzt obertonarme Generatorausgänge. Somit steht schon ohne Verwendung von Filtern im Klangformungsteil eine Reihe von Obertonregistern mit Prinzipalcharakter zur Verfügung. Verwendet werden $8'_a$, $4'_a$, $2'_a$ und Sesquialter $(2^2/_3' + 1^3/_5')_a$. (In dieser Zusammenstellung und im folgenden Text bedeutet der Index „a“ eine obertonarme, „r“ hingegen eine obertonreiche Schwingung).

Durch die getrennte Obertonbeeinflussung jedes einzelnen Generatorausgangs sind die tiefen Töne nicht zu obertonreich, während die hohen Töne genügend Oberschwingungen enthalten, so daß sich auch ohne Teilung der Tastatur ein ausgewogenes Klangbild ergibt. Dieser Vorteil bleibt auch stets bei einer etwaigen Wiederaufhellung im Klangformungsteil erhalten, wie sie beim 8′ und bei einer einfachen Mixtur angewendet wird. Der aufgehellte 8′ wird über ein Universalfilter geleitet, so daß im unteren Manual folgende Teiltonregister zur Verfügung stehen: 8′ in allen Klangfarben, 4′, 2′ und Sesquialter in Prinzipalklangfarben sowie Mixtur (Sesquialter + 2′) in heller Klangfarbe. Der Umfang der Manuale beträgt $4^1/_2$...5 Oktaven, der des Pedals etwa $2^1/_2$ Oktaven. Hier können 16′ und 8′ einstimmig und 4′ polyphon registriert werden.

Auch bei diesem Instrument kann wieder die Lautstärke jedes Teiltones einzeln eingestellt werden, und schneller Registrierungswechsel (freie Kombination) ist möglich. Durch die großzügige Auslegung des Klangformungsteils, getrennte Schweller, stereofone Wiedergabe und freie Kombination erfüllt dieses Instrument hohe musikalische Ansprüche; der Klaviaturumfang ist voll ausreichend und der Klang infolge typischer Konstruktionsmerkmale besonders gut.

Im einzelnen ist auf folgende Details hinzuweisen: Im Generatorteil werden wie beim Modell B drei Doppeltrioden je Kaskade verwendet. Nach Bild 7 erhält jeder Generator obertonarme Ausgänge für das untere Manual und obertonreiche Ausgänge für das obere Manual und das Pedal. Der Vibratogenerator wird nach Bild 15 geschaltet. — Der Tastenkontaktteil enthält für das obere Manual drei, für das untere vier Kontaktreihen. Die Schaltung des Sesquialters zeigt Bild 18. Während alle übrigen Generatorausgangswiderstände stets 8...10 MΩ groß gemacht werden, betragen sie für den $1^3/_5'$ etwa 16...20 MΩ.

Der Klangformungsteil für das obere Manual gleicht dem des Diskantteils von Modell B und ist in Bild 25 dargestellt. Es können die ungeteilten Sammelschienen $8'_r$, $4'_r$ und $2'_r$ angeschlossen werden. Für Leser, die jedoch beim oberen Manual bei den Bässen eine zusätzliche Beschneidung der höheren Harmonischen durchführen wollen, sei folgende Lösung empfohlen: Die Sammelschienen werden nach Bild 21 in zwei Abschnitte geteilt. Der kontinuierliche Übergang erfolgt etwa zwischen der A- und der f-Taste. Der untere Abschnitt erfährt nach **Bild 27** durch C eine Höhenbeschneidung. Mit R wird der obere

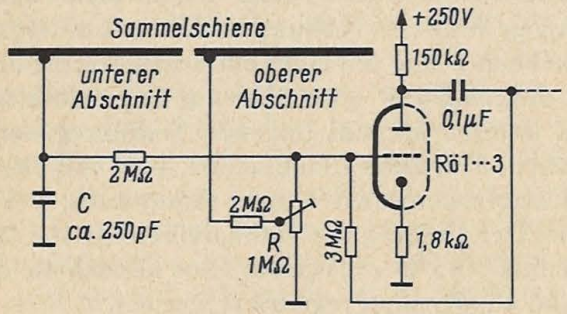


Bild 27. Der Anschluß der aufgeteilten Sammelschiene an den Vorverstärker

Abschnitt in der Lautstärke angeglichen und beide Zweige werden vereinigt weitergeführt. Eine weitergehende Unterteilung der Sammelschiene ist zwar möglich, aber nicht notwendig. C kann nach persönlichem Geschmack variiert werden.

Der Klangformungsteil für das untere Manual ist in **Bild 28** dargestellt. Da die von den Sammelschienen gelieferten ober-

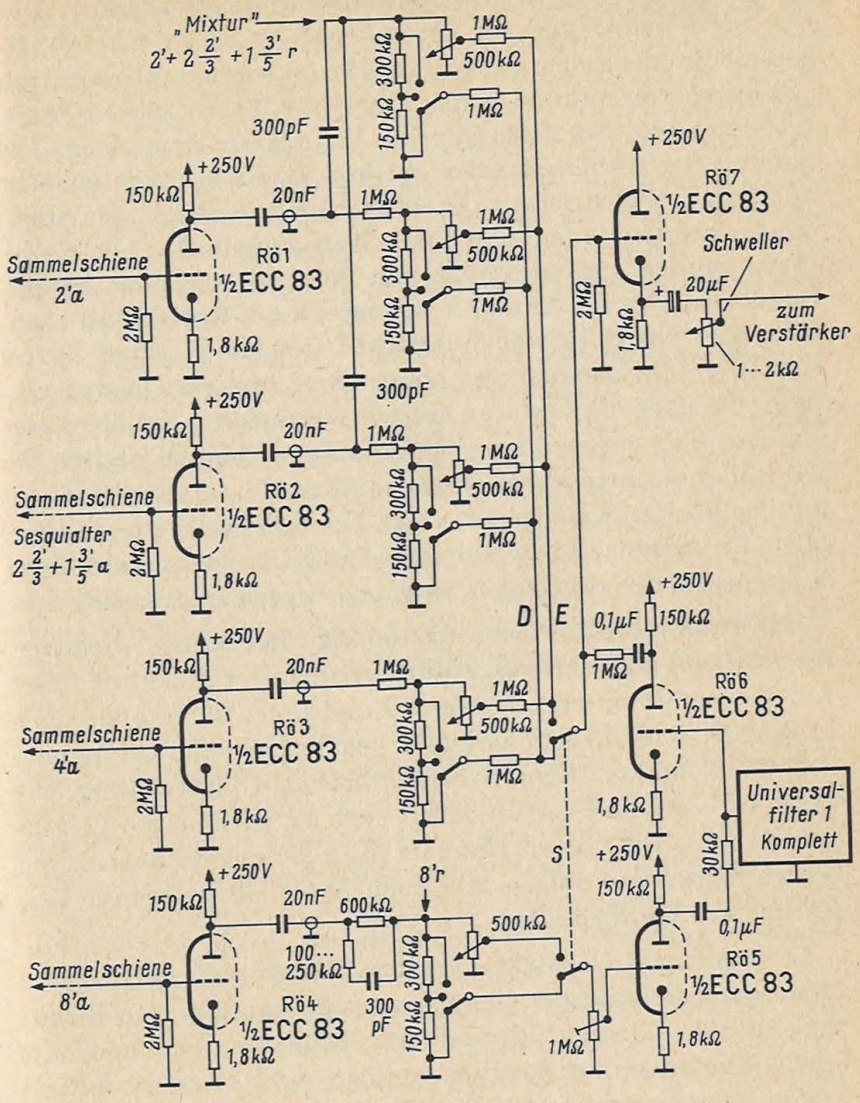


Bild 28. Klangformungsteil für das untere Manual der Orgel C

tonarmen Signale geringere Spannungen haben, sind Spannungsteiler vor den Röhren Rö 1...Rö 4 nicht erforderlich. Auch der 3-MΩ-Widerstand zur Gegenkopplung ist entbehrlich, zumal die Anodenkreise nur gering belastet werden. Abgeschirmte Leitungen von nicht zu hoher Kapazität führen zu den Potentiometern und Schaltern für die Lautstärkeneinstellung. Der Schalter S gestattet schnellen Wechsel zwischen Potentiometer- und Schalterregistrierung. Er ist mit dem entsprechenden Schalter des oberen Manuals (in Bild 25) gekoppelt. $2'_a$ und $(2^2/_3' + 1^3/_5')_a$ werden zusätzlich über die höhenanhebenden 300-pF-Kondensatoren zur Mixtur vereinigt. Der 8′-Kanal wird ebenfalls über ein Höhenanhebungsglied (600 kΩ + 300 pF + ca. 100 kΩ) geführt, so daß eine oberwellenreiche Schwingung entsteht, die über die Tastatur hin wie die anderen Kanäle dieses Manuals eine ausgeglichene Klangfarbenverteilung besitzt. Sie wird über ein besonderes Universalfilter (Bild 22) geleitet und mit den übrigen Kanälen vereinigt. Die Röhren Rö 5 und 6 gleichen die Abschwächung aus, die das Filter hervorruft. Zwei Röhren sind der richtigen Phasenlage wegen erforderlich.

Das Pedal besitzt wieder einstimmige $16'_r$- und $8'_r$-Register, die wie beim Modell B ausgeführt werden. Der Anschluß dieser Kanäle erfolgt an die Leitungen D und E des unteren Manuals in Bild 28. Außerdem gehört zum Pedal eine Reihe polyphoner 4′-Tastenkontakte. Dieser Kanal enthält ein Universalfilter, wie es im 4′-Baß-Kanal von Modell B liegt. Er wird an die Leitungen B und C des oberen Manuals (Bild 25) angeschlossen. Den beiden Schwellern folgen wie beim Modell B getrennte Verstärker und Lautsprecher.

Trotz seiner Vielseitigkeit ist der Klangformungsteil dieser Orgel bei zweckmäßiger Gruppierung der Schalter und Potentiometer sehr übersichtlich und leicht bedienbar. Die musikalischen Ausdrucksmöglichkeiten reichen von einer einfachen, zarten Solostimme bis zur Klangfülle einer größeren Pfeifenorgel. Der Spieler kann auf beiden Manualen zwischen insgesamt vier vorher eingestellten Klangfarben rasch wechseln. Das bestens bewährte Instrument besitzt universelle Verwendbarkeit.

2.54 Das Instrument D

Das größte Modell dieser Reihe eignet sich für Leser, die von ihrem Instrument ein Maximum an Leistung und Komfort verlangen, und die nicht davor zurückschrecken, daß Arbeits- und Materialaufwand hier an der obersten vertretbaren Grenze liegen. Diese Orgel zeichnet sich gegenüber Modell C durch eine größere Zahl von Obertonregistern, durch ein vollpolyphones Pedal und durch dreikanalige Wiedergabe aus, indem auch dem Pedal ein eigener Lautsprecher zugeordnet wird. Ferner ist der Einbau weiterer Manuale möglich, aber vom Verfasser noch nicht durchgeführt worden.

Der Generator besitzt vier Doppeltrioden pro Kaskade. Er ist gegenüber Modell C um je eine Oktave nach oben und unten erweitert. Der Tastenkontaktteil hat für das untere Manual acht Sammelschienen für 16′, 8′, 4′, $2^2/_3'$, 2′, $1^3/_5'$, $1^1/_3'$ und 1′. Für das obere Manual reichen sieben Kontaktreihen aus, da hier auf den 16′ verzichtet wurde. — Im Klangformungsteil, der gegenüber Modell C lediglich auf die größere Zahl von Obertonregistern erweitert wurde, werden für jedes Manual eine eigene Mixtur aus den höheren Obertonregistern gebildet, z. B. $2^2/_3' + 2' + 1^1/_3' + 1'$ im unteren Manual und $2' + 1^3/_5' + 1^1/_3' + 1'$ im oberen.

Das Pedal hat vier polyphone Kontaktreihen in den Lagen $16'_a$, $8'_a$, $4'_a$ und $2'_a$. Die Schaltung dieser Orgel stellt lediglich eine Erweiterung der des vorhergehenden Modells auf die angegebene größere Zahl von Teiltonkanälen dar, jedoch sind eigene Wünsche des Nachbauenden leicht durchführbar. Als Besonderheit sei beim 4′ des unteren Manuals eine Aufhellung und Färbung durch ein abgekürztes Universalfilter 1 vorgeschlagen, wie dies beim Modell C beim 8′ gezeigt wurde.

Manual 1, Manual 2 und Pedal werden über vollständig getrennte Ausgänge über drei Verstärker zu drei besonderen Lautsprechern geführt, die in einem dem Raum entsprechenden Abstand voneinander aufgestellt werden. — Das Klangbild dieser Orgel entspricht, wenn man von den Einschwingvorgängen absieht, dem einer hochwertigen Pfeifenorgel und erfüllt praktisch jeden Wunsch, den ein Organist stellen kann. Wenn der Klangcharakter einer Pfeifenorgel nicht in jedem Punkt

genau erreicht werden konnte, so ist dies unbedeutend gegenüber den Vorteilen: universelle Verwendbarkeit für alle Musikarten, hervorragende Klangwirkung und neuartige Effektmöglichkeiten, die jedoch nicht unnatürlich und gekünstelt wirken, geringes Gewicht, geringer Platzbedarf, relativ niedrige Kosten, Transportfähigkeit und nicht zuletzt Unempfindlichkeit der Stimmung auch bei stärkeren Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen, die in Wohnräumen meist größer sind, sowie minutenschnelle Nachstimmöglichkeit. Hinzu kommt, daß die Lautstärke nicht nur großen, sondern auch kleinen Räumen leicht angepaßt werden kann. Entsprechendes gilt auch für die übrigen Modelle.

2.55 Das Instrument C 1

Bei den vorstehend beschriebenen Orgeln wurde der Klangformungsteil so ausgelegt, daß jeder Teiltonkanal nach Klangfarbe und Lautstärke getrennt einstellbar ist, was bei einfacher Bedienbarkeit zu recht großer Vielseitigkeit der musikalischen Ausdrucksmöglichkeiten führt und daher für den Nachbau in erster Linie zu empfehlen ist. Wie erwähnt, kann jedoch in bestimmten Fällen eine der Pfeifenorgel entsprechende Registeranordnung gewünscht werden bei Beschränkung auf fest eingestellte Register.

Nachstehend sei ein diesen Wünschen entsprechender Klangformungsteil beschrieben, den der Verfasser für eine seiner Orgeln entworfen und mit gutem Erfolg erprobt hat. Dieses Instrument C 1 entspricht in seiner Größe dem Modell C. Im Tastenkontaktteil wurden für das obere Manual drei Sammelschienen ($8'_r$, $4'_r$ und $2'_r$) und für das untere deren vier ($8'_r$, $4'_r$, $2^2/_3{}'_r$ und $2'_r$) eingebaut. **Bild 29** zeigt den Klangformungsteil für das obere Manual. Im Eingang liegen wie bei den Orgeln B und C (Bild 25) drei einstufige Vorverstärker (Rö 1 bis Rö 3) sowie die bereits beschriebene Vorrichtung für 8′-Rechteck-Schwingungen (Rö 4 und Rö 5). Anodenseitig liegen zahlreiche Einzelfilter. Ihr Eingang besteht aus einem Vorwiderstand, der auch die eingangsseitige Entkopplung bewirkt. Es folgen frequenzabhängige Einzelteile, die die Klangfarben der Register bestimmen. Ihre Werte können nach persönlichem

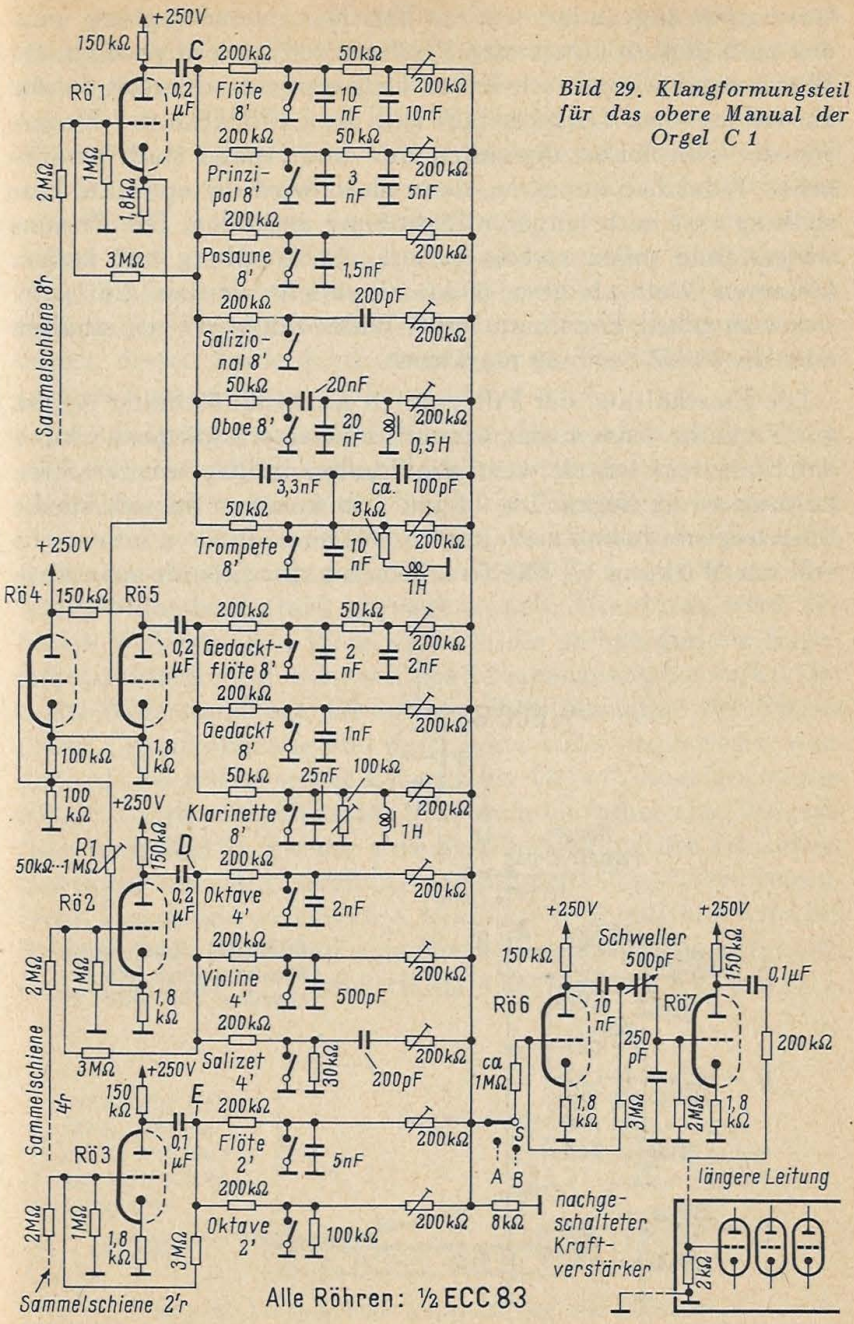


Bild 29. Klangformungsteil für das obere Manual der Orgel C 1

Geschmack abgeändert werden. Die Namen der Register wurden nach ähnlich klingenden Pfeifenorgelregistern gewählt. Im Filterausgang liegen wiederum Entkopplungswiderstände, die einstellbar sind. Dadurch läßt sich die Lautstärke der Einzelregister sehr leicht abgleichen und auch später noch persönlichen Wünschen anpassen, denn meist wird die optimale Einstellung erst nach längerer Erprobung gefunden. Die Trimmwiderstände sollen zwecks sicherer Entkopplung auf keinen kleineren Wert als etwa 50 kΩ eingestellt werden. Um ganz sicher zu gehen, kann man 50-kΩ-Widerstände in Serie schalten oder die 50-kΩ-Stellung markieren.

Die Einschaltung der Filter durch Kurzschlußschalter ergibt, wie Versuche zeigten, eine wesentlich bessere Additionswirkung der Einzelregister, als wenn die Schalter in dem waagerechten Leitungszweig liegen. Im letzten Fall kommen an sich starke Einzelregister beim Zuschalten zu mehreren anderen nicht mehr voll zur Wirkung. — Für freie Kombination könnte man auch

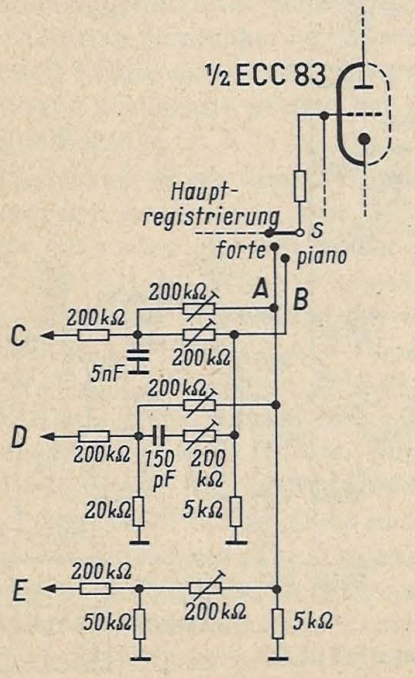


Bild 30. Zwei feste Kombinationen als Ergänzung für Bild 29

hier entsprechende Umschalteinrichtungen einbauen, doch wurde bei dieser Orgel darauf verzichtet, um den Aufwand gering zu halten. Stattdessen wurden zwei feste Kombinationen („piano" und „forte") nach **Bild 30** eingebaut. Sie lassen sich mit S bei Bedarf anstelle der Hauptregistrierung einschalten und ergeben trotz Einfachheit durchaus vollwertige Klangwirkungen. Besitzt S weitere, freie Schaltstellungen, so können diese später noch durch weitere feste Kombinationen nach eigener Wahl besetzt werden. Für S kann man statt einem Umschalter auch einen Drucktastensatz oder ein Schrittschaltrelais einbauen, dessen Spule durch einen bequem erreichbaren Druckschalter kurzzeitig unter Strom gesetzt wird.

Der Ausgang dieses Klangformungsteils wird wieder durch zwei Trioden gebildet. Als Schweller wird hier eine veränderliche Kapazität verwendet. Die gleiche Anordnung ist auch bei den anderen Orgeln möglich, wenn kein geeignetes Potentiometer zur Verfügung steht. Die Röhre Rö 6 wird durch den 3-MΩ-Widerstand stark gegengekoppelt. Hierdurch wird der innere Widerstand so klein, daß sich die nachgeschaltete Kapazität praktisch nicht mehr auf den Frequenzgang auswirkt. Der 1-MΩ-Widerstand am Gitter von Rö 6 bestimmt die Stärke dieser Gegenkopplung und darf daher nicht weggelassen werden. Als Schweller eignet sich gut ein kleiner, kugelgelagerter 500-pF-Luftdrehkondensator oder noch einfacher eine Vorrichtung nach **Bild 31,** bei der sich die Übertragung der Schwellerbewegung auf die Einstellung der Kapazität besonders vereinfacht. Eine biegsame etwa 6 × 15 cm große Metallfolie wird bei Betätigen des Pedals auf eine ebene Gegenelektrode aufgerollt und angedrückt. Als Dielektrikum dient ein etwa 0,05 mm star-

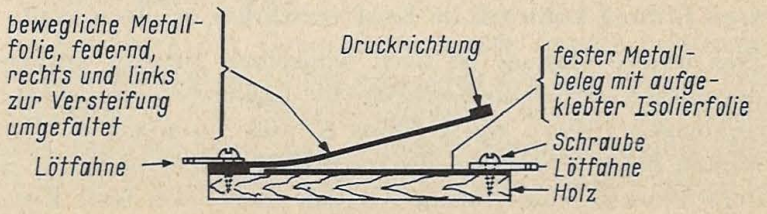


Bild 31. Veränderliche Kapazität für den Schweller

ker selbstklebender Plastikfilm, z. B. Tesafilm. Solch ein Schweller läßt sich mit einem Minimum an Arbeit und Material bauen und ist von guter Haltbarkeit. Die Kapazität muß isoliert und etwas abgeschirmt eingebaut werden. Zu- und Rückleitung können mit einer gemeinsamen, kapazitätsarmen Abschirmung versehen sein.

Als weitere Besonderheit wurde die in Bild 29 gezeigte niederohmige Ausgangsschaltung entworfen. Sie kann auch bei den anderen Orgeln und allgemein bei Zusammenschaltung mehrerer Verstärkeranlagen verwendet werden. Verlegt man nämlich in solchen Fällen die Erdleitungen nicht besonders sorgfältig oder betreibt man gar die beiden Verstärker in Allstromschaltung an verschiedenen Steckdosen oder über getrennte Netzzuleitungen, so tritt sehr häufig am Eingang des Kraftverstärkers eine störende Brummspannung auf, die durch das andere Wechselstrompotential des vorangehenden Verstärkers bedingt ist und auch meist nicht durch Verlegen dickerer Erdleitungen beseitigt werden kann. Die Störung tritt auch dann auf, wenn dem Kraftverstärker eine Katodenverstärkerstufe vorangeht, da in jedem Fall das Brummpotential dieser Stufe auf den Verstärkereingang übertragen wird.

Die gezeigte Schaltung vermeidet diese Nachteile, da die Brummspannung wie die Nutzspannung auf den 100. Teil reduziert wird. Trotzdem ist die Nutzspannung etwa gleich groß, als wenn eine Katodenverstärkerstufe vorangeht, und auch die Zuleitung ist so niederohmig, daß keine Abschirmung nötig ist. Brummstörungen traten auch bei Anschluß in Allstromschaltung in getrennten Räumen (ohne Erdverbindung!) nicht mehr auf. — Verwendet man keinen kapazitiven Schweller, so kann der 2-kΩ-Widerstand am Gitter des Kraftverstärkers durch ein Schwellerpotentiometer ersetzt werden, dessen Erdung natürlich im Kraftverstärker erfolgen muß.

Das untere Manual ist nach demselben Prinzip ausgelegt. Weggelassen werden die Rechteckschwingungserzeugung mit den zugehörigen Filtern sowie Oboe 8′ und Trompete 8′. Hinzu kommen dafür 2⅔′ sowie die im **Bild 32** gezeigten Filter. Das untere Manual erhält ferner wie das obere zwei feste Kombinationen. Im Pedal stehen Baßflöte 16′, Untersatz 16′ (Filter wie

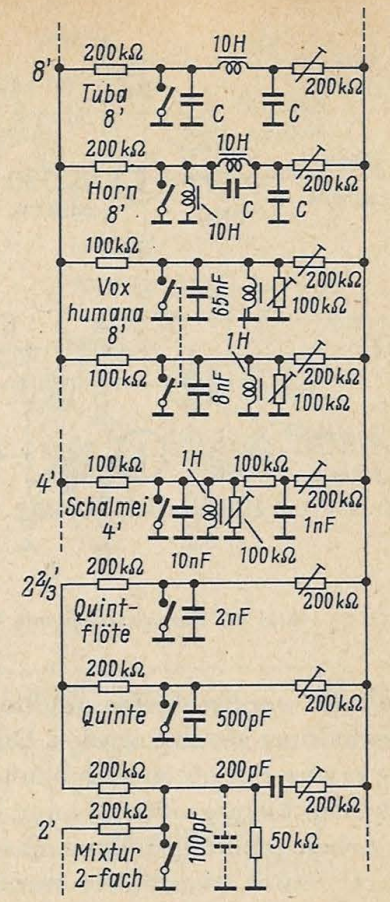


Bild 32. Zusätzliche Filter für das untere Manual der Orgel C 1

Prinzipal 8′), Prinzipal 8′, Trompete 8′ und Choralbaß 4′ (polyphon ausgelegt, Filter wie Viola 8′). Somit ist auch dieses Instrument eine vollwertige Orgel.

2.551 Die Transistororgel

Die Schaltung der Generatoren wurde bereits besprochen. Der Tastenkontaktteil bringt gegenüber der Röhrenorgel keine Besonderheiten. Im Klangformungsteil werden die Röhren zwecks Einheitlichkeit und einfacher Stromversorgung ebenfalls durch Transistoren*) ersetzt. Da die Sammelschienen nur

*) Fabrikat Intermetall.

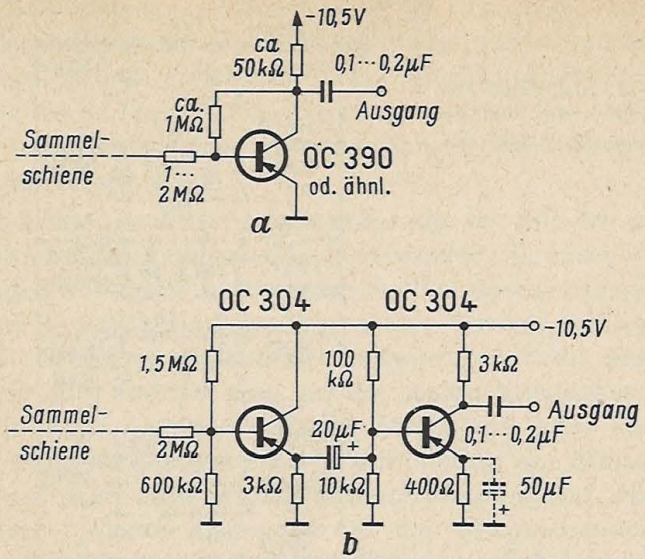


Bild 33. Vorverstärker mit Transistoren

gering belastet werden dürfen, mußte nach einer hochohmigen Eingangsschaltung gesucht werden. Die in **Bild 33 a** dargestellte Schaltung erwies sich als so hochohmig, daß der Vorwiderstand 1...2 MΩ keinen allzu großen Spannungsabfall verursacht. Zur richtigen Arbeitspunkteinstellung müssen die Werte der Widerstände u. U. etwas abgeändert werden. **Bild 33 b** zeigt eine andere Vorverstärkerschaltung, die weniger hohen Eingangswiderstand besitzt (etwa 80 kΩ an der Basis des ersten Transistors), so daß der Vorwiderstand an der Basis einen ziemlich großen Spannungsabfall verursacht, der durch eine zweite Verstärkerstufe ausgeglichen werden muß. Dafür ist hier eine besondere Einstellung des Arbeitspunktes in der Regel nicht notwendig.

Bild 34 zeigt die Schaltung zur Erzeugung der Rechteckschwingungen. Der 8′ wird zweimal um 180° in der Phase verschoben, so daß er am Ausgang wieder in richtiger Phasenlage zu den übrigen Obertonkanälen liegt. Mit R 1 wird die Lautstärke eingestellt. Der 4′ wird nur einmal um 180° versetzt, und

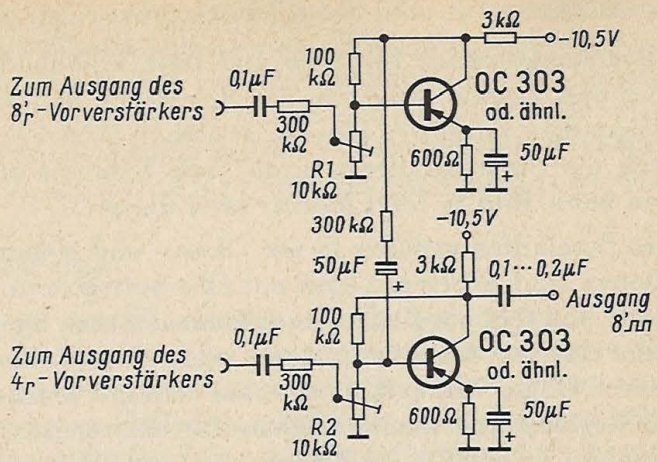


Bild 34. Erzeugung der Rechteckschwingungen mit Transistoren

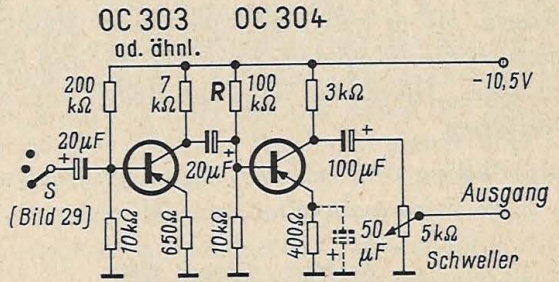


Bild 35. Der Ausgang des transistorisierten Klangformungsteils

mit R 2 werden die geradzahligen Harmonischen nach Gehör auf Minimum abgeglichen.

Bild 35 zeigt den Ausgang des Klangformungsteils der transistorisierten Orgel. (Eine niederohmige Schwellerausführung kann auch an den Emitter angeschlossen werden. Der Kollektorwiderstand fällt dann weg, und durch Ändern von R wird der Arbeitspunkt neu eingestellt.) Die übrige Gestaltung des Klangformungsteils, insbesondere der Filter, ist die gleiche wie bei der Orgel C 1.

2.56 Spielhilfen

Die Bedienungsorgane für freie und feste Kombinationen, Schweller und Vibrato zählen zu den Spielhilfen und wurden schon besprochen. Zur ersten Gruppe ist noch nachzutragen, daß man auch die Universalfilter 1 in die freie Kombination einbeziehen kann. **Bild 36** zeigt hierfür zwei Beispiele.

Zu den Spielhilfen gehören ferner Oktav- und Manualkoppeln. Erstere sind bei einer Orgel mit Obertonregistern völlig überflüssig und fehl am Platze. Auch können sie nie die Obertonregister ersetzen, denn diese müssen eigene Klangfarben und Lautstärken haben. Manualkoppeln baut man in Pfeifenorgeln ein, um Register und damit Pfeifensätze einzusparen, denn man kann mit ihrer Hilfe die Register des einen Manuals auch in einem anderen Manual oder im Pedal spielen und hat so eine größere Registerzahl in jeder Tastatur zur Verfügung. Da bei Elektronenorgeln die Register nur wesentlich weniger Aufwand erfordern, ist es zweckmäßiger, jedes Manual mit genügend vielen eigenen Registern auszustatten und die Koppeln ganz wegzulassen. Hierdurch wird die Bedienung vereinfacht und übersichtlicher.

Weitere Spielhilfen sind Schalter, die ganze Registergruppen abschalten, z. B. Zungenabsteller oder Mixturenabsteller. Sie

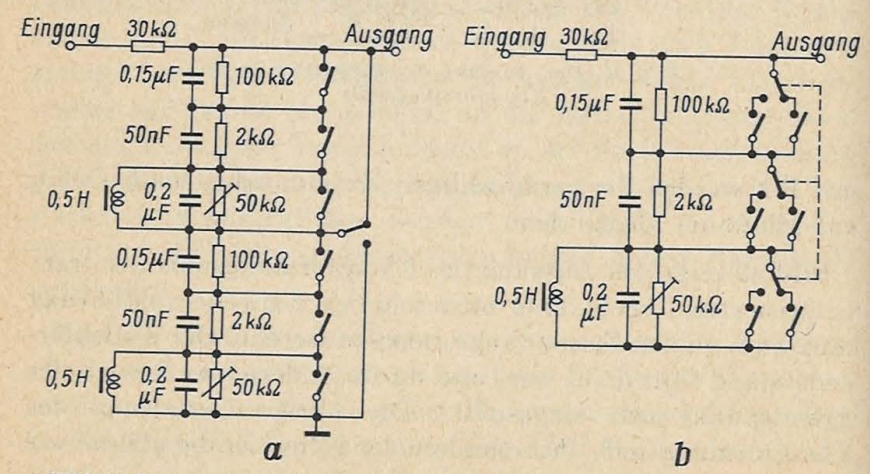


Bild 36. Zwei einfache Universalfilter mit freier Kombinationseinrichtung

sind bei den vorstehenden Orgeln nicht notwendig, lassen sich aber auf Wunsch leicht verwirklichen. Sehr empfehlenswert ist hingegen der Einbau von Anzeigelämpchen, z. B. Glimmlampen, deren Aufleuchten die jeweils eingeschaltete freie oder feste Kombination sichtbar macht. — Die Spielhilfen können teilweise als Pedaltritte für Fußbedienung ausgelegt werden.

2.57 Perkussion

Obwohl eine Einrichtung zur Erzeugung von Zupfklängen nicht unbedingt in eine Orgel gehört, sei für Leser, die eine solche kennenlernen und erproben wollen, nachstehend eine ebenfalls vom Verfasser entwickelte Schaltung beschrieben, die anstelle der letzten Röhre des Klangformungsteils diesem nachgeschaltet werden kann. Sie enthält einen eigenen Schweller, der auch bei abgeschalteter Perkussion wirksam ist und daher den im Klangformungsteil gezeichneten Schweller ersetzt. Das hierfür benutzte 150-Ω-Potentiometer P 1 ist eine robuste Ausführung mit dickem Widerstandsdraht. Da nur ein kleiner Teil seiner Widerstandsbahn für die Lautstärkeneinstellung benötigt wird, kann P 1 starr mit der Achse des Schwellerpedals verbunden werden. Für die Regelung wurde eine Gegentaktschaltung gewählt, um die am Punkt B liegende Regelspannung nicht hörbar werden zu lassen. Es war angestrebt, mit der im Klangformungsteil ausschließlich verwendeten Röhrentype ECC 83 und ohne Transformatoren auszukommen.

Die Röhre Rö 1 in **Bild 37** liefert den Gittern der Röhren Rö 2 und Rö 3 gegenphasige Spannungen. Die Phase der von Rö 2 kommenden Spannung wird durch Rö 4 nochmals um 180° gedreht, so daß am Gitter von Rö 5 beide Zweige wieder vereinigt werden. Die Stufe mit der Röhre Rö 5 dient wieder als Impedanzwandler. Die an Rö 1 liegenden Koppelkondensatoren und Arbeitswiderstände bilden in Verbindung mit den Gitterableitwiderständen von Rö 2 und Rö 3 Siebglieder für die Regelspannung. Daher sollten die Werte nicht verändert werden.

Wenn S 2 geschlossen ist, gelangt die an P 1 abgegriffene Regelspannung an die Gitter der Röhren Rö 2 und Rö 3. In

dieser Stellung ist normales Orgelspiel mit Schweller möglich. Nach Öffnen von S 2 entlädt sich jedoch der Kondensator C 1 über den 800-kΩ-Widerstand, so daß die Regelspannung langsam gegen Null abfällt. Die Gitter werden dann gegenüber den Katoden so stark negativ, daß die Röhren sperren.

Nun ist aber das unten rechts gezeichnete Relais so geschaltet, daß seine Kontakte bei jedem Tastendruck für ganz kurze Zeit geschlossen werden. Dadurch wird C 1 jedesmal wieder soweit aufgeladen, wie es der Stellung des Schwellers entspricht. — Danach kann der Ton wieder langsam ausklingen. Mit S 1 kann ein langsamer oder schnellerer Abklingvorgang eingestellt werden. Beim Drücken einer anderen Taste wiederholt sich der Vorgang. — P 2 kann so eingestellt werden, daß der Ton völlig abklingt, oder daß er nach dem Abklingvorgang noch mehr oder weniger stark bestehen bleibt. S 1 und S 2 werden in Wirklichkeit durch einen einzigen einpoligen Dreistufenumschalter gebildet mit drei Stellungen für den Abklingvorgang: Aus, Langsam und Schnell. Mit diesem Schalter ist S 3 gekuppelt, der zur Stromersparnis in Stellung Aus geöffnet wird.

Die Kontakte S sind so an den Tasten angebracht, daß sie erst schließen, wenn die Taste ganz gedrückt ist. Sie müssen räumlich getrennt vom Tastenkontakt und Klangformungsteil angeordnet sein, damit keine Störeinstrahlungen auftreten. Dasselbe gilt für die Zuleitungen. Durch C 3 fließt sowohl beim Drücken als auch beim Loslassen einer Taste ein kurzer Stromstoß. Der Gleichrichter Gl 2 unterdrückt die beim Loslassen entstehende Spannungsspitze, so daß das Relais (Empfindlichkeit 3 mA) nur beim Drücken einer Taste kurz anspricht. Der Gleichrichter sorgt ferner mit dem 4-kΩ-Widerstand für eine so schnelle Entladung von C 3, daß beliebig schnelles Repetieren bzw. praktisch Legatospiel möglich ist.

Bei übertriebenem Legatospiel sowie beim Liegenlassen einer anderen Taste spricht die Abklingschaltung jedoch nicht an. Abhilfe brächte die Verwendung von Tastenkontakten, die nur beim Drücken der Taste kurzzeitig schließen anstelle der Relaisschaltung. Solche Kontakte sind aber nach Versuchen zu geräuschvoll. So entstand die beschriebene Schaltung, die nach Einwickeln des Relais in Schaumgummi lautlos und zufrieden-

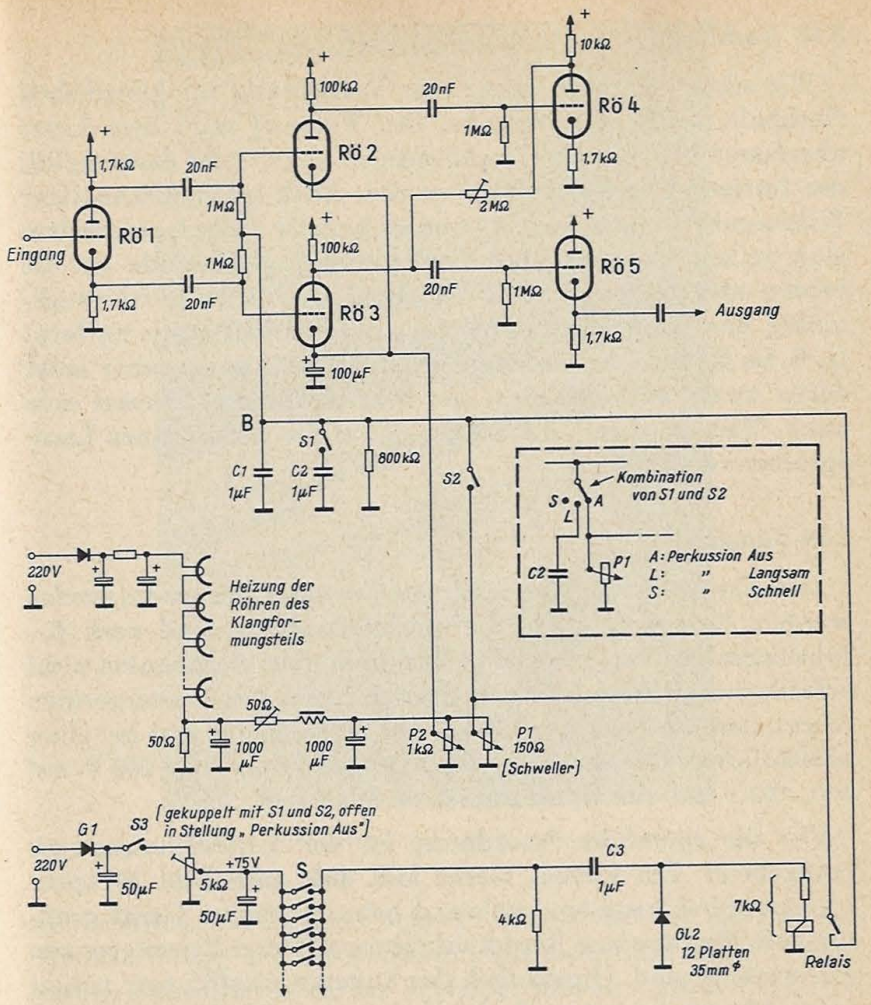


Bild 37. Schaltung für Zupfklänge. Alle Röhren ½ ECC 83

stellend arbeitet. Die Kontakte bestehen aus federndem Messingdraht und werden direkt an den Tasten befestigt.

Für einfache Zwecke können das Relais und die zugehörige Speiseschaltung durch einen Druckschalter ersetzt werden, der bei jedem Ton mit dem Fuß oder anderweitig kurz betätigt wird. Ferner sei erwähnt, daß man auch ohne die beschriebene Anordnung Zupfklänge leicht mit dem Schweller nachbilden kann.

2.58 Nachhall

Wie schon erwähnt, bringt eine Vorrichtung für künstlichen Nachhall wesentliche Vorteile. Der Entwurf muß dem Leser überlassen bleiben. Das Nachhallgerät kann leicht nachträglich der fertigen Orgel zugefügt werden. Auch bei mehrkanaliger Wiedergabe braucht man es nur einkanalig auszulegen, indem man seinen Eingang über Entkopplungswiderstände an die beiden oder die drei Kanäle der Orgel anschließt. Es ist zweckmäßig, das Nachhallgerät an einen besonderen, weiter entfernt (z. B. im Rücken der Zuhörer) aufgestellten Lautsprecher (oder deren zwei) anzuschließen, der von einfacherer Bauart sein kann. Man kann auch den Nachhall auf die vorhandenen Lautsprecher verteilen.

2.59 Sonstiges

Der Netzteil kann nach üblichen Gesichtspunkten entworfen werden. Besondere Stabilisierungsmaßnahmen sind nach Erfahrungen des Verfassers und Berichten über Nachbauten nicht erforderlich. Die Konstanz im Betrieb ist bei den Mustergeräten so gut, daß die einzelnen Frequenzteilerkaskaden erst bei einer absichtlichen Herabsetzung der Netzspannung von 240 V auf 150...165 V aus der Synchronisation sprangen.

Für die räumliche Anordnung ist der Verwendungszweck maßgebend. Ein kleines Gerät läßt sich nach Bild 19 leicht transportabel gestalten, während beim ortsfesten Gerät großzügigere Planung und Berücksichtigung späterer Erweiterungen zweckmäßig sind. Hinsichtlich der äußeren Ausführung richtet man sich am besten nach den bekannten Pfeifenorgel-Spieltischen. Eine größere Orgel des Verfassers zeigt das Bild auf der Umschlagseite.

Neben völlig selbständigem Aufbau läßt sich das Instrument auch an ein Klavier anbauen. Dieses kann durch Unterlagen etwas hochgestellt werden, so daß Generatorteil und Tastaturen als feste, eventuell fahrbare Einheit unter der Klaviertaste Platz finden. **Bild 38** zeigt eine solche Konstruktion. Die oberste Klaviatur gehört zum Klavier, das durch Einbau eines Chembaloregisters ergänzt wurde und später elektrische Tonabneh-

Bild 38. Elektronenorgel und Klavier als Einheit

mer erhalten soll. Darüber befindet sich ein Aufsatz mit Filtern. Die Anordnung der Bedienungsorgane darauf ist nicht für den Nachbau vorbildlich, da der Verfasser hier eine große Zahl von Versuchsfiltern eingebaut hat. Es sei empfohlen, die Schalter für die Filter stets in einer oder wenigen waagerechten Reihen anzuordnen. Die Einzelfilter der Universalfilter können dann wie übliche Orgelregister bedient werden. Die Lautstärkeneinsteller für die Teiltonkanäle und übriges können auch, wie im Bild gezeigt, rechts und links von den Tasten angebracht werden.

3. Wahl der Einzelteile und Vorversuche

Der Bau elektronischer Orgeln erfordert geeignete und besonders geprüfte Einzelteile. Diese sowie manche Spezialbauteile sind mitunter schwer zu beschaffen. Der Verfasser nennt auf Anfrage gern Bezugsquellen. Alle Einzelteile müssen vor dem Einbau gewissenhaft geprüft und nachgemessen werden.

Vor Beginn des eigentlichen Baues sind umfangreiche Vorversuche nicht zu umgehen, damit Klarheit über alle Einzelheiten geschaffen wird und der Aufbau der Orgel später gleich völlig richtig vorgenommen werden kann. Ein solches Verfahren ist beim Bau einer Elektronenorgel besonders ratsam, weil diese sich aus zahlreichen gleichartigen Details zusammensetzt und nachträgliches Umändern derselben sehr viel Arbeit macht.

3.1 Generatorteil

Über die Röhrenauswahl beim Generatorteil wurde schon gesprochen. Die frequenzbestimmenden Kondensatoren sollen beste Isolation besitzen. Styroflex-Kondensatoren und keramische Kondensatoren guter Temperaturkonstanz und nicht zu kleinen Volumens sind hierfür gut geeignet. Billige Glimmer- und Papierkondensatoren zeigen meist eine störende Inkonstanz der Kapazitäts- und Isolationswerte. Ebenso dürfen für die frequenzbestimmenden Widerstände keine räumlich zu kleinen Ausführungen gewählt werden, weil deren Temperaturkonstanz ebenfalls manchmal nicht ausreicht.

Der Verfasser empfiehlt, zunächst als Versuchsschaltung eine einzelne Frequenzteilerkaskade mit den endgültig vorgesehenen Einzelteilen aufzubauen, um diese zu testen. Hierbei können die Ausgangswiderstände durch entsprechende Belastungswiderstände ersetzt werden, die man versuchsweise auch einmal kurzzeitig abtrennt, um die Verhältnisse beim Spielen nachzubilden. — Es ist zweckmäßig, jedem einzelnen Oszillator der Kette eine eigene Masse-Leitung mit direktem Anschluß ans Chassis zu geben, da durch ungünstige Erdleitungen mitunter

wilde Kopplungen auftreten können. — Die Anodenspannungs-Zuleitungen sollten nicht übermäßig lang sein.

Werden die Transformatoren der Sperrschwinger selbst gewickelt, so ist umsponnener Kupferlackdraht zu empfehlen, da hierdurch Windungsschlüsse sicher vermieden werden. — Die Erdleitungen werden am besten so ausgeführt, daß jede Stufe der Frequenzteiler einen eigenen Erdungspunkt am Chassis erhält. — Fallen die positiven und negativen Anodenspannungs-Zuleitungen länger aus, so kann es mitunter günstig sein, sie innerhalb des Chassis der Frequenzteilerkaskade nochmals mit einem 0,1 µF-Kondensator abzublocken.

Zunächst ist auf richtige Tonhöhe des Hauptoszillators zu achten. Der gewünschte Ton soll etwa in der Mitte des Bereiches liegen, den man durch Verstellen des Potentiometers überstreichen kann bzw. in dem der Oszillator überhaupt schwingt, da in dieser Stellung die abgegebene Spannung am größten ist. Gegebenenfalls müssen die Widerstände noch etwas korrigiert werden. Diese Korrektur hängt meist von den Daten der verwendeten Röhre ab und gilt dann auch für die anderen Hauptoszillatoren. Zum Ausprobieren verwendet man zunächst Einstellwiderstände, die man danach durch Festwiderstände ersetzt. Die Größe der Widerstände im Doppel-T-Netzwerk und ihr Verhältnis zueinander sind nicht nur auf die Tonhöhe, sondern auch auf die Größe der Ausgangsspannung von Einfluß, die für eine gute Mitnahme des obersten Sperrschwingers möglichst hoch sein muß. Deshalb muß man auch eine möglichst hohe Anodenspannung benutzen. Bei den Mustergeräten sind die Doppel-T-Oszillatoren nicht nur in der Frequenzkonstanz allen anderen einfachen Generatoren weit überlegen, sondern auch durchweg kräftig genug, so daß besondere Maßnahmen, wie Einfügen einer Verstärkerstufe oder eines Transformators zwischen Hauptoszillator und erstem Frequenzteiler, nicht erforderlich sind.

Die Koppelkondensatoren in der Frequenzteilerkette werden so gewählt, daß die tiefere Oktave gut synchronisiert und über mehrere Töne hin mitgenommen wird. Rückwirkungen der tieferen Töne auf die höheren entstehen durch zu große Kondensatoren und sollen vermieden werden. Es ist wichtig, daß

der Koppelkondensator an das gitterseitige Ende der Gitterspule angeschlossen wird.

Die frequenzbestimmenden Kondensatoren der Sperrschwinger werden ebenfalls durch Versuch ermittelt. Hierzu leistet ein Luftdrehkondensator von 3 × 500 pF gute Dienste. Man schaltet die Teilkapazitäten parallel und bringt eine grobe Skala an. Dieser Kondensator wird an den Sperrschwinger angeschlossen und das zugehörige Potentiometer auf Mittelwert gestellt. Danach prüft man durch Verstellen des Kondensators, innerhalb welchen Kapazitätsbereiches noch Mitnahme erfolgt. Ein in der Mitte dieses meist sehr großen Bereiches liegender Festkondensator wird dann in die Schaltung eingelötet. Für die tiefsten Töne wird dem Drehkondensator ein Festkondensator (1,5 bis 10 nF) parallelgeschaltet. — Werden für Versuchszwecke oder endgültig verschiedene Transformatoren verwendet, so ist zu beachten, daß innerhalb derselben Kaskade nur untereinander gleiche Transformatoren verwendet werden sollten. — Bei den Versuchen mit den Sperrschwingern ist die Anodenspannung konstant zu halten.

Die fertige Kaskade wird einer längeren Dauerprüfung unterworfen. Sie muß auch bei erheblichen Netzspannungs- und Temperaturschwankungen völlig einwandfrei arbeiten. Eine Konstanz der Kaskade bei Netzschwankungen zwischen 165 und 240 V ist leicht zu erreichen. Zur Prüfung, ob die Kaskade auch ein Frequenzvibrato befolgt, kann der Hauptoszillator ein wenig nach beiden Seiten verstimmt werden.

Auch die hochohmigen Auskopplungswiderstände sind vor dem Einbau nachzumessen. Sollten sich Differenzen der Werte ergeben, so werden die Widerstände so sortiert, daß innerhalb einer Fuß-Reihe gleich große Widerstände benutzt werden. — Wichtig ist auch eine gute Qualität der Kondensatoren im Vibratogenerator.

3.2 Tastenkontaktteil

Für Vorversuche am Tastenkontaktteil wird am Besten ein originalgetreuer Kontaktsatz für eine Taste als Muster aufgebaut und gründlich erprobt. Nähere Hinweise zum Aufbau folgen auf Seite 106 ff. Die beweglichen Erdungskontakte und

die Erdungsschiene müssen aus dem gleichen Metall bestehen. Gut bewährt haben sich hierfür federnder Messingdraht sowie Hartsilberkontaktdraht. Wegen der großen Zahl der im Handel befindlichen Legierungen lassen sich Eignungsprüfungen nicht umgehen, denn schon dünne Oxydschichten können stören, weil die geringe Spannung, die an diesen Kontakten liegt, häufig nicht zum Durchbruch dieser Schicht ausreicht.

Sichere Abhilfe von diesen Störungen, die sich bei der fertigen Orgel als leise Dauertöne (siehe Bild 17) äußern würden, bringt ein Kontaktpflegemittel wie z. B. Cramolin. Dies sollte aber nur als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme betrachtet werden, und es ist empfehlenswert, das Kontaktmaterial sorgfältig auszusuchen und zu prüfen. Ratsam ist es auch, die Kontakte so anzuordnen, daß sie sich gegenseitig etwas reiben und so selbst blank halten.

Die Kondensatorkontakte selbst sind ohne weiteres nachbausicher. Sichtbare Unebenheiten und Grate an den Berührungsflächen sind zu vermeiden. Die beweglichen Plättchen werden zunächst etwas größer geschnitten als erforderlich. Durch Nachschneiden auf richtige Größe mit der Schere werden sie von selbst völlig eben, wenn man den Schenkel der Schere, der dem verbleibenden Plättchen am nächsten ist, flach auf dieses auflegt. Es wird immer in derselben Richtung geschnitten, so daß der entstehende Schneidgrat stets auf dieselbe, vorher markierte Seite des Plättchens kommt. Auf dieser Seite wird die Feder angelötet; die andere, glatte Seite wird dann mit Tesafilm (0,05 mm dicke, selbstklebende Plastikfolie) beklebt, den man so beschneidet, daß er ringsherum ½...1 mm übersteht. — Sowohl Erdungs- und Kondensatorkontakt dürfen nur wenige Gramm Kraft zur Betätigung erfordern, damit beim Drücken der Taste keine wesentliche Änderung der Gegenkraft spürbar wird. Zur Prüfung auf Haltbarkeit eignet sich eine Dauerbetätigung mit Hilfe eines Motors.

3.3 Klangformungsteil

Für den Klangformungsteil sind Vorversuche erst nach Fertigstellung der übrigen Baugruppen möglich. Um die Drosseln auszuwählen, sollte man ihre Selbstinduktion und ihren ohmschen Widerstand kennen. Bei den Schwingkreisen braucht der Induktivitätswert nicht genau eingehalten zu werden, wenn dafür der Kapazitätswert so abgeändert wird, daß das Produkt $L \cdot C$ konstant bleibt. Der ohmsche Widerstand der Spulen soll möglichst gering sein, damit der Schwingkreis nicht zu stark gedämpft und somit die Resonanzkurve zu flach wird. Um charakteristische Filterklangfarben zu erzielen, sind recht hohe und steile Resonanzkurven erforderlich. Sie können bei Bedarf durch Parallelwiderstände abgeflacht werden. Der Gleichstromwiderstand soll bei den 500-mH-Drosseln max. 25 Ω, bei den 1000 mH (= 1 H)-Drosseln max. 50 Ω und bei den 10-H-Drosseln max. etwa 700 Ω betragen. Auch bei Drosseln mit aufgedruckter Induktivität muß diese nachgemessen werden, da die Angaben sich oft auf Gleichstromvorbelastung beziehen oder ungenau sind. Hierfür schaltet man am besten einen bekannten, nachgemessenen Kondensator parallel und bestimmt die Induktivität aus der Resonanzfrequenz. Man benötigt dazu einen Tongenerator, z. B. das Selektojekt (Seite 12) und ein Röhrenvoltmeter. Wer die Messung nicht durchführen will, kann durch Ausprobieren der günstigsten L- und C-Werte in den Filtern nach Gehör ebenfalls zum Ziel kommen.

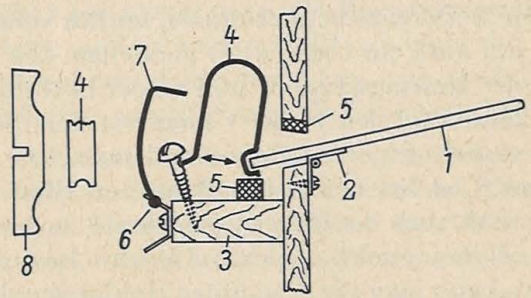


Bild 39. Registerwippe zum Selbstbau

Registerwippen mit angebauten Schaltern können von Orgelbauanstalten und Zubehörfirmen bezogen werden. Sie sind allerdings recht teuer, so daß sich der Selbstbau lohnt. Eine Anregung hierzu gibt **Bild 39.** In einem langen, waagerechten Schlitz in der Frontplatte sitzen nebeneinander die Registerhebel 1. Sie sind an kleinen Scharnieren 2 mit Hohlnieten be-

festigt und bestehen aus der Hälfte eines in jeder Apotheke erhältlichen Holzspatels von etwa 15 cm Länge. Der Drehpunkt liegt etwa 1,7 cm von dem hinteren Ende entfernt. Das Vorderteil wird später mit gutem Papier beklebt, beschriftet und mit farblosem Klebefilm überzogen. Auch Lackieren ist möglich. Hinter der Frontplatte trägt eine durchgehende waagerechte Leiste 3 eine Messingschraube (3 × 20 mm) mit Linsenkopf. Direkt unter dem Kopf ist eine kleine Kerbe eingefeilt, die als Stützpunkt für die Blattfeder 4 dient. Das entsprechende Ende der Feder ist in der Aufsicht getrennt dargestellt. Die Feder besteht aus hartem Messing oder aus Phosphorbronze, der Querschnitt ist etwa 0,25 × 8 mm und die Länge beträgt etwa 4...6 cm. Sie übt einen Druck in Pfeilrichtung aus. Hierdurch schnappt der Registerhebel leicht und fast lautlos in die beiden Endstellungen, die durch die beiden Filze 5 gegeben sind.

An 3 ist ferner eine Lötfahne 6 seitlich etwas versetzt angeschraubt. Diese trägt eine Drahtfeder 7 aus dem gleichen Material wie 4. Da 4 sich nach links bewegt, wenn die Wippe nach unten gedrückt wird, wird hierbei der Kontakt 4...7 geschlossen. Durch entsprechendes Verbiegen von 7 läßt sich der Kontakt auch in der anderen Stellung schließen.

Durch eine weitere, nicht gezeichnete, seitlich versetzte Drahtfeder läßt sich auch ein Umschalter herstellen. Die Zuleitungen werden an der Messingschraube und an der Lötfahne angelötet. — Ferner kann man den Hebel 1 kurz vor dem Scharnier absägen und stattdessen eine Wippe 8 anleimen. Die dargestellte Wippenform 8 ist bei den neuen deutschen Pfeifenorgeln gebräuchlich, doch auch die Hebel 1 sind leicht zu bedienen. Man findet sie oft bei amerikanischen Orgeln. Benutzt man die Wippen 8, so kann man die erwähnten Hohlnieten durch Metallschrauben und Muttern ersetzen, um die Wippe herausnehmen zu können. Bei den langen Hebeln 1 erfolgt dies durch Lösen der Scharniere von der Frontplatte.

Der beschriebene Registerschalter läßt sich mit wenigen Mitteln schnell herstellen. Er kann als gelungene Konstruktion weiterempfohlen werden. Zum Studium der Wirkungsweise empfiehlt sich der Aufbau eines Einzelmusters. Die Feder muß richtig gebogen werden, und die Kerbe an der Schraube muß

sich in der Verlängerung des Hebels 1 befinden, wenn dieser in die Mittelstellung gebracht wird. Bei zu schwer gehenden Scharnieren ersetzt man den Stift durch einen dünneren.

Ein einfacher Registerzugschalter kann nach **Bild 40** angefertigt werden. Als Führung für die Schiebestange dient eine Telefonbuchse. Leitende Verbindung mit den Kontaktfedern verhindert ein Stück Isolierschlauch auf der Metallstange. Da der

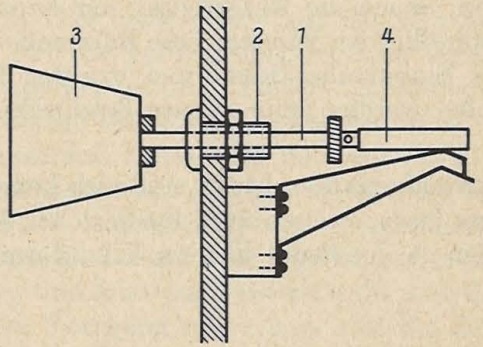


Bild 40. Zugregisterschalter zum Selbstbau

Knopf drehbar ist, bringt man die Registrierbezeichnung auf der Frontplatte an. Der Schalter läßt sich leicht auf drei Schaltstellungen erweitern. Außerdem kann man notfalls geräuscharme Kippschalter mit größerem Bedienungshebel verwenden.

Für den Selbstbau hochwertiger Registerschalter sind auch preiswerte vorgefertigte Einzelteile lieferbar. Diese gestatten mit verhältnismäßig geringem Arbeits- und Geldaufwand den Einbau von Registern in sehr guter Pfeifenorgelqualität.

Für die Schwellerpotentiometer muß eine stabile Ausführung gewählt werden, da sie sich sonst zu schnell abnutzen.

3.4 Bürstenkontakte

Unter dem Namen Bürstenkontakte sind hochwertige und trotzdem billige Kontaktsätze im Handel, die speziell für den Bau von Orgeln entwickelt worden sind.

Ein solcher Kontaktsatz ist jeweils für eine Taste bestimmt und kostet nur 50 Pfennig. Er enthält acht Einzelkontakte und

reicht somit auch für größte Orgeln aus. Die leichtgängigen Kontaktsätze sind trotz einfacher Konstruktion praktisch klickfrei. Wegen der geringen Abmessungen können sie direkt an den Tasten montiert werden, so daß besondere mechanische Vorrichtungen nicht benötigt werden. Hierdurch ergibt sich außer einer erheblichen Platzersparnis auch eine sehr einfache Montage. Eine genaue Einbauanleitung mit Schaltskizze kann mit den Kontakten bezogen werden.

Allen Lesern, denen die Anfertigung der kapazitiven Kontakte zu umständlich ist, können diese Bürstenkontakte wegen ihrer leichten Einbaumöglichkeit und exakten Funktion bestens empfohlen werden (eine nähere Beschreibung folgt auf Seite 124).

Mit den Bürstenkontakten lassen sich auch komplizierte Umschaltprobleme lösen, wie sie zum Beispiel bei der Frequenzteilung für den 16′ im Pedal und im Klangformungsteil auftreten.

4. Der Aufbau der Instrumente

Sind Planung und Vorversuche erfolgreich beendet, so stehen dem Aufbau keine größeren Schwierigkeiten mehr im Wege. Außer der räumlichen Anordnung der Einzelteile muß man sich noch eine möglichst rationelle Arbeitsweise überlegen. Da bei den Instrumenten gleichartige Einzelheiten häufig wiederkehren, läßt sich durch ausgesprochene Serienarbeit der Aufbau sehr erleichtern. Dies trifft außer auf die rein mechanischen Arbeiten auch auf die Verdrahtung zu. Man wird nicht etwa 60 Sperrschwingergeneratoren einzeln nacheinander fertigstellen, sondern erst alle Röhrensockelanschlüsse, alle Widerstände usw. verzinnen. Dann wird man etwa in alle 60 Sperrschwinger nacheinander den gleichen Widerstand einlöten. Soll ein Verbindungsdraht eingefügt werden, so schneidet man zunächst 60 gleichlange Drahtstücke zurecht, entisoliert und verzinnt alle Enden und lötet dann einen Draht nach dem anderen ein. Bei solchem Vorgehen spart man sich die Zeit, die man sonst für das Wechseln des Werkzeugs, für das Herbeisuchen der Einzelteile und für die Überlegung benötigt, was als Nächstes zu tun ist. Auch sind Schaltfehler und sonstige Versehen weniger zu befürchten. — Für das Lötzinn hat sich ein provisorischer Holzständer nach **Bild 41** bewährt, der stets in Griffnähe steht, so daß man beide Hände für die Arbeit frei hat.

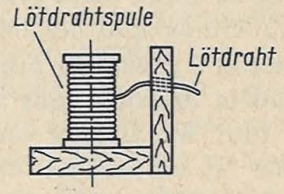


Bild 41. Ständer für Lötzinn

4.1 Kleinere Instrumente

Die Einzelteile müssen so angeordnet werden, daß sich einfache Verdrahtung, leichte Zugänglichkeit aller wichtigen Teile und übersichtliche Anordnung der Bedienungsorgane ergeben.

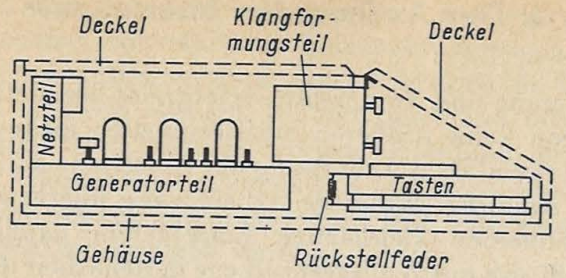


Bild 42. Aufbauvorschlag für kleinere Instrumente

Bild 19 und **Bild 42** zeigen den Aufbau eines kleineren Instrumentes. Das Generatorchassis ist wie bei größeren Konstruktionen in zwölf Kammern eingeteilt, die die zwölf Frequenzteilerkaskaden aufnehmen. Röhren und Bedienungsgriffe sind von der Oberseite zugänglich. Die Tasten sind zur Platzersparnis als einarmige Hebel ausgebildet. Die Bedienungsorgane des Klangformungsteils sind direkt hinter der Tastatur leicht zu überblicken und zu erreichen. Der schräge Deckel wird während des Spiels nach oben geklappt und dient dann als Notenständer. Der waagerechte Deckel wird ebenfalls zum Öffnen eingerichtet und während des Betriebes zur Kühlung leicht angehoben. Pedal und Schweller werden über ein Kabel mit Vielfachstecker angeschlossen.

Die Tastenkontakte befinden sich nach **Bild 43** unterhalb der Tasten. Eine Lötfahne dient zum Anlöten der nicht gezeichneten flexiblen Zuleitung und des beweglichen, federnden Erdungskontaktdrahtes 2 sowie der Schraubenfeder 3. Letztere besteht aus federndem Messingdraht von 0,4 mm Durchmesser. Die Feder hat fünf Windungen von etwa 8 mm Durchmesser. Am freien Ende ist ein ebenes, 10 × 13 mm großes und 0,2 mm dickes Stückchen Messingblech angelötet. Die Unterseite dieses Blechstückchens ist mit 0,05 mm starkem Tesafilm beklebt, der am Rand 0,5...1 mm übersteht. Beim Durchdrücken der Taste (vgl. Seite 57) nähert sich die bewegliche Elektrode der feststehenden Gegenelektrode und legt sich dieser auch bei wenig präzisem Einbau stets flach an, da die Schraubenfeder 3 nach allen Seiten beweglich ist. Danach läßt sich die Taste noch bis

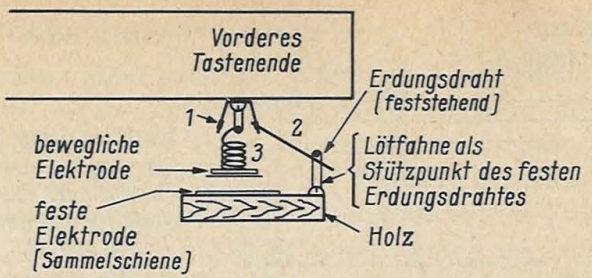


Bild 43. Tastenkontaktanordnung für kleinere Instrumente

zum nicht gezeichneten Anschlag durchdrücken. Die feste Gegenelektrode besteht aus dünner Aluminiumpapierfolie, die in Schreibwarengeschäften erhältlich ist. Sie stellt einen langen Streifen dar, der unter der Tastatur durchläuft, und wird auf die vorher gleichmäßig mit nichtleitendem Klebstoff bestrichene ebene Sperrholzleiste aufgeklebt und mit einem Hammer unter Zwischenlegen eines ebenen Holzbrettchens festgeklopft. Am Ende der festen Elektrode bzw. Sammelschiene dient eine nicht gezeichnete Lötfahne dem Anschluß der Zuleitung. Eine Aufteilung der Sammelschiene nach Bild 21 erfolgt nachträglich mittels Lineal und scharfem Messer.

Der feststehende Erdungsdraht wird durch hochstehende Lötfahnen gestützt, die in Abständen von 5 cm angebracht sind, und stramm gespannt. Beide Erdungskontakte bestehen aus dem gleichen Material, z. B. federndem Messingdraht, Hartsilberkontaktdraht oder einem anderen geeigneten Material. Durch die schräge Anordnung von 2 reiben sich die Kontakte beim Schließen. Beim vollen Durchdrücken der Taste kann sich das Ende von 2 auf die Kante der Holzleiste anlegen, was nicht störend ist. Stehen den Kontakten eine oder mehrere Verstrebungen des Tastaturrahmens im Wege, so werden diese entfernt und der Rahmen anderweitig verstärkt. Die Holzteile des Rahmens und die Bodenplatte werden zur Abschirmung mit Aluminiumfolie beklebt. Die Leitungen von den Generatoren zu den Tastenkontakten werden am besten nicht zu einem Kabelbaum zusammengefaßt, sondern frei verlegt, so daß die Leitungskapazität gering bleibt.

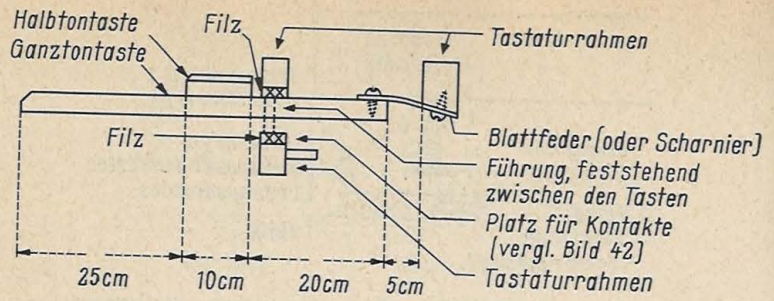


Bild 44. Stummelpedaltaste

Die Pedaltasten werden an Scharnieren oder an Blattfedern befestigt und am anderen Ende bzw. bei Stummelpedalen etwa in der Mitte mit je einem Nagel nach Art der Klaviertasten geführt **(Bild 44).** Die Führung kann auch durch zwischen den Tasten befindliche, feststehende Stäbe erfolgen. Die Reibflächen können mit Filz oder Leder beklebt werden. Die Kontakte werden direkt an den Tasten an einer Stelle befestigt, die den erforderlichen Hub von 7...12 mm aufweist. Auch eine Hebelübersetzung zur Verringerung des am Ende der Pedaltasten zu großen Hubs ist möglich.

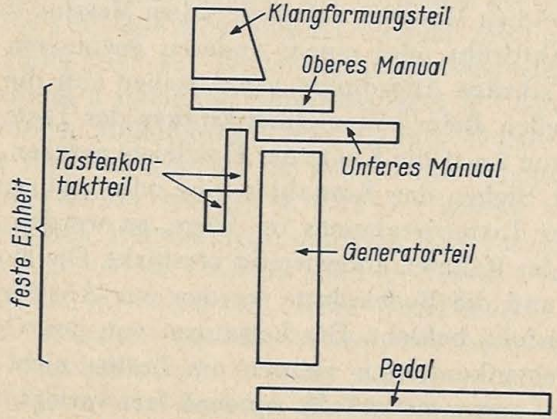


Bild 45. Aufbau einer größeren Orgel

4.2 Größere Instrumente

Den Aufbau einer größeren Orgel zeigt im Prinzip **Bild 45.** Das stehend angeordnete Generatorchassis ist vorn offen. Es besteht aus einer etwa 120 × 50 cm großen Grundplatte aus 10 mm starkem Sperrholz[1]), die mit Metallfolie beklebt ist, ferner aus einem an der Grundplatte angeschraubten Rahmen aus Aluminiumblech sowie aus zwölf Querwänden aus dem gleichen Material. Letztere erhalten Bohrungen für die Stimmknöpfe und Röhrenfassungen, so daß die Knöpfe und Röhren einer Kaskade jeweils in der benachbarten Kammer liegen. Hierdurch

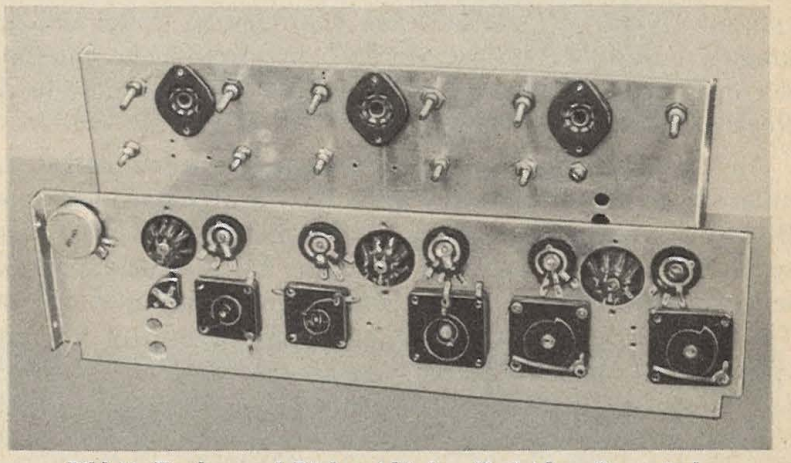


Bild 46. Vorder- und Rückansicht der elf gleichen Querwände

ergibt sich ein einfacher Aufbau, und alle wichtigen Teile sind leicht zugänglich. Die Röhren brauchen nicht abgeschirmt zu werden. Die gleichen Zwischenwände können mit Zwingen zusammengeschraubt und in einem Arbeitsgang gebohrt werden.

Vorder- und Rückseite einer solchen Querwand zeigt **Bild 46.** Reicht das Manual von C bis c^3 oder c^4, so kann die C-Kaskade einen Generator mehr als die übrigen enthalten. Die entsprechende Querwand muß dann abweichend von den übrigen gestaltet werden, wie **Bild 47** zeigt, sofern man den überzähligen Generator nicht anderswo unterbringt. — Der verbleibende freie Raum der 13. Kammer kann für den Netzteil verwendet

[1]) Bei Verwendung der Röhre ECC 83 lassen sich wesentlich kleinere Abmessungen erzielen.

werden. Alle Querwände werden zunächst vorverdrahtet und dann am Rahmen sowie mit einem eisernen Winkel an der Grundplatte festgeschraubt.

Die Grundplatte erhält vorher Bohrungen für die Durchführung der Generatorausgänge. Zum Anzeichnen derselben fertigt man sich eine Pappschablone für eine Kaskade an. Nach Einkleben kurzer Isolierschlauchabschnitte werden die Anschlußdrähte der Auskopplungswiderstände durchgesteckt, außen durch Umbiegen fixiert und später mit den zum Tastenkontaktteil führenden Leitungen verlötet. Einen Blick in ein fertiges Generatorchassis zeigt **Bild 48.** Die sichtbaren waagerechten Abschirmwände bestehen aus dünnem Weißblech und können meist weggelassen werden, da Streuungen innerhalb der im Oktavverhältnis stehenden Töne einer Kaskade in der Regel nicht stören.

An der Oberseite des Generatorchassis wird zunächst das untere Manual befestigt. An dessen Klaviaturrahmen wird nach **Bild 49** mit einer Scharnierstange das Sperrholzchassis 1 angeschraubt. Es besteht aus zwei Kammern für die Tastenkontaktteile der beiden Manuale. In jeder Kammer befindet sich pro Taste eine senkrechte Holzleiste 2 vom Querschnitt 10 × 25 mm. Sie wird mit drei Nägeln, die durch drei Löcher im Holzchassis frei beweglich laufen, so geführt, daß sie leicht auf und ab bewegt werden können. Später wird der eine Nagel durch einen Draht oder ein Stück Skalenseil mit dem hinteren Tastenende verbunden, so daß beim Drücken der Taste die Leiste nach oben bewegt wird. Zur Erzielung eines besonders weichen Toneinsatzes kann der Zugdraht an einem Punkt der Taste befestigt werden, der näher am Drehpunkt liegt und einen Hub von etwa 5 mm besitzt. Die Rückstellung von Leiste und Taste erfolgt durch eine unten angebrachte Feder. Die gezeichnete Zugfeder kann auch durch eine bei D angebrachte Druckfeder ersetzt werden.

An der Leiste werden mittels einer Lötöse die beweglichen Kontaktteile angebracht. Die flexiblen Zuleitungen 3 werden durch die Löcher 4 geführt und dort festgeklebt. Nach dem Hochklappen des Tastenkontaktteils werden die Zuleitungen an den Nägeln 5 festgeknotet und mit 3 verlötet. Nach der Ver-

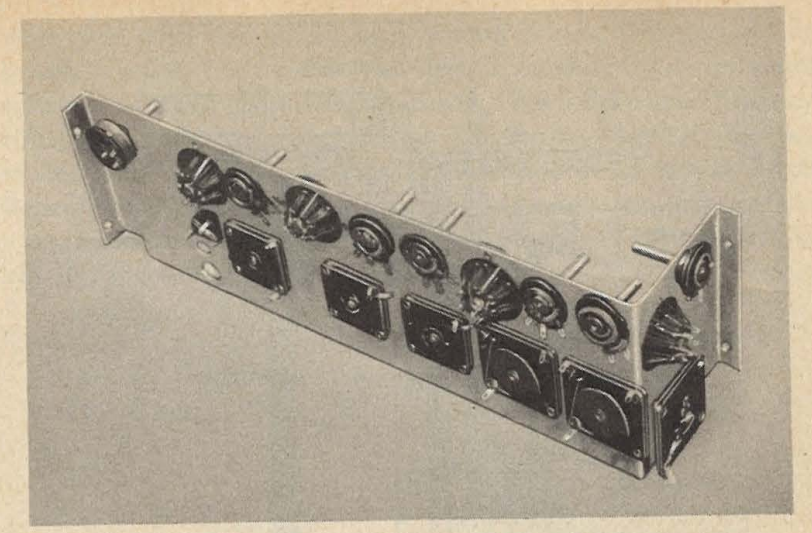


Bild 47. Die von den übrigen verschiedene zwölfte Querwand

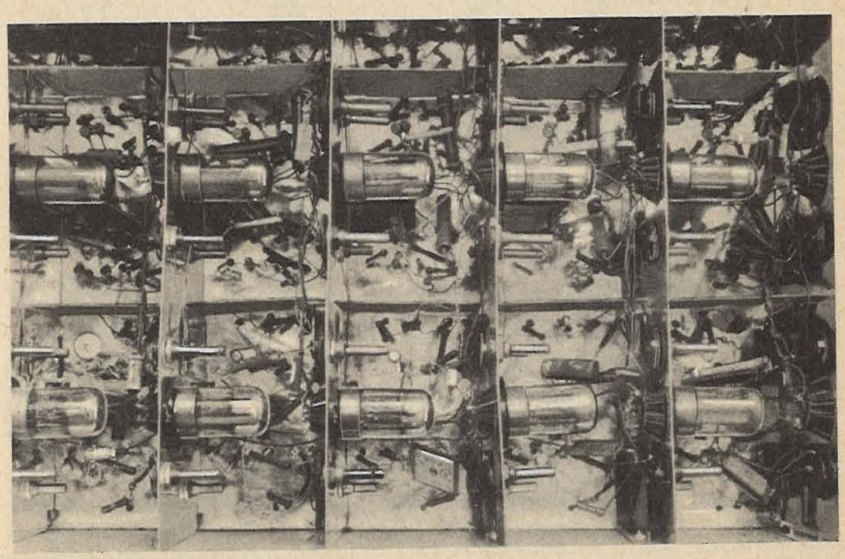


Bild 48. Blick in den fertigen Generator

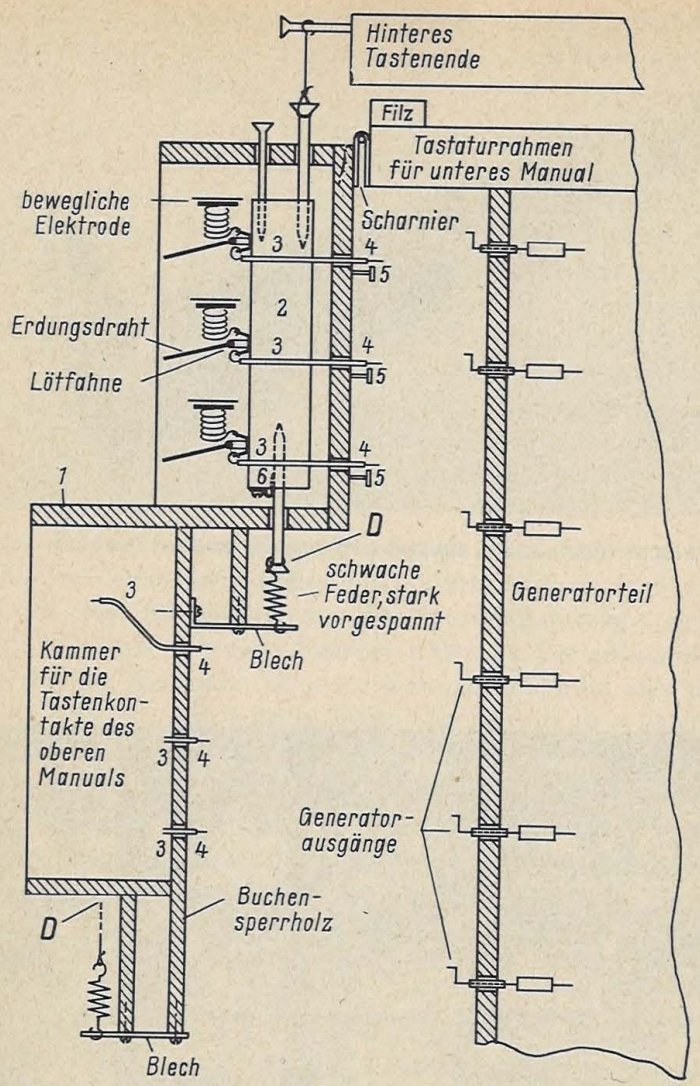


Bild 49. Der Tastenkontaktteil. Die Zahl der Kontakte kann beliebig gewählt werden. Abweichend von dieser Darstellung verwendet der Verfasser in letzter Zeit folgende Verbesserung: Die Kontaktträgerleiste 2 wird oben mittels Spezialgelenk direkt an der Taste befestigt und unten anstelle des Nagels mit einem polierten Spezialdraht geführt, welcher nicht direkt in dem Holz läuft, sondern in einem mit 1,1 mm starkem Kasimir (d. i. gewebter Filz, wie er im Klavierbau verwendet wird) ausgekleideten Loch. Dadurch ergeben sich eine leichtere Montage und bessere Gängigkeit. Als Rückstellfedern können handelsübliche Ausführungen direkt an der Klaviatur angebracht werden

drahtung wird das Holzchassis wieder herabgeklappt und die zweite Tastatur oberhalb der ersten befestigt. Die Sammelschienen werden nach **Bild 50** durch Gewindebolzen, Distanzröhrchen und Muttern etagenweise übereinandergeschraubt und in das Holzchassis eingesetzt. Der Abstand der Gewindebolzen beträgt etwa 10 cm. Die Distanzröhrchen müssen rechtwinklig und in richtiger Länge abgesägt werden. Der Verfasser hat sie auf der Drehbank sauber nachgedreht.

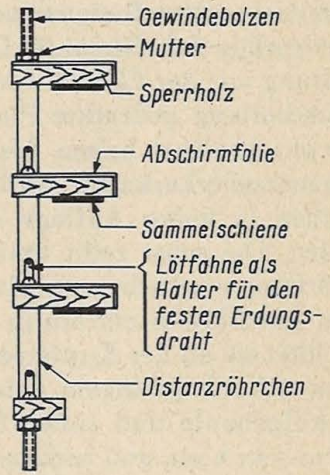


Bild 50. Die Sammelschienenanordnung. Anstelle der Distanzröhrchen können zur Halterung der Querhölzer auch Muttern dienen

Nach dem Justieren werden die Tastenkontaktchassis durch je eine Platte verschlossen, damit kein Staub hineingelangt. Anstelle der Holzleisten können auch etwa 2 cm breite Plexiglasstreifen mit aufgenieteten Lötfahnen benutzt werden, die oben und unten in Schlitzen in demselben Material laufen. Sie haben sich bei Versuchen gut bewährt. Das Tastenkontaktchassis wird zur Abschirmung mit Aluminiumfolie beklebt. Die gleiche Behandlung erfahren die Sammelschienen tragenden Holzleisten an ihrer Oberseite. Ferner kann man die beweglichen Holzleisten einseitig mit einer solchen Abschirmung versehen, doch ist dies nicht unbedingt notwendig. Eine Verbindung 6 mit dem unteren Nagel macht besondere Anschlüsse hierfür überflüssig. — Für die Fertigung der Kontakte mit industriellen Mitteln stehen andere Konstruktionen zur Verfügung.

Neben dem Tastenkontaktteil wird ein kleines Chassis für die Vorverstärkerröhren angebracht. Von dort führen Leitungen zum Klangformungsteil, dessen Aufbau wegen der Niederohmigkeit der Filterschaltungen relativ unkritisch ist. Bei den 10-H-Drosseln des Instruments A müssen Brummeinstreuungen vom Netztransformator durch räumlich getrennte Aufstellung und Ausprobieren der günstigsten Stellung der Blechpakete vermieden werden. Auch eine streuarme Netztransformatorausführung ist vorteilhaft.

Der Generatorteil eignet sich besonders gut zur Ausführung in gedruckter Schalttechnik. Der Verfasser hat für die Röhrenschaltung mit der ECC 83 oder ECC 82 und auch für die Transistorschaltung gedruckte Platinen entwickelt, die sich bereits sehr gut bewährt haben. Da die Generatorschaltung bei den Frequenzteilerkaskaden zwölfmal wiederkehrt, konnten die Platinen in hoher Auflage und daher preiswert angefertigt werden. Die sonst recht umfangreiche Arbeit der Generatorbestückung wird sehr vereinfacht. Man steckt die Einzelteile mit ihren Anschlüssen einfach in die passend vorgebohrten Löcher und lötet sie an der Kupferseite der Platine fest. Hierdurch ergeben sich mit geringem Arbeitsaufwand industriemäßig sauber aufgebaute und sicher funktionierende Generatoren, die zudem sehr klein und leicht sind. Die Schaltung wird übersichtlich, und Fehler sind praktisch ausgeschlossen. Man spart hierdurch das Chassisblech und seine doch etwas zeitraubende Bearbeitung. Die fertigen Kaskaden werden in ein einfaches Gehäuse eingesetzt, das wesentlich kleiner und einfacher sein kann als das auf Seite 109 beschriebene.

4.3 Das Stimmen

Das Einstimmen der Orgel ist leicht und erfolgt am Besten nach Gehör. Man stimmt zunächst den Hauptoszillator A durch Vergleich mit einer Stimmgabel. Hierzu drückt man die der Stimmgabel entsprechende Taste, da alle Töne A gleichzeitig mitverändert werden, und stellt den Hauptoszillator auf Schwebungsnull ein. Danach drückt man in einer der oberen Manualoktaven zum A das E, stellt dann zunächst den Hauptoszillator E auf Schwebungsnull und stimmt ihn danach etwas tiefer, so daß eine langsame Schwebung zu hören ist. Ebenso stimmt man

die anderen Töne des Quintenzirkels. Der letzte Schritt von D...A muß dann ebenfalls wieder eine leichte Schwebung ergeben, die durch probeweises Tieferstimmen von A nicht verschwindet, sondern schneller wird. Ist dieses Kontrollintervall jedoch nicht gleich den übrigen, so muß die Stimmung des gesamten Quintenzirkels nochmals korrigiert werden. Wenn beim Stimmen tieferliegende Quinten gedrückt werden, muß auch die Schwebung etwas langsamer sein als bei den höher liegenden. Diese Einstimmethode erfordert nach kurzer Übung nur wenige Minuten Zeit. Da die Konstanz der Oszillatoren sehr gut ist, braucht die Stimmung nur in Abständen von einigen Monaten nachkontrolliert zu werden.

Der Verfasser hat in seinem Betrieb eine Abteilung eingerichtet, die alle benötigten Bauteile in geeigneter Qualität liefert (Fa. Dr. Böhm, Elektronische Orgeln, Abt. Einzelteile, 495 Minden, Hahler Str. 29). Der Leser erhält auf Anforderung gern kostenlos einen Katalog, der ihn der Einzelteilsorgen enthebt und außer den Bauteilen auch gedruckte Schaltungen und komplette Bausätze mit entsprechenden Anleitungen zur weiteren Erleichterung des Selbstbaus anbietet.

5. Nachträge

Nachstehend soll auf mehrere interessante Einzelheiten, die besonders in letzter Zeit erarbeitet worden sind, ausführlicher eingegangen werden. Aus technischen Gründen ließen sich nicht alle Ergänzungen im laufenden Text einarbeiten, so daß hier noch einiges nachzutragen ist.

Der Verfasser hat unter anderem eine neue, sehr empfehlenswerte Netzteilschaltung entwickelt, die Generatorschaltung für die Röhren ECC 83 ausgelegt sowie die Montage der neuen Bürstenkontakte und ihre Schaltung ausgearbeitet. Auf diese Details soll zunächst eingegangen werden.

Die **Bilder 51** und **52** zeigen noch einmal im Zusammenhang die Schaltung einer größeren Orgel. Hier wurde als Beispiel die Orgel B mit Stummelpedal gewählt, jedoch gilt dasselbe auch für die übrigen Instrumente. Die im Bild 51 unten dargestellten Generatorausgänge A...a″″ sind mit kurzen Leitungen mit den im Bild 52 oben dargestellten entsprechenden Punkten zu verbinden. Die dort liegenden Widerstände 10 MΩ sind die Generatorausgangswiderstände und wie stets sämtlich noch im Generatorgehäuse innerhalb dessen Abschirmung unterzubringen, wie Bild 49 zeigt. Von hier führen lange, wild verlegte Leitungen zu den Tastenkontakten. Diese Leitungen werden, obwohl sie beim Spiel nicht bewegt werden, aus dünner, flexibler Litze angefertigt, die billig zu haben ist, die erforderliche Kapazitätsarmut besitzt und sich leicht verschieben läßt, wenn man einmal an einen Anschlußpunkt herankommen muß.

Zunächst sei das *Netzteil* betrachtet. Am Eingang desselben liegen ein Schalter und eine träge Sicherung. Danach schließt sich die Heizung des Generatorteils an. Die Röhre ECC 83 hat ja bekanntlich zwei Heizfäden, die man auch in Serie schalten kann, indem man Sockelanschluß 4 und 5 benutzt. Sie hat dann die Heizdaten 12,6 V/0,15 A.

Innerhalb jeder Kaskade werden alle Röhren in Serie geschaltet. Dadurch ergeben sich einfache Heizleitungen. Die Kaskade hat dann beim Generator mit sechs Oktaven die Heizdaten 37,8 V/0,15 A, und beim Generator mit acht Oktaven die

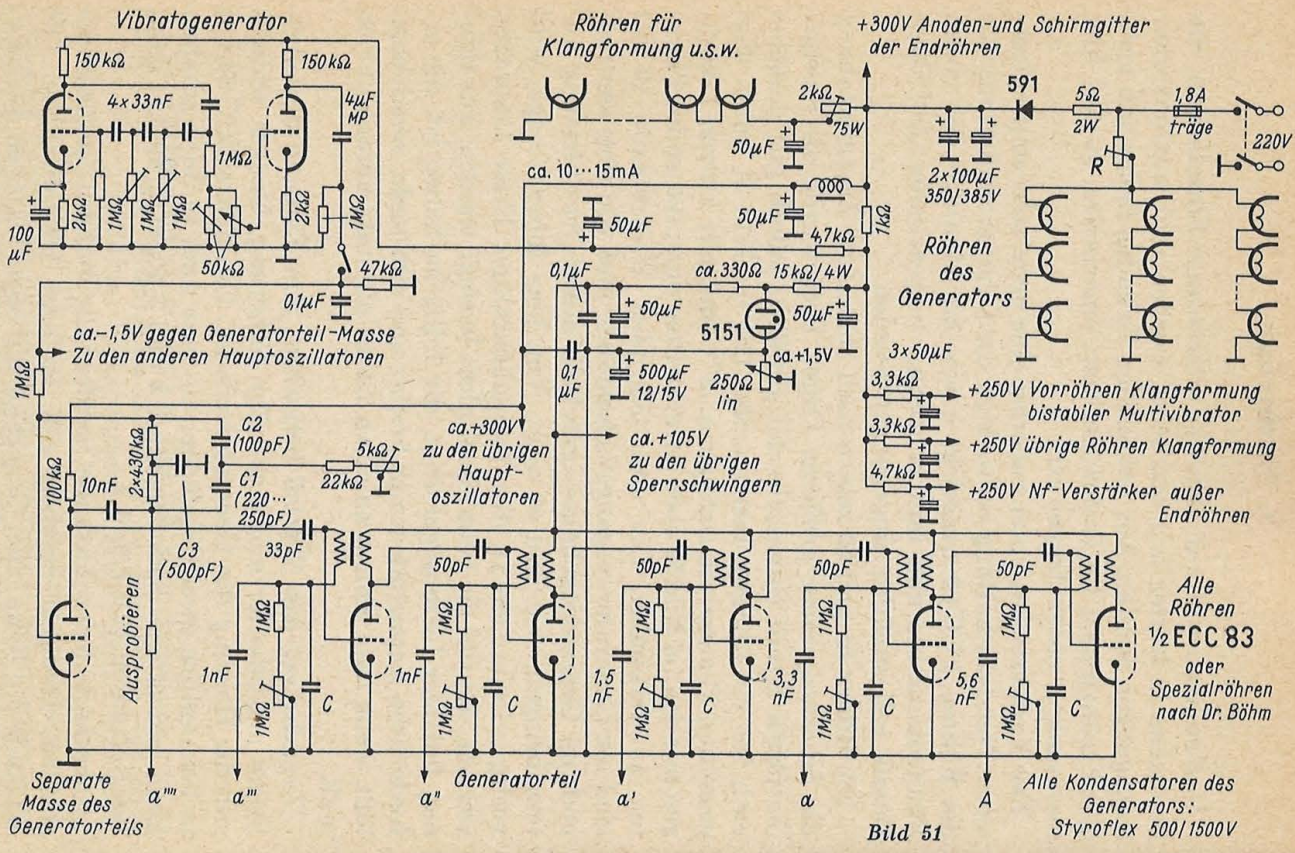


Bild 51

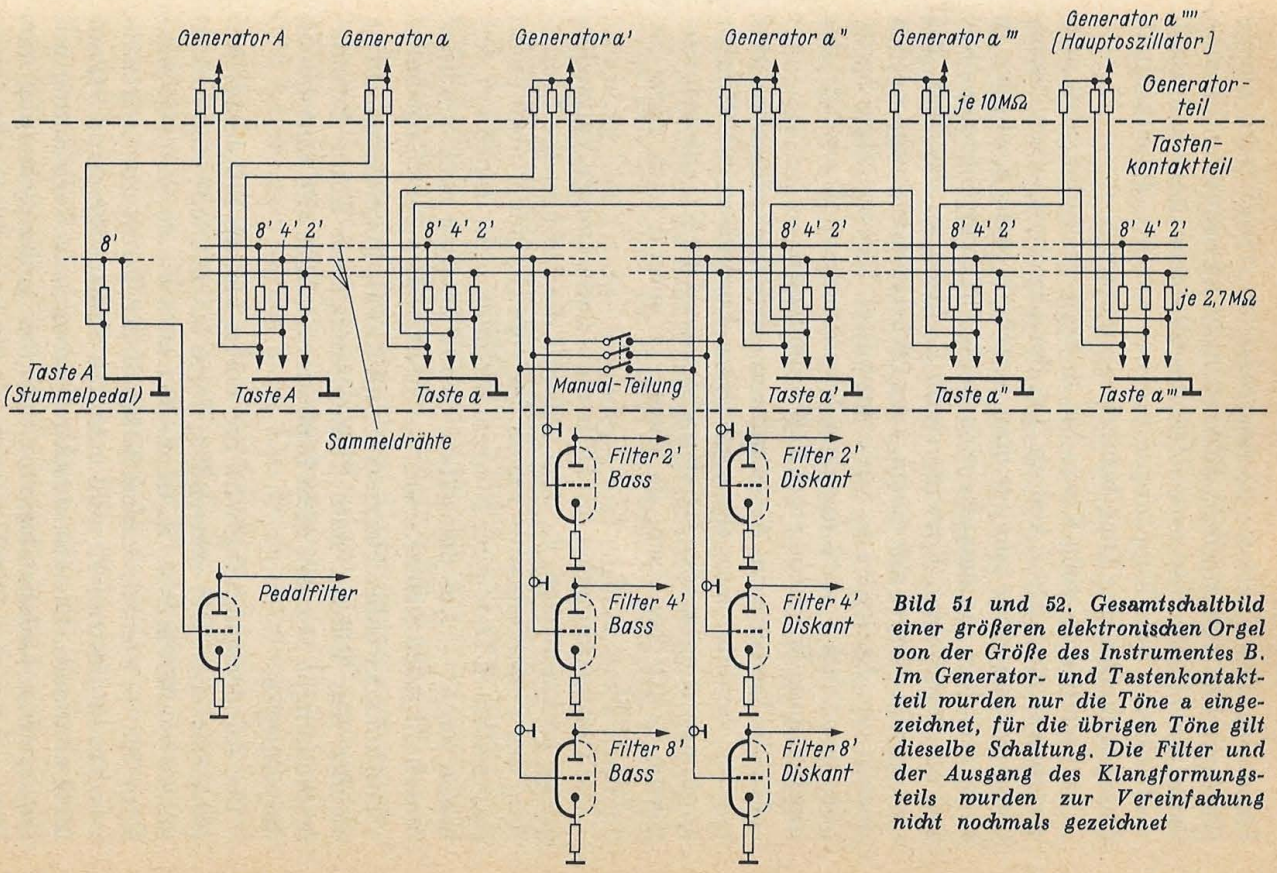


Bild 51 und 52. Gesamtschaltbild einer größeren elektronischen Orgel von der Größe des Instrumentes B. Im Generator- und Tastenkontaktteil wurden nur die Töne a eingezeichnet, für die übrigen Töne gilt dieselbe Schaltung. Die Filter und der Ausgang des Klangformungsteils wurden zur Vereinfachung nicht nochmals gezeichnet

Heizdaten 50,4 V/0,15 A. (Generatoren mit fünf oder sieben Oktaven sind für die ECC-Röhren nicht zweckmäßig, da man dann eine Röhre für zwei Hauptoszillatoren benutzen muß, wodurch sich hier Kopplungen ergeben können, die sich durch Unsauberkeiten der Töne bemerkbar machen.)

Nun werden so viele Kaskaden in Serie geschaltet, daß man gerade auf etwa 220 V kommt. Bei der Orgel mit einem Sechs-Oktaven-Generator schaltet man hierfür je sechs Kaskaden in Serie und legt die entstehenden beiden Heizstromkreise ohne den eingezeichneten Vorwiderstand R direkt an das Netz. Bei einer großen Orgel mit einem Acht-Oktaven-Generator werden jeweils vier Kaskaden in Serie geschaltet. Die benötigte Spannung von 201,6 V wird mit dem Vorwiderstand R erzeugt, der hierfür einen Wert von etwa 40 Ω haben muß.

Für die Vorversuche, die ja mit nur einer Kaskade ausgeführt werden, benötigt man einen größeren Vorwiderstand. Hierfür kann man zunächst den Heizvorwiderstand der Klangformungsröhren (2 kΩ) benutzen, da dieser ja vorerst noch nicht benötigt wird.

Die Heizspannung ist mit Hilfe eines hochohmigen Voltmeters genau nachzumessen, da man sich auf die rechnerische Ermittlung des Vorwiderstands wegen der vom Hersteller nicht exakt eingehaltenen Daten der Röhrenheizfäden nicht unbedingt verlassen kann. — Aus demselben Grund benutze man möglichst innerhalb jeden Stromkreises nur Röhren desselben Fabrikates.

Die hohe, zwischen Heizfaden und Katode liegende Spannung schadet den Röhren nach Herstellerangaben nicht. Brummerscheinungen wurden nicht beobachtet, zumal alle Katoden an Masse liegen.

Die Anodenspannung wird mit einem kleinen Siliziumgleichrichter erzeugt. Die verwendete Type Nr. 591 läßt eine Stromstärke von 500 mA zu. Es kann aber auch die doppelt so starke Type 592 verwendet werden, falls z. B. drei Endstufen eingebaut werden. In diesem Fall muß man den Schutzwiderstand 5 Ω auf 2,5 Ω abändern. Die Gleichrichter erzeugen in Verbindung mit dem großen Ladekondensator auch bei voller Belastung eine Spannung von ca. 300 V, was durch die hohe Scheitelspannung des Wechselstroms bedingt ist. Daher kann dem Anodenspannungsbedarf des Hauptoszillators und der Endstufen voll entsprochen werden, die bei der zu empfehlenden Verwendung einer Gegentaktstufe mit der EL 84 ebenfalls eine solche Spannung erfordern.

Wer einmal ausgerechnet hat, einen wie großen (und wie teuren) Netztransformator er für eine elektronische Orgel benötigt, der wird die neue Konstruktion bestimmt begrüßen. Die Auslegung der Orgel in Allstromtechnik bereitet keine Schwierigkeiten, da alle Bausteine berührungssicher in das Gehäuse eingebaut werden können. Für die Versuche polt man den Netzstecker so, daß das Chassis am geerdeten Netzpol liegt. Bei dieser Konstruktion vermeidet man auch den Ärger, den ein schadhaft werdender Netztransformator bereiten kann. Die Elektrolytkondensatoren zur Siebung der Anodenspannungen können von der preiswerteren 350/385-V-Ausführung sein. Das ganze Netzteil wird sehr leicht und billig.

Die Röhren des Klangformungsteils werden mit Gleichspannung geheizt, wozu sie wieder in Serie zu schalten sind. Die Schaltung bietet nichts besonderes und schließt Brummstörungen sicher aus.

Die Anodenspannungen für die einzelnen Bausteine der Orgel, mit Ausnahme der Endröhren, werden über besondere Siebglieder geleitet. Die Anodenspannung der Sperrschwinger wird mit Hilfe des Stabilisators 5151 auf etwa 105 V gehalten.

Auf überaus einfache Weise wird die Gittervorspannung der Hauptoszillatoren erzeugt. Hierfür dient das Potentiometer 250 Ω, mit dem auch die Gesamtstimmung der Orgel analog Bild 5 verändert werden kann. Das Potentiometer erzeugt eine Spannung von ca. + 1,5 V. Da jedoch eine negative Spannung als Gittervorspannung benötigt wird, legt man die Masse des Generatorteils auf diesen Punkt. Sie ist also gegenüber allen anderen gezeichneten Massepunkten 1,5 V positiv und darf mit diesen nicht verbunden werden. Die Gitterwiderstände der Hauptoszillatoren andererseits liegen über das Einspeiseglied der Vibratospannung auf Nullpotential und sind somit um etwa 1,5 V negativ gegenüber den Katoden. Die Schaltung wird also auch an diesem Punkt stark vereinfacht.

Der Vibratogenerator erhält ein Trimmpotentiometer 50 kΩ zur Einstellung der maximalen Vibratostärke, das dem Potentiometer für die Vibratostärke parallel liegt.

Die Widerstände des Doppel-T-Netzwerkes wurden auf die Röhre ECC 83 abgestimmt. Die ECC 82, die sich auch für den Generator hervorragend eignet, erfordert etwas andere Werte. Die Kondensatoren des Doppel-T-Netzwerkes sind für den Ton a'''' ausgelegt. Ihre Werte sind bis auf C 1 der Tabelle Bild 4b durch Halbieren wegen des um eine Oktave höheren Tons entnommen. Die Änderung von C 1 ist entsprechend auch bei den anderen Tönen erforderlich. Die Kondensatoren C 1, C 2 und C 3 sind jetzt als Satz erhältlich. Bei einem Generator mit acht Oktaven werden die halben C-Werte verwendet.

Die Kondensatoren C der Sperrschwinger werden nach Seite 99 durch Versuch ermittelt. *Bei manchen Röhrenfabrikaten* zeigt es sich, daß hin und wieder ein Ton sehr laut und schlecht zu intonieren ist. Abhilfe bringt ein Kondensator 50...300 pF parallel zur Gitterspule. Auch ein kleiner Gegenkopplungskondensator von der Anode zum Gitter kann statt dessen versucht werden sowie ein Widerstand parallel zu einer der Transformotorspulen.

Einfachste und sicherste Abhilfe bringt die Verwendung einer neuen Spezialröhre, die nach Maßgabe des Verfassers hergestellt wird und jetzt besonders preiswert erhältlich ist (vgl. Seite 116). Diese Spezialröhre läßt sich ohne weiteres anstelle der Type ECC 83 in die Generatorschaltung einsetzen. Sie erspart die im vorigen Absatz erwähnten Maßnahmen und ermöglicht in jedem Fall eine sehr leichte und rasche Intonation der Sperrschwinger nach Seite 99. Dieses Ermitteln und Einsetzen der frequenzbestimmenden Kondensatoren C in die Sperrschwinger läßt sich bei einer Kaskade mit fünf Teilerstufen ohne weiteres in 15 Minuten durchführen. Die Kaskade ist dann völlig einwandfrei abgeglichen und unbedingt konstant.

Die Kaskade läßt sich mit dem Trimmpotentiometer 5 kΩ am Hauptoszillator leicht auf den gewünschten Ton abstimmen. Der Stimmbereich wurde mit etwa ¾ Ton absichtlich klein gemacht, um die zur Einstimmung erforderlichen geringen Frequenzänderungen mit relativ großen Drehwinkeln erzielen zu können, so daß sich eine einfache Einstellung ergibt.

Wenn man beim Bau der Orgel die Tonhöhen der zwölf Kaskaden festlegt und dabei feststellt, daß man im einen oder anderen Fall den möglichen Stimmbereich noch ein wenig verschieben muß, so kann man dies leicht dadurch tun, daß man C 2 oder C 1 um bis zu 20 % vergrößert bzw. C 3 oder C 1 um diesen Betrag verkleinert. Es genügt also, nur einen dieser drei Werte geringfügig zu ändern. Im späteren Betrieb braucht die Orgel dann nur jedes Jahr einmal mit Hilfe der Trimmpotentiometer 5 kΩ nachgestimmt zu werden. Die Werte der zusätzlichen Auskoppelkondensatoren beim Acht-Oktaven-Generator betragen 1 nF und 5,6 nF. Alle Kondensatoren des Generatorteils werden am besten in Styroflex-Ausführung gewählt.

Der Tastenkontaktteil wurde mit den schon erwähnten *neuen Bürstenkontakten* bestückt, um dem Leser auch diese Methode im Zusammenhang zu zeigen. Wie beim Generator wurden nur die Töne a eingezeichnet, man muß also die Generator- und Tastenkontaktzeichnung mit 12 multiplizieren. Für jeden Halbton ist die Schaltung dieselbe. Als Fußlagen wurden hier die Chöre 8′, 4′ und 2′ eingebaut, wie es dem Instrument B entspricht. Für größere Orgeln gilt aber genau dasselbe. Ebenfalls gilt bei Verwendung der kapazitiven Kontakte dieselbe Anschaltung der Generatorausgänge an die Tastenkontakte.

Die in diesem Gesamtschaltbild etwas kompliziert wirkende Verdrahtung wird bei Betrachtung des **Bildes 53** übersichtlicher, das die Montage der Bürstenkontakte und ihre Schaltung zeigt. Die Einzelkontakte (insgesamt acht) liegen bei nicht gedrückter Taste über ein zum Bürstenkontakt gehörendes Kontaktblech und ein Stückchen flexibler Litze sämtlich an Masse. Somit liegen auch alle nichtbenutzten Generatorausgänge an Masse und können sich nicht gegenseitig beeinflussen. Abgeschirmte Leitungen sind nicht erforderlich.

Wird eine Taste gedrückt, so wird die Erdverbindung aufgehoben. Jeder der drei mit einer Taste gleichzeitig gedrückten Töne gelangt über den Entkopplungswiderstand 2,7 MΩ auf den zugehörigen Sammeldraht 8′, 4′ bzw. 2′. Der Leser mag bitte beachten, daß bei jeder Taste z. B. der 8′-Teilton an den

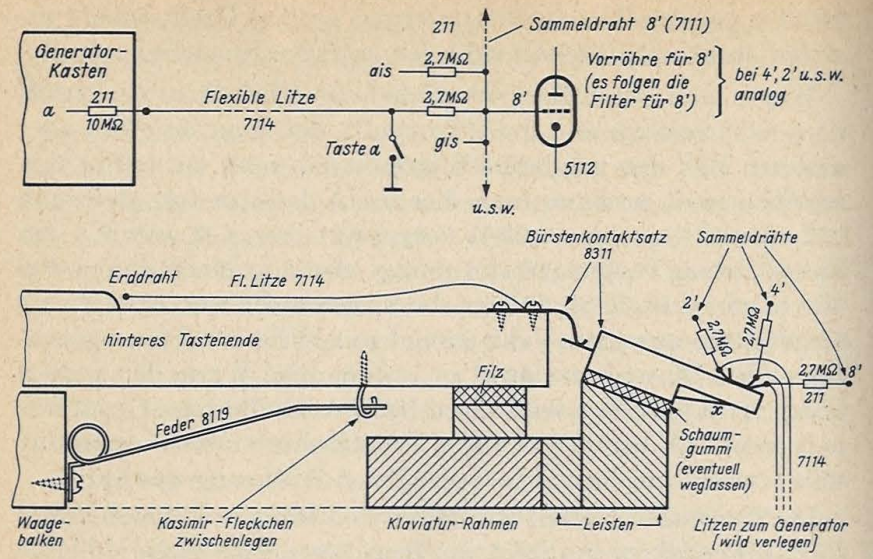


Bild 53. Schaltung und Montage der Bürstenkontakte.

Generator angeschlossen wird, der denselben Ton abgibt wie er der Taste entspricht, während der 4′-Teilton dem eine Oktave höheren Generator entnommen wird, der 2′-Teilton dem nochmals eine Oktave höheren. Auch die Repetition des 2′ ist zu erkennen. Dieselbe Schaltung gilt für die kapazitive Tastenkontaktmethode.

Die Sammeldrähte führen zu den entsprechenden Gittern der Klangformungs-Vorverstärkerröhren. Von hier ab wird sich jeder Leser selbst die weitere Schaltung nach den vorn gezeigten Einzelschaltbildern vorstellen können.

Ein Dreifachschalter dient zur Aufhebung der Manualteilung, er kann auch an die anodenseitigen Koppelkondensatoren am der Anode abgewandten Punkt angeschlossen werden.

Trotz relativ einfacher und billiger Herstellbarkeit kann die Orgel B mit einem großen Teil der heute angebotenen Industrieprodukte durchaus konkurrieren, denn Tonumfang und Klangformung haben ein beachtliches Niveau.

Das Instrument läßt sich durch Zufügen von 16' und 2 2/3' für die rechte Hand weiter ausbauen und kann ebenso gut auch als Spinett-Modell ausgeführt werden.

Nachwort

Das Klangbild der beschriebenen Orgeln erfreut immer wieder durch seine wohltuende Reichhaltigkeit. Durch den angenehmen Toneinsatz und die auf Brillanz und Vielseitigkeit, aber auch auf Natürlichkeit des Klangbildes ausgerichtete Konstruktion glaubt der Verfasser, zukunftssichere Wege aufgezeichnet zu haben. Er hofft, den Leser hinreichend in das Wesen der Elektronenorgel eingeführt zu haben.

Die Lektüre wird nicht immer leicht gewesen sein, da manches wegen der Fülle des Stoffes in gedrängter Form beschrieben werden mußte. Dem am Selbstbau interessierten Leser sei daher empfohlen, dieses Buch nochmals durchzulesen, damit nichts Wichtiges übersehen wird.

Das Buch soll dem am Selbstbau interessierten und vorgebildeten Leser dabei helfen, das gesteckte Ziel — bei etwas eigenem Mitdenken, etwas handwerklicher Fähigkeit und viel Ausdauer — sicher zu erreichen und Freude an seiner Arbeit und an der fertigen Orgel zu finden.

Daß der Zeitaufwand für den Selbstbau beträchtlich sein wird und sicher bei nebenberuflicher Tätigkeit mehrere Monate betragen dürfte, wird ohne weiteres einleuchten. Auch der Materialaufwand wird erheblich sein, obwohl in diesem Buch aus der Praxis heraus kostensparende Konstruktionen empfohlen wurden. Genaue Angaben über die zu erwartenden Kosten zu machen, ist naturgemäß nicht möglich, jedoch wird der Leser sich leicht selbst ausrechnen können, welche Einzelteile er noch anschaffen muß und welche Kosten hierdurch entstehen.

Selbstverständlich ist es für den Selbstbau sehr günstig, wenn der Leser sich schon eine gewisse Erfahrung im selbständigen Arbeiten erworben hat, jedoch wird auch der weniger Erfahrene bei den Vorversuchen so viel lernen, daß er das gesteckte Ziel erreichen kann, wenn er über technisches Geschick und Ausdauer verfügt und sich um gewissenhafte und saubere technische Arbeit bemüht. Hingegen lohnt es sich nicht, halb provisorisch und allzu billig zu bauen.

Nachdem nun hinreichend auf die bautechnischen Probleme hingewiesen wurde, sei nun auch erwähnt, welche Freude der

Selbstbau einer elektronischen Orgel und vor allem das gelungene Werk bereiten. Der Verfasser kann hier nicht nur aus eigener Erfahrung berichten, sondern er verfügt auch von seinen bisherigen Veröffentlichungen her über einen engen Kontakt mit so vielen begeisterten Lesern, daß er versichern möchte: Die für den Selbstbau einer Elektronenorgel aufgewandte Mühe lohnt sich! Die Freude, etwas Besonderes und Großes geschaffen zu haben, und insbesondere das Musizieren auf einem solchen Instrument, beschenken uns — nach des Alltags Mühe und Eintönigkeit — immer wieder reichlich. (Außerdem setzt sich ja auch die Erkenntnis durch, daß eine solche aktive Freizeitbeschäftigung ganz allgemein für den Menschen nach physischen Gesichtspunkten wertvoller ist als jeder passive Zeitvertreib.) Doch nicht nur die Spieler, sondern auch die Zuhörer loben immer wieder die hier empfohlenen Konstruktionen. Diese wurden klanglich so ausgebildet und entwickelt, daß auch ein verwöhntes und sachverständiges Ohr an dieser Art Musik seine Freude findet. Der Leser kann also versichert sein, daß ihm hier wirklich ausgewählte und bewährte Konstruktionen empfohlen wurden.

Neben der musikalischen Qualität wurden auch die technische Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit viel gelobt. Im folgenden seien daher einige wenige Stellen aus Leserzuschriften zitiert, die sich auf den Vorläufer dieses Büchleins, die schon erwähnte Aufsatzfolge des Verfassers (1) beziehen:

... Daß dies ein fabelhaftes Instrument werden wird, ahnte ich schon während des Baues, daß es aber so gut klingen wird, wußte ich noch nicht, es übertrifft alle meine Erwartungen. Ich habe die Orgel für mich gebaut und in Musikfachkreisen damit schon Aufsehen erregt ...

... Die Orgel funktioniert so hervorragend und klingt selten schön, daß ich mich unbedingt bei Ihnen bedanken und Sie dies wissen lassen wollte ...

... Obwohl erst das obere Manual benutzt werden konnte und überhaupt noch keine Klangformung eingebaut ist, gefiel der Vortrag und das Instrument wurde allgemein bestaunt ...

... Erfolg großartig ... Die Synchronisation ist ausgezeichnet fest ... Röhrenwechsel ändert nichts an der Stimmung ...

Völlige Tonkonstanz auch bei künstlich erzeugten Netzschwankungen zwischen 165 und 240 Volt ...

... Besonders gelobt wurden der klickfreie und sehr angenehme Toneinsatz sowie die besondere Klangschönheit des Instrumentes ...

... Die Hauptoszillatoren sind tatsächlich ganz erstaunlich konstant, und die Frequenzteiler werden einwandfrei mitgenommen ...

... Meine Orgel war für mich das schönste Weihnachtsgeschenk, das ich je hatte, und schließlich verdanke ich dieses Gelingen Ihrer wirklich guten Artikelreihe ...

... Der Selbstbau einer Orgel rentiert sich sehr, was bei einem Fernsehgerät nicht der Fall wäre ...

... Die Orgel fand bei der Allgemeinheit solchen Anklang, daß ich bei allen Veranstaltungen im Fasching, die bei uns nur jeden Samstag waren, engagiert war. Auf diese Weise brachte ich bereits 38% der Gesamtkosten der Orgel wieder herein. Diesen Erfolg hatte ich mir beim Bau der Orgel nicht erträumt. Vor allem hatte ich nie Versager, jeder Ton funktionierte einwandfrei. Selbst wenn ich die Orgel 10 Stunden in Betrieb hatte, war keine Veränderung oder Verstimmung zu beobachten ...

... Besonders zu loben sind die einmalig schönen Klangfarben ...

Diese kleine Zuschriftenauswahl möge dazu beitragen, möglichst viele Interessenten zum Selbstbau anzuregen.

Der Verfasser erhielt nach Erscheinen der ersten Auflage von seinen Lesern und Kunden wiederum viele zufriedene und begeisterte Zuschriften. Insbesondere wurden auch die jetzt lieferbaren kompletten Bausätze gelobt, die es auch dem weniger Erfahrenen oder beruflich stärker Beschäftigten ermöglichen, sich eine hochwertige und moderne elektronische Orgel selbst zu bauen (siehe Hinweis auf Seite 116). Die neue Auflage dieses aus der Praxis für die Praxis geschriebenen Buches möge weiterhin dazu beitragen, dem Leser neben dem theoretischen Verständnis viel Freude am Selbstbau sowie guten Erfolg zu vermitteln.

Frequenztabelle der musikalischen Töne (Orchester-Stimmung)

Note	Frequenz [Hz]	Note	Frequenz [Hz]	Note	Frequenz [Hz]
A	27,5	g	196,0	f^3	1396,8
Ais	29,1	gis	207,7	fis^3	1480,0
H	30,9	a	220,0	g^3	1568,0
C	32,7	ais	233,1	gis^3	1661,4
Cis	34,7	h	246,9	a^3	1760,0
D	36,7	c^1	261,6	ais^3	1864,8
Dis	38,9	cis^1	277,2	h^3	1975,6
E	41,2	d^1	293,7	c^4	2093,0
F	43,7	dis^1	311,2	cis^4	2217,6
Fis	46,3	e^1	329,7	d^4	2349,6
G	49,0	f^1	349,2	dis^4	2489,2
Gis	51,9	fis^1	370,0	e^4	2637,2
A	55,0	g^1	392,0	f^4	2793,6
Ais	58,3	gis^1	415,4	fis^4	2960,0
H	61,7	a^1	440,0	g^4	3136,0
C	65,4	ais^1	466,2	gis^4	3322,8
Cis	69,3	h^1	493,9	a^4	3520,0
D	73,4	c^2	523,3	ais^4	3729,6
Dis	77,8	cis^2	554,4	h^4	3951,2
E	82,4	d^2	587,4	c^5	4186,0
F	87,3	dis^2	622,3	cis^5	4435,2
Fis	92,5	e^2	659,3	d^5	4699,2
G	98,0	f^2	698,4	dis^5	4978,4
Gis	103,8	fis^2	740,0	e^5	5274,9
A	110,0	g^2	784,0	f^5	5587,2
Ais	116,6	gis^2	830,7	fis^5	5920,0
H	122,5	a^2	880,0	g^5	6272,0
c	130,8	ais^2	932,4	gis^5	6645,6
cis	138,6	h^2	987,8	a^5	7040,0
d	146,9	c^3	1046,5	ais^5	7459,2
dis	155,6	cis^3	1108,8	h^5	7902,4
e	164,8	d^3	1174,8	c^6	8372,0
f	174,6	dis^3	1244,6		
fis	185,0	e^3	1318,6		

a^1 = 440 Hz ist der sogenannte „Kammerton a". Neben der hier angeführten „Orchesterstimmung" ist auch die „Internationale Stimmung" gebräuchlich. a^1 liegt hier bei 435,5 Hz. c^1 ist das mittlere c der Klaviertastatur, welches meist in der Nähe des Schlosses für den Klappdeckel liegt.

Literatur

1. *Dr. Böhm, R. H.:* Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau. FUNKSCHAU 1960, Hefte 2, 3, 4, 5 und 7
2. *Bagally, W.:* The Hammond organ, a new electro acoustical musical instrument. Wireless World 41, 1937, Seite 134...136
   Die Hammond-Orgel. Elektrotechnik und Maschinenbau 56, 1938, Seite 128
3. *Kwasnik, W.:* Die Bauprinzipien der Elektronenorgeln. Instrumentenbauzeitschrift 7, 1953, Heft 8, Seite 125...128. Näheres ist direkt vom Verfasser dieses Buches zu erfahren
4. *Limann, O.:* Klanganalyse nach dem Suchtonverfahren. FUNKSCHAU 1955, Heft 7, Ingenieurbeilage Nr. 3
5. *Schneider, R.:* Die Widerstand-Kondensator-Schaltung (Radio-Praktiker-Bücherei Band 60). Franzis-Verlag, München, Abschnitt IV d
6. *Sala, O.:* Subharmonische elektrische Klangsynthesen. Klangstruktur der Musik (Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin), 1955, Seite 89
7. *Grabner, H.:* Die Kunst des Orgelbaues. (Max Hesses Verlag, Berlin, 1958)
   Klotz, H.: Das Buch von der Orgel. (Bärenreiter-Verlag, Kassel und Basel, 1960)
8. *Dr. Lottermoser, W.:* Akustische Untersuchungen an alten und neuen Orgeln. Klangstruktur der Musik (vgl. Nr. 6), S. 47
9. *Douglas, A.:* The Baldwin electronic organ. Electronic Engineering 22 (1950), Dezemberheft, Seite 507...511
10. *Schreiber, E.:* Die Ausgleichsvorgänge in der Musik und deren synthetische Nachbildung bei elektronischen Musikinstrumenten. Radio und Fernsehen 6 (1957), Heft 13, 14 und 15
11. *Kühne, F.:* Hall- und Echoeffekte bei Tonaufnahmen, FUNKSCHAU 1960, Heft 15, Seite 389
    Meijer jr., H. und *Heggie, W.:* Elektronische Muziekinstrumenten. (Verlag De Muiderkring N. V. Bussum)
12. *Strassner, R. M.:* Gas-Diode Electronic Organ. Electronics Januar 1951, Seite 70
13. *Dorf, R. H.:* Electronic Organ Uses Neon Tone Generators. Electronics eng. issue 29. Aug. 1958, Seite 36
14. *Dorf, R. H.:* Weitere Aufsätze in Radio and Television News, Nov. 1953, Dez. 1953, Jan. 1954
15. *Kühne, F.:* Hi-Fi-Schaltungs- und Baubuch (Radio-Praktiker-Bücherei 85). Seite 58 (Franzis-Verlag, München)
16. *Goodel, J. D.:* Design of a Pipeless Organ. Electronics, Aug. 1949, Seite 92
17. *Hammer, H.:* Tonfrequenzschalter für elektronische Musikinstrumente. Bundespatentanmeldung 51f 1/01 H 24754 (DAS 1037238)
18. *Germañ, W.* und *Sala, O.:* DRP Nr. 628687: 51f/201 v. 26. 3. 36
19. *Dorf, R. H.:* Electronic Musical Instruments. 2nd. Edition (New York)
20. Das vollelektronische Musikinstrument „Solovox". FUNKSCHAU 1953, Heft 11, Seite 197

Stichwortverzeichnis

A

Abkling-Nachhall 29
Additives Verfahren 15, 23 ff, 27, 36, 37, 39, 59 ff, 62
Aliquoten 23, 61, 62
Aufbau 105

B

Barockorgel 20
Bausätze 116
Bürstenkontakte 103, 124

D

Dauertonverfahren 36

E

Einschwingvorgänge 21, 29, 36, 56
Einzelteilauswahl 97
Endverstärker 30, 74
Entwurf 33

F

Feste Kombinationen 35, 85, 91
Filter 26
Formanten 14 ff, 24
Freie Kombinationen 35, 71, 73, 90
Frequenztabelle 128
Frequenzteiler 9, 39 ff, 43, 45

G

Geätzte Schaltungen 114, 116
Gedackte 17
Generatorausgänge 42, 43 ff, 48, 50, 63, 78
Generatoren 7, 8, 9, 24, 36 ff, 60, 97, 109
Gesamtstimmkopf 37, 121
Gittervorspannungserzeugung 37, 121
Grundton 12 ff, 24

H

Hammondorgel 7, 23 ff, 25 ff, 27
Harmonische siehe „Grundton“ und „Obertöne“
Hauptoszillator 9, 36 ff, 43, 44, 45, 51
Heizung 51 ff

I

Industriell hergestellte Instrumente 31
Instrument A 64 ff
Instrument B 67 ff, 117
Instrument C 77 ff
Instrument C 1 82 ff
Instrument D 81 ff
Intonieren 99, 122

K

Klangfarbe 12 ff
Klangformungsteil 11, 58, 77, 100
Klaviaturen siehe „Manuale“
Klaviaturteilung 65, 71, 78, 107
Konstanz 48, 94, 99

L

Lautsprecher 30, 74
Lautstärkenbeeinflussung 28, siehe auch „Schweller“

M

Mandolineneffekt 32
Manuale 33
Mixturen 19, 60, 62, 80, 81
Multiplexorgel 23

N

Nachhall 29, 61, 94
Netzteil 117

O

Obertöne 12 ff, 22, 24
Obertonregister 9, 10, 18 ff, 22, 23, 33, 44, 48, 53, 60, 61, 71
Oktavsynchronisation 9, 36, 41

P

Pedal 24, 35, 36, 53, 64, 74, 80, 108
Perkussion 29, 91 ff
Pfeifenorgel 15 ff
Phasenschiebergenerator 43, 50, 54
Planung 33

R

Rechteckschwingungen 14, 17, 71, 72, 76, 88
Register 16 ff, 44
Registerschalter 101 ff
Repetition 19, 24, 60, 62, 63, 123
Röhrenauswahl 51, 122

S

Sägezahnschwingungen 14
Schweller 28, 85, 103
Schwingungserzeugung 7
Selektives Verfahren 23 ff, 25 ff, 27, 34, 59 ff, 62, 68
Sesquialter 61, 62
Sparschaltungen 8
Sperrschwinger 40, 48, 51
Spezialröhren 122
Spielhilfen 90
Spinett-Modell 32, 73
Stereofone Wiedergabe 11, 30, 74
Stimmen 37, 46, 47, 114
Stummelpedal siehe Pedal
Synchronisation 36, 41, 98

T

Tastenkontakte 11, 24, 44, 55 ff, 58, 63, 76, 99, 100, 103, 106, 110, 123, 124
Temperierte Stimmung 22, 25, 114
Toneinsatz 29, 34, 56
Transistorschaltungen 45 ff, 87 ff

U

Universalfilter 68, 69
Unterhaltungsmusik 32

V

Verschmelzung 19, 23, 25
Vibrato 10 ff, 28, 36, 37, 47, 54
Vorversuche 97

Z

Zupfklänge siehe „Perkussion“

Wer sich mit dem Bau elektronischer Musikinstrumente befaßt, wird aus gründlicher Kenntnis der Niederfrequenztechnik und Elektroakustik großen Nutzen ziehen. Folgende Radio-Praktiker-Bände vermitteln diese Kenntnisse:

GUSTAV BÜSCHER

Kleines ABC der Elektroakustik

Ein Taschen-Lexikon der Fachausdrücke mit zahlreichen Tabellen.
148 Seiten, 132 Bilder, 52 Tabellen. 5. Auflage. Kart. **5.— DM**

Dr.-Ing. FRITZ BERGTOLD

Moderne Schallplattentechnik

Eine Zusammenfassung der Technik einschl. Stereo aus dem Gesichtswinkel des Plattenbenutzers.
264 Seiten, 288 Bilder. 2. Auflage. Kart. **7.60 DM**, in Ganzleinen **8.90 DM**

Ing. FRITZ KÜHNE und KARL TETZNER

Kleines Stereo-Praktikum

Alles Wissenswerte über die stereofonischen Rundfunk- und Schallplatten-Verfahren, dazu erprobte Schaltungen und wertvolle Erfahrungen.
132 Seiten, 99 Bilder. 2. Auflage. Kart. **5.— DM**

Ing. FRITZ KÜHNE

Vielseitige Verstärkergeräte für Tonaufnahme und Wiedergabe

128 Seiten, 60 Bilder. 12. Auflage. Kart. **5.— DM**

Meß- und Schaltungspraxis für Heimton und Studio

68 Seiten, 33 Bilder, 6 Tabellen. 4. Auflage. Kart. **2.50 DM**

Hi-Fi-Schaltungs- und -Baubuch

64 Seiten, 33 Bilder, 3 Tabellen. 7. Aufl. in Vorbereitung.
Kart. **2.50 DM**

Mono-, Stereo- und Transistor-Mikrofone

Aufbau, Verwendung und Selbstbau
120 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 7. Auflage. Kart. **5.— DM**

Preisänderungen vorbehalten

FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN

Fortsetzung der zweiten Umschlagseite

66/67 **Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure** II. Teil (Ing. H. F. Steinhauser). 5. Aufl., 128 Seiten, 52 Bilder.

68/70 **Formelsammlung für den Radio-Praktiker** (Dipl.-Ing. Georg Rose). 9. Aufl., 168 Seiten, 183 Bilder.

71 **Bastelpraxis** Band I. Allgemeine Arbeitspraxis (Werner W. Diefenbach). 6. Aufl., 64 Seiten, 50 Bilder, 2 Tabellen.

72/73 **Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen** (Karl Schultheiss). 4. Aufl., 128 Seiten, 76 Bilder.

74 **Einkreis-Empfänger** mit Röhren und Transistoren (H. Sutaner). 5. Aufl., 68 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen.

76 **Bastelpraxis** Band II. Theoretische und praktische Grundlagen (Werner W. Diefenbach). 6. Aufl. 76 Seiten, 93 Bilder, 11 Tabellen.

77/77a **Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt** (Ernst Nieder). 5. Aufl., 120 Seiten, 94 Bilder, 2 Tab.

79/79a **Bastelpraxis** Band III. Praktischer Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (Werner W. Diefenbach). 6. Auflage, 144 Seiten, 149 Bilder.

80/80b **Das Spulenbuch — Hochfrequenzspulen** (H. Sutaner). 4. Aufl., 192 Seiten, 108 Bilder und Schaltungen, 16 Tabellen, 15 Nomogramme.

81/83 **Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik** (Kurt Leucht). 7. Aufl., 272 Seiten, 169 Bilder, viele Tabellen.

84 **Fernsehantennen-Praxis** (Herbert G. Mende). 9. Aufl., 68 Seiten, 43 Bilder, 6 Tabellen.

86/87 **Berufskunde des Radio- und Fernsehtechnikers.** Vom Lehrling zum Meister (Dipl.-Ing. Georg Rose). 2. Aufl., 144 Seiten, 2 Tafeln.

89/90a **Autoempfänger.** Einbau, Antennen u. Funkentstörung (Eckhard-Heinz Manzke). 2. Auflage, 192 Seiten, 149 Bilder, 16 Tabellen.

93/94 **Transistorschaltungen für die Modellfernsteuerung** (H. Bruß). 4. Aufl., 128 Seiten, 102 Bilder, 8 Tab.

95/96 **Fotozellen und ihre Anwendung** (L. Beitz und H. Hesselbach). 3. Aufl., 128 Seiten, 103 Bilder, 6 Tabellen.

97/98 **Kleines Stereo-Praktikum** (Ing. Fritz Kühne u. Karl Tetzner). 2. Aufl., 132 Seiten, 99 Bilder.

99 **Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen?** (H. Sutaner). 4. Aufl., 64 Seiten, 87 Bilder.

100 **Daten- und Tabellensammlung für Radiopraktiker** (H. G. Mende). 2. Aufl., 96 Seiten, 40 Bilder, 50 Tabellen.

101/102 **Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau** (Dr. Rainer H. Böhm). 3. Aufl., 132 Seiten, 53 Bilder.

103 **Die Wobbelsender.** Aufgaben und Schaltungstechnik (H. Sutaner). 2. Aufl., 64 Seiten, 40 Bilder.

104 **Transistorsender für die Fernsteuerung** (H. Bruß). 2. Aufl., 68 Seiten, 50 Bilder, 4 Tafeln, 2 Nomogramme.

105 **Lautsprecher u. Lautsprechergehäuse für HiFi** (Dipl.-Ing. H. H. Klinger). 3. Auflage, 76 Seiten, 63 Bilder.

106/107 **Netztransformatoren und Drosseln.** Berechnung und Bau (Dr.-Ing. Paul E. Klein). 128 Seiten, 54 Bilder, 52 Tabellen.

108 **Amateurfunk-Superhets.** Planung und Selbstbau (G. E. Gerzelka). 64 Seiten, 13 Bilder, 8 Tabellen.

109/110 **Transistor-Amateurfunkgeräte für das 2-m-Band.** Schaltungstechnik und praktischer Aufbau (J. Reithofer). 120 Seiten, 108 Bilder.

111/112 **Meßinstrumente und ihre Anwendung.** Kleine Meßkunde für Radio- u. Fernseh-Praktiker (W. M. Köhler). 128 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen.

113 **Elektronische Experimente** (G. Büscher). 68 Seiten, 86 Bilder, 2 Tab.

115/116 **Elektronische Schaltungen mit Fotozellen** (Wilhelm Hennig). 160 Seiten, 112 Schaltbilder, 6 Tabellen.

117/118 **Einseitenbandtechnik für den Funkamateur** (Friedhelm Hillebrand). 128 Seiten, 118 Bilder, 12 Tabellen.

119/120 **Gedruckte Schaltungen** (Hans Sutaner). 128 Seiten, 49 Bilder, 2 Tabellen.

Nach und nach sollen alle Radio-Praktiker-Bücher als **Cellu-Bände** erscheinen. Verlangen Sie bitte das ausführliche Verzeichnis!

BÖHM, DR. RAINER H.

101/102

Elektronische Orgeln und ihr Selbstbau 3. Auflage Doppel-Band

Im Grundsätzlichen seit Jahrzehnten bekannt — es sei an die Hammond-Orgel und an das Trautonium erinnert — fanden die elektronischen Musikinstrumente, insbesondere als elektronische Orgeln, in letzter Zeit ein immer größer werdendes Interesse. Man will nicht nur Näheres über Aufbau und Arbeitsweise erfahren, sondern auch Angaben für den Selbstbau erhalten. Der eigenschöpferischen Tätigkeit steht hier ein großes, vielseitiges Gebiet offen, und um die Interessenten vor Fehlschlägen zu bewahren und sie den richtigen Weg zu weisen, werden in diesem Buch umfangreiche Erfahrungen beim Entwurf und Bau mehrerer Elektronenorgeln vermittelt. Besonders erfreulich, daß in den beschriebenen Schaltungen nicht nur Röhren, sondern auch Transistoren verwendet werden, und daß die Bauvorhaben Dank einer Material- und Beratungshilfe des Autors bei einigem Eifer zuverlässig zum Erfolg geführt werden.

Während der Schulzeit widmete sich der Verfasser – geboren 1928 in Hirschberg – lieber technischen Problemen wie dem Bau von Radiogeräten und Verstärkern, als den pflichtgemäßen Klavierstunden. Erst als er bei seinem Physikstudium in Marburg den Geheimnissen der Orgel und den Problemen der elektronischen Tonerzeugung näherkam, wuchs auch seine Liebe zur Musik, und bald entstand die erste selbstgebaute elektronische Orgel, der schnell immer bessere und größere folgten.

Die gesammelten Erfahrungen nutzt er jetzt im eigenen Gewerbebetrieb beim Bau und bei der Weiterentwicklung dieser Instrumente. Daneben fördert er bei einem größeren Interessentenkreis den Selbstbaugedanken durch allgemeine Bekanntgabe seiner Konstruktionen und den Vertrieb geeigneter Bauteile.

RADIO-PRAKTIKER VTM BÜCHEREI