

# FUNKTECHNISCHE MONATSHEFTE



Monatsausgabe des „Funk-Bastler“

Herausgegeben von Dr. P. Gehne und Prof. G. Leithäuser

HEFT 5 

---

---

 MAI 1933

W. Saraga war Mitarbeiter des HHI

# Das Trautonium

## Anleitung zum Aufbau und zu Versuchen

Von W. Saraga

Von den rein elektrischen Instrumenten — also abgesehen vom elektrischen Klavier, der elektrischen Geige usw. — sind der Ätherwellenapparat und das Trautonium auf dem Wege vom Laboratoriumsgerät zum Publikumsinstrument am weitesten fortgeschritten. Trotzdem kann einstweilen von einem Abschluß der technischen Entwicklung noch keine Rede sein, und alle Bauanweisungen für elektrische Instrumente laufen daher vorläufig noch in höherem Maße, als das bei Baubeschreibungen von Empfangsgeräten der Fall ist, Gefahr, bald durch den Fortschritt der Entwicklung überholt zu werden. Aus diesem Grunde soll in dem vorliegenden Aufsatz über das Trautonium noch keine eigentliche Bauanweisung gegeben, sondern zunächst die bisherige Entwicklung des Trautoniums dargestellt werden. Dadurch soll der Leser angeregt werden, die verschiedenen Schaltungen und Konstruktionen einmal selbst durchzuprüfen, auch wenn sie heute zum Teil als überholt gelten müssen, um auf diese Weise seinen Blick für weitere Verbesserungsmöglichkeiten zu schärfen. In einem weiteren Aufsatz soll dann eine genaue Beschreibung eines speziell für den Bastler entwickelten Gerätes folgen, die den neuesten Stand der Entwicklung des Trautoniums darstellen wird.

In einem früheren Aufsatz<sup>1)</sup> ist erklärt worden, was Klangfarbe ist, und auf welche Weise Trautwein Töne mit beliebigen Klangfarben auf elektrischem Wege erzeugt. Der Inhalt dieser Arbeit kann hier nur zusammenfassend noch einmal angedeutet werden. Das Trautweinsche Verfahren besteht darin, mit Hilfe einer elektrischen Grundschwingung, die aus einzelnen periodisch aufeinander folgenden Stößen besteht, Schwingungskreise höherer Frequenz, die Formantkreise, zu gedämpften, also abklingenden Eigenschwingungen anzustößen. Der durch Überlagerung der Grundschwingung und der gedämpften Eigenschwingungen entstehende Strom erzeugt in einem Lautsprecher den gewünschten Klang, wobei sich zeigt, daß die Frequenz der Grundschwingung die Tonhöhe des Klages, die Frequenz und die Dämpfung der Eigenschwingungen seine Klangfarbe bestimmen. Ändert man also bei gleichbleibender Einstellung der Formantkreise die Grundfrequenz, so erhält man eine Reihe von Tönen verschiedener Tonhöhe, aber gleichbleibender Klangfarbe, also Töne, die einem einzigen Instrument anzugehören scheinen. Ändert man dagegen bei gleichbleibender Frequenz der Grundschwingung die Frequenz oder die Dämpfung der Formantkreise, so ändert sich bei gleichbleibender Tonhöhe die Klangfarbe, und man gewinnt den Eindruck, daß gleiche Töne nacheinander auf verschiedenen Instrumenten gespielt werden.

Zur Erzeugung der Grundschwingung wird ein aus Kondensator, Widerstand und Glimmlampe bestehender Kippgenerator verwendet, dessen Wirkungsweise auf der merkwürdigen Eigenschaft der Glimmlampe beruht, daß ihr Widerstand bei Erhöhung der Betriebsspannung, sobald die Zündspannung erreicht ist, sprunghaft abnimmt und bei abnehmender Spannung, sobald die Löschspannung erreicht ist (die erheblich niedriger als die Zündspannung ist), wieder sprunghaft den ursprünglichen Wert annimmt. Die Frequenz der Kipperschwingung hängt von der zur Verfügung stehenden Betriebsgleichspannung, von der Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung sowie von der Größe des Kondensators und des Widerstandes ab. Das Instrument ist so eingerichtet, daß der Spieler durch Niederdrücken eines Metallbandes oder -drahtes einen größeren oder kleineren Teil eines Widerstandes einschaltet, der ent-

weder selbst als Ladewiderstand des Kippgenerators geschaltet ist oder aber zur Regelung der Gittervorspannung einer Verstärkerröhre dient, die ihrerseits als Ladewiderstand des Kippgenerators geschaltet ist. Die Grundschwingung wirkt über einen Transformator und eine Verstärkerröhre auf die Formantkreise ein. Die Lautstärke-Regelung findet im angeschlossenen Niederfrequenzverstärker statt.

Die vorstehend noch einmal zusammengefaßte Beschreibung bezieht sich auf eine Ausführungsform des Gerätes, die von Trautwein in seinem Buch „Elektrische Musik“<sup>2)</sup> im Jahre 1930 beschrieben worden ist. Seitdem ist an der Verbesserung des Trautoniums weitergearbeitet worden, und neben vielen Einzelheiten ist der Kippgenerator grundlegend geändert worden. An Stelle einer gewöhnlichen Glimmlampe wird eine gasgefüllte Dreielektrodenröhre mit Glühkathode, eine sogenannte Thyatronröhre, verwendet. Die Zündspannung zwischen Kathode und Anode dieser Glimmlampe mit drei Elektroden kann durch Änderung der Gitterspannung beeinflusst werden, und zwar derart, daß die Zündspannung um so mehr abnimmt, je größer die positive Gitterspannung wird; die Löschspannung bleibt dabei unverändert. Die Eigenschaften solcher gasgefüllten Röhren sind ausführlich in einem Aufsatz von E. Lübcke<sup>3)</sup> beschrieben worden. Uns genügt die Kenntnis der Veränderlichkeit der Zündspannung, und wir erinnern uns daran, daß die Frequenz eines Kippgenerators von der Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung abhängig ist. Die Spannung an dem zur Glimmlampe parallel liegenden Kondensator pendelt nämlich zwischen ihrer Zünd- und Löschspannung hin und her, so daß die Schwingungsdauer um so größer ist, je weiter Zünd- und Löschspannung voneinander entfernt sind. Man kann daher bei Verwendung einer Thyatronröhre als Glimmlampe die Kippfrequenz durch Änderung der Gitterspannung des Thyatrons steuern.

In Abb. 1 sind die verschiedenen grundsätzlichen Schaltungsmöglichkeiten des Kippgenerators nebeneinander dargestellt. Abb. 1 a zeigt die ursprüngliche Blinkschaltung, bei der die Frequenz durch Änderung des Ladewiderstandes  $W_1$  eingestellt wird.  $W_2$  ist ein Schutzwiderstand. Abb. 1 b gibt die ursprüngliche Generatorschaltung des Trautoniums wieder, in der  $W_1$  durch eine Dreielektrodenröhre  $V$  ersetzt ist, deren von der Gitterspannung abhängiger innerer Widerstand mit Hilfe eines Widerstandes oder Potentiometers  $W_3$  geändert wird. Aus Abb. 1 c ist die neue Schaltung des Trautoniumgenerators ersichtlich, in der die Glimmlampe durch das Thyatron  $T$  ersetzt ist und an Stelle der Laderöhre aus Abb. 1 b ein fester Widerstand wie in Abb. 1 a verwendet wird. Zur Regelung der Frequenz wird die Gittervorspannung des Thyatrons mit Hilfe eines Potentiometers oder Widerstandes  $W_3$  geändert.

Die Schaltung in Abb. 1 a ergibt die im vorigen Aufsatz bereits diskutierte unerwünschte Tonhöhenverteilung. Die Schaltung 1 b hat ebenfalls einen sehr störenden Nachteil. Die gewöhnlichen in Sendern und Empfängern benutzten Röhren haben ein sehr großes Vakuum, sie sind — aus Gründen, die hier nicht weiter erörtert werden sollen — so weit wie möglich ausgepumpt. Die Höhe dieses Vakuums ändert sich nun manchmal während des Betriebes in unregelmäßiger Weise dadurch, daß aus dem metallischen Wandbelag und den Elektroden Gasmoleküle austreten.

<sup>2)</sup> Weidmannsche Buchhandlung, Berlin SW 68, Preis 1 RM.

<sup>3)</sup> Vgl. Elektrotechnische Zeitschrift, 1931, H. 50. „Gasgefüllte Verstärker- und Ionensteuerröhren.“

<sup>1)</sup> Vgl. „Elektrische Klangfarbenerzeugung“, W. Saraga, „Funktechnische Monatshefte“, 1932, Heft 9, Seite 409 ff.

Diese zunächst elektrisch ungeladenen Moleküle werden durch den Aufprall der Elektronen in entgegengesetzt geladene Teilchen zerrissen, ionisiert, ebenso wie in einer Glimmlampe, deren Mechanismus im vorigen Aufsatz erklärt worden ist. Infolgedessen ändert sich mitunter bei gleichbleibender Spannung der Strom, also auch der Widerstand der Röhre in unkontrollierbarer Weise. Wird die Röhre als Verstärkerröhre verwendet, so schwankt der Verstärkungsgrad ein wenig, was meist nicht sehr stört. Auch bei Verwendung einer Röhre als Schwingröhre in einem Rückkopplungsgenerator fällt die Änderung des Widerstandes kaum auf, da die Frequenz im wesentlichen von der Größe des Schwingungskreises und nur sehr wenig vom Widerstand der Röhre abhängig ist. Bei einem Kippgenerator kann dagegen eine Röhre mit schwankendem Widerstand keine Verwendung finden, da die Frequenz direkt vom Widerstand abhängig ist.

Benutzt man nun an Stelle einer Vakuumröhre eine gasgefüllte Röhre, so treten an sich dieselben Schwankungen des Gasgehaltes auf. Wesentlich für die Widerstands-

das Vakuum prüfen und eventuell verbessern. Doch davon später. Sollte die Thyatronröhre früher oder später in den Handel gelangen, so genügt bei unserer Schaltung 1 b zum Übergang auf Thyatronbetrieb die Vertauschung von Thyatron- und Laderöhre, die auf denselben Sockel passen, der Ersatz der Glimmlampe durch einen Widerstand von ca. 0,5 MΩ sowie die Umschaltung des Kondensators entsprechend der gestrichelten Linie in Abb. 1 b.

Die Regulierung der Tonhöhenverteilung auf dem Manual mit Hilfe der Laderöhre wird dadurch erzielt, daß man in einem gekrümmten Teil der Röhrencharakteristik arbeitet, wobei man versucht, durch richtige Einstellung der Gittervorspannung und des veränderlichen Spannungsbereiches die unerwünschte Krümmung der ursprünglichen Tonhöhenverteilung durch die Krümmung der Charakteristik auszugleichen. Wenn man sich nun auch einen möglichst passenden Röhrentyp aussucht, so wird

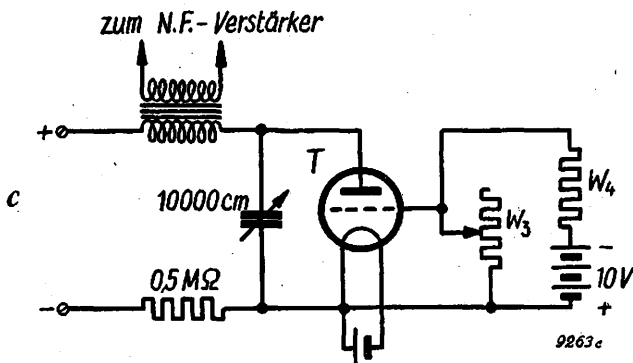
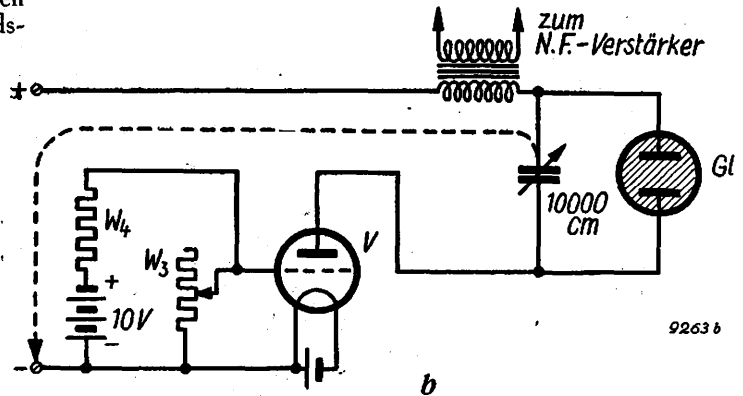
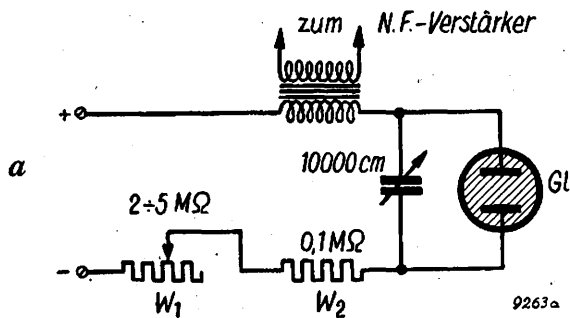


Abb. 1a—c. Verschiedene Schaltungsmöglichkeiten des Kippgenerators.

änderung ist aber nur die relative Schwankung, d. h. das Verhältnis der Anzahl der unregelmäßig austretenden Gas-moleküle zur Zahl der dauernd vorhandenen. Diese relative Schwankung ist natürlich bei den gasgefüllten Röhren, bei denen der normale Gasgehalt groß ist, viel kleiner als bei den Vakuumröhren.

Man könnte nun die Schaltung 1 b beibehalten und nur die normale Verstärkerröhre durch eine gasgefüllte ersetzen. Da aber die gasgefüllte Röhre gleichzeitig als Glimmlampe arbeiten kann und da dann eine Regelung der Frequenz durch Änderung ihrer Gittervorspannung ebenfalls möglich ist, liegt es nahe, die Schaltung 1 b zu vereinfachen und an Stelle von zwei Röhren, der Glimmlampe und der Widerstands-röhre, nur eine, eben die Thyatronröhre, zu verwenden.

Leider ist das Thyatron noch nicht im Handel erhältlich, so, daß wir einstweilen die Versuche nach der Schaltung Abb. 1 b ausführen müssen. Die Röhre RE 054 von Telefunken oder die Schutzgitterröhre 415 D von Valvo sind wegen der Größe ihres inneren Widerstandes sowie wegen der Form ihrer Charakteristik als Laderöhren besonders geeignet. Man muß aber bei jeder einzelnen Röhre

man doch nur eine ungefähr geradlinige Verteilung erreichen. Man kann aber diese Verteilung weiter dadurch ändern, daß man zu dem Manualwiderstand einen festen Widerstand parallel oder in Serie schaltet. Um die Wirkung eines Zusatzwiderstandes zu erkennen, nehmen wir einmal an, daß der Manualwiderstand  $W$  ebenso groß wie ein zu ihm parallel geschalteter Widerstand  $W_1$ , und zwar gleich  $R_0$ , ist (vgl. Abb. 2). Ist  $W_1$  abgeschaltet, so erhalten wir für den Widerstand  $R$  in Abhängigkeit von der Stellung des Schiebers von  $W$  bzw. in Abhängigkeit von der Stellung des spielenden Fingers die Gerade I in Abb. 3 unter der Voraussetzung, daß  $W$  auf der Gesamtlänge  $l_0$  gleichmäßig gewickelt ist. Schalten wir jetzt  $W_1$  dazu und ist  $W$  ganz eingeschaltet, so erhält man den halben Widerstandswert  $R = \frac{R_0}{2}$ . Ist  $W$  zur Hälfte eingeschaltet, so ergibt sich

$$R = \frac{R_0 \cdot \frac{R_0}{2}}{R_0 + \frac{R_0}{2}} = \frac{R_0}{3}$$

und wenn der Schieber in Abb. 2 ganz links steht, erhält man ebenso wie ohne Parallelschaltung von  $W_1$  für  $R$  den Wert 0. Man erhält also eine gekrümmte Kurve II, die bei richtiger Wahl von  $W_1$  ebenfalls zum Ausgleich der Tonhöhenverteilung dienen kann.

Das Manual ist beim Trautonium so ausgeführt, daß man durch Niederdrücken des Widerstandsdrahtes auf eine gutleitende Metallplatte die gewünschte Gitterspannung einschaltet, daß aber zunächst der Verstärker noch abgeschaltet ist, so daß zwar der Generator schon die gewünschte Schwingung erzeugt, der Lautsprecher aber noch schweigt. Drückt man nun mit dem Finger die Abnahmeplatte etwas nach unten, so schaltet man dadurch den Verstärker ein. Diese Einschaltvorrichtung ist als druckabhängiger Kohlewiderstand ausgeführt, der durch die Be-



Tonhöhenverteilung dem Spieldraht parallel geschaltet.  $W_4$  und  $W_5$  dienen zur Regelung der Größe des Spannungsbereiches beim Spielen. Nehmen wir einmal an, daß  $W_6$  zunächst kurzgeschlossen ist, und ist  $W_4 + W_5$  sehr klein gegen  $W$ , so ändert man beim Spielen durch Abgreifen von  $W$  zwar den Strom, der aus der Batterie entnommen wird, aber die Spannung am Gitter bleibt praktisch konstant. Ist dagegen  $W_4 + W_5$  sehr groß gegen  $W$ , so ändert sich beim Spielen der Strom fast gar nicht, er wird allein durch die Größe von  $W_4 + W_5$  bestimmt. Die Gitterspannung ändert sich zwar mit der Größe von  $W$ , aber nur in einem sehr kleinen Bereich, weil der Strom sehr schwach ist. Mittlere Werte von  $W_4 + W_5$  sind daher am günstigsten. Mit Hilfe des Potentiometers  $W_6$  kann man den gesamten Spannungsbereich auf der Charakteristik verschieben, ohne daß sich an der Verteilung oder an der Größe des Bereiches etwas ändert. Dieser Widerstand kann u. U. auch weggelassen werden. Das an der Heizbatterie liegende Potentiometer  $W_7$  dient dazu, ein Absinken der Betriebsspannung des Kippgenerators auszugleichen.

Am besten übersieht man die Wirkungsweise der verschiedenen Schaltungen, wenn man sie einmal aufbaut und sich selbst von ihren Vor- und Nachteilen überzeugt. Als Glimmlampe kann man im allgemeinen die zur Beleuchtung dienenden Glimmlampen nicht benutzen, da bei ihnen der Unterschied zwischen Zünd- und Löschspannung zu gering ist. Besonders gut geeignet ist die Rectron-Glimmlampe R 12/07. Recht gute Dienste leistet die Telefunken-Röhre RGN 1500. Auch die Fernsehglimmlampen sind zur Schwingungserzeugung u. U. brauchbar. Als Spannungsquelle kann man nur Batterien verwenden, da die Frequenz der Kippschwingungen sehr stark von der Betriebsspannung abhängig ist, die bei Netzbetrieb dauernd schwankt. Über den Ausgleich von Netzschwankungen mit Stabilisatoren werden noch Versuche ausgeführt. Die Mindestbetriebsspannung beträgt ungefähr 150—160 Volt.

Als Laderöhre verwendet man eine Telefunken-Röhre RE 054 oder eine Valvo-Röhre L 415 D. Man prüft sie auf Gasfreiheit, indem man Anode, Gitter und evtl. das zweite Gitter miteinander verbindet, und die Röhre dann bei normaler Heizung in Serie mit einer Glühlampe an 220 Volt (Netzspannung) legt. Zur Prüfung der RE-054-Röhre benutzt man eine 16-Watt-Lampe, zur Prüfung der L-415-D-Röhre eine 40-Watt-Lampe. Ist die Röhre sehr stark gashaltig, so wird sie u. U. zerstört. Auf jeden Fall ist bei zu großem Gasgehalt ein Leuchten der Glühlampe zu beobachten. Dieses Leuchten wird allmählich schwächer, da der Gasgehalt sich durch den Stromdurchgang verringert. Sobald ein schwaches Leuchten konstant bleibt, was evtl. erst nach mehreren Minuten der Fall ist, oder aber wenn die Lampe überhaupt dunkel bleibt, ist die Röhre brauchbar. Dieses Verfahren muß man manchmal nach einiger Zeit wiederholen.

An den Generator werden nach der Schaltung in Abb. 5 der oder die Formantkreise angeschlossen. Der Formanttransformator muß eine möglichst geringe Dämpfung und Eigenkapazität haben. Die normalen Niederfrequenztransformatoren sind viel zu stark gedämpft. Besser sind schon Netzanschlußtransformatoren, die man aber vor dem Einbau ausprobieren muß, wobei evtl. eine Vertauschung der Sekundär- und Primärseite bessere Resultate ergibt. Am besten geeignet sind Spezialtransformatoren.

Man trennt die Formantkreise vom Generator durch Zwischenschaltung einer Verstärkeröhre, weil die Formantkreise sonst auf den Generator zurückwirken und die Frequenz der Kippschwingung beeinflussen. Benutzt man außerdem zur Verminderung der Dämpfung der Formantkreise einen Rückkopplungskondensator (in der Schaltung der Kondensator  $C_R$ ), so erzeugt man dadurch wieder eine schädliche Kopplung zwischen den Formantkreisen

und dem Generator, die man durch Zwischenschaltung des Widerstandes  $W_8$  vermindern muß.

Zur Erzielung ausreichender Lautsprecherlautstärke ist die Verwendung eines mehrstufigen Niederfrequenzverstärkers notwendig, der an den Formantkreis angeschlossen wird. Der Lautsprecher selbst muß eine möglichst gleichmäßige Frequenzkurve besitzen. Zeigt die Frequenzkurve nämlich ausgeprägte Resonanzspitzen, so wird der Lautsprecher selbst durch die Kippschwingung zu gedämpften Eigenschwingungen angestoßen, so daß das Gerät auch ohne Formantkreise eine ausgesprochene Klangfarbe hat. Man kann dann aber durch Verstimmung der Formantkreise die Klangfarbe viel weniger beeinflussen, weil die Formanten des Lautsprechers festliegen.

Für das Manual könnte man einen Schiebewiderstand von 2000 Ohm benutzen, das Gehäuse und die Schieberführung abmontieren und dann über diesem Widerstand ein Abnahmeband aus gut leitendem Blech ausspannen. Es ist aber aus spieltechnischen Gründen besser, den Widerstand als beweglichen Spieldraht auszubilden, der mit einer metallenen Grundplatte Kontakt gibt. Man benutzt eine Metallplatte von etwa 1 m Länge und etwa 20 cm Breite und als Spieldraht eine drahtumspinnene Saite, die pro Meter 2000 Ohm Widerstand hat (solche Saiten sind im Handel erhältlich), und spannt die Saite an einem Ende in etwa 1 cm Höhe über der Grundplatte fest ein. Am anderen Ende kann man sie mit Hilfe eines Wirbels wie eine Violine Saite oder eine Klaviersaite beliebig spannen. Bei richtiger Einstellung des Gerätes erhält man auf dem Spieldraht einen Bereich von drei Oktaven.

Die Kontaktplatte selbst liegt auf einer zweiten Grundplatte, mit der sie drehbar verbunden ist. Zwischen beide Platten legt man an jedem Ende ein Stück Schwammgummi, so daß die beiden Platten im Ruhezustand auseinander gespreizt sind. Das ist einfacher als die Verwendung von Metallfedern. Der Kohlekontakt besteht aus einer ebenfalls im Handel erhältlichen Spezialmasse, die man zu einer Scheibe in Zweimarkstückgröße formt und zwischen zwei Metallscheiben in den Zwischenraum zwischen der Kontaktplatte K und der Grundplatte G einsetzt. Die Schaltung des Kohlekontaktes ist in Abb. 5 angegeben. Zur Lautstärkeregelung ist außerdem noch ein Pedal notwendig, dessen Schaltung aus derselben Abbildung hervorgeht. Sie entspricht der für Lautstärkereglung bei Tonabnehmern üblichen Schaltung. Besser ist es, zur Lautstärkeregelung eine Exponentialröhre im Verstärkereingang zu verwenden, und deren Verstärkungsgrad durch Änderung ihrer Gittervorspannung zu steuern. Das Pedal selbst wird als Fußpedal ausgeführt, damit man beide Hände zum Tonhöhenpiel frei behält. Es besteht aus einem Drehwiderstand, der mit dem Fuß eingestellt wird. Einzelheiten über die verschiedenen Pedale und Pedalschaltungen sollen in einem besonderen Aufsatz über Pedale demnächst mitgeteilt werden.

Zur Erleichterung des Spielens wurde früher die Lage der wichtigen Intervalle (Quinte, Oktave) auf der Manualplatte durch kleine Erhöhungen angegeben. Diese Markierungen genügten jedoch nicht; man benutzt heute Gummitasten, die oberhalb des Spieldrahtes auf einer Metalleiste verschiebbar angeordnet sind (vgl. Abb. 6). Die Tasten werden so eingestellt, daß der Spieler durch ihr Niederdrücken die wichtigsten Intervalle findet, während die Zwischenintervalle durch Spielen unmittelbar auf dem Spieldraht erhalten werden. Ist die Tonhöhenverteilung vollkommen gleichmäßig, so kann man die Leiste mit allen Gummitasten gemeinsam verschieben und die Tonart ändern, ohne daß die gegenseitige Stellung der Tasten verändert werden muß. Eine größere Verlegung des Tonhöhenbereichs ist durch Verstellung des Kondensators möglich. Zwar können auch hierbei kleine Änderungen der Tonhöhenverteilung auftreten, aber bei günstiger Wahl

alter Widerstandswerte läßt sich erreichen, daß mindestens eine zusätzliche Oktave bei Verlegung des Bereichs die ursprüngliche Verteilung behält. Dabei ist zu beachten, daß bei einem ursprünglichen Bereich von drei Oktaven und Verlegung des Bereichs um beispielsweise zwei Oktaven die tiefste Oktave in der neuen Einstellung mit der höchsten Oktave in der ursprünglichen Einstellung identisch ist, also vom Spieler nicht benötigt wird und daher beliebige Verteilungsänderungen aufweisen darf. Dagegen ist die mittlere Oktave in der neuen Einstellung die gewünschte höhere Anschlußoktave an den ursprünglichen Bereich, und sie muß daher in ihrer Verteilung mit der mittleren Oktave des ursprünglichen Bereichs übereinstimmen.

Genauere Konstruktionsdaten für das Manual werden in der Bauanweisung gegeben werden. Der Generator kann auch ohne Verdrahtungsplan nach dem Schaltbild gebaut werden, da die räumliche Anordnung der Einzelteile gar keine Rolle spielt. Zum Schluß wollen wir noch einen Versuch besprechen, der ebenfalls dem Buch „Elektrische Musik“ von Trautwein entnommen ist, und der ohne Manual, z. B. nach der Generatorschaltung in Abb. 1 b ausgeführt werden kann. Wir verwenden nur einen einzigen Formantkreis und stellen den Generator auf eine sehr tiefe Frequenz ein, so daß wir nicht mehr den Eindruck eines musikalischen Tones haben, sondern die einzelnen Entladungsstöße als Schläge hören. Jeder einzelne Schlag scheint dann selbst eine gewisse Tonhöhe zu haben, und seine Abklingdauer können wir mit Hilfe des Rückkopplungskondensators verändern. Verstellen wir nun den Formantkondensator, so scheint sich die Tonhöhe der einzelnen Schläge zu ändern. (Die Schlagfrequenz, d. h. die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der einzelnen Schläge, bleibt dabei dieselbe.) Wir hören also die Formantfrequenz als Tonhöhe. Verlegen wir nun die Grundfrequenz in den Hörbereich, so hören wir an Stelle der einzelnen Schläge einen Ton mit einem bestimmten Klangcharakter; dagegen verschwindet der Tonhöhenindruck der Formantfrequenz. Stellen wir jetzt eine andere Formantfrequenz ein, so ändert sich die Klangfarbe, die Tonhöhe bleibt dieselbe. Ändern

wir aber die Formantfrequenz gleitend durch langsames Drehen am Formantkondensator, so haben wir plötzlich wieder einen Tonhöhenindruck, wir hören die gleitende Änderung der Formantfrequenz. Das Ohr deutet also die Formantfrequenz nur als Klangfarbentzusat, wenn der Grundton eine hörbare Tonfrequenz hat. Ändert man aber die Formantfrequenz gleitend, so wird durch diese Bewegung das Ohr auf die Formantfrequenz besonders stark

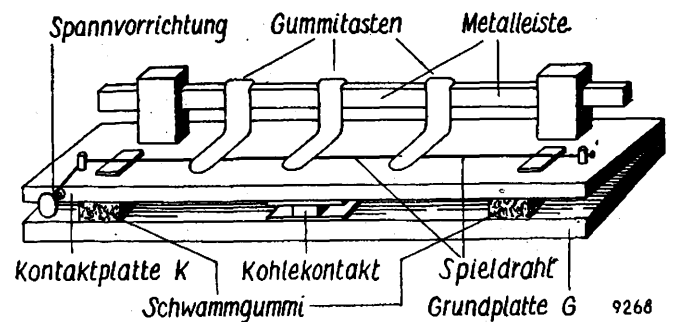


Abb. 6. Modernes Spielmanual.

aufmerksam gemacht, so daß es dann den Frequenzcharakter des Klangfarbentzusatzes erkennt.

Im übrigen ergeben hohe Formanten Klänge von Trompetencharakter, mittlere Formanten klarinettenähnliche und tiefe Formanten fagottähnliche Klänge. Bei hohen Grundtönen geht der besondere instrumentale Klangcharakter zurück, weil die klangfärbenden Formanten höher als der Grundton sein müssen und unser Ohr für sehr hohe Töne ziemlich unempfindlich ist. Auch durch Änderung der Rückkopplung läßt sich der Charakter der erzeugten Klänge weitgehend beeinflussen. Je weniger gedämpft der Kreis ist, desto schriller ist der entstehende Klang. Weitere Klangfarben lassen sich erzielen, wenn man dem Grundton zwei oder noch mehr Formanten zusetzt. Die Schaltung der weiteren Formantkreise ist in Abb. 5 gestrichelt angedeutet.