

Ein Projekt von IMA Institut für Medienarchäologie in Kooperation mit klangraum fröbelgasse

# Rekonstruktion „Optischer Synthesizer von Max Brand“

Abschlussbericht - Juni 2019

Ein Projekt von IMA Institut für Medienarchäologie in Kooperation mit klangraum fröbelgasse

Mit Unterstützung von Niederösterreich Wissenschaft und Forschung, Wien Kultur, Wienbibliothek im Rathaus und Max Brand Archiv



klangraum  
fröbelgasse



# Inhalt

Einleitung .....	S. 1
1. Ergebnis der Voruntersuchung.....	S. 2
2. Dokumentation der Untersuchung des Tastaturinterface.....	S. 3
2a. Allgemeine Beschreibung.....	S. 3
2b. Schaltungsanalyse.....	S. 7
3. Messergebnisse .....	S. 12
4. Nachbau des Tastaturinterfaces .....	S. 17
5. Rekonstruktion der optischen Einheit (des Flying spot scanners) .....	S. 20
5a. Sichtung der Schaltpläne .....	S. 22
5b. Zusammenbau der einzelnen Baugruppen .....	S. 27
6. Debugging.....	S. 29
7. Der Filterbaustein .....	S. 31
Schlussbemerkung .....	S. 42

## Einleitung

Der österreichisch/amerikanische Komponist und Elektronik-Musiker Max Brand (26.4.1896 – 5.4.1980) experimentierte in seinem amerikanischen Exil in New York zwischen etwa 1950 und 1960 mit verschiedenen, teils selbst gebauten oder in Auftrag gegebenen elektronischen Musikinstrumenten, die allesamt als Prototypen zu gelten haben. Es ist aus der Zeit nur ein einziges Gerät in zwei Fragmenten erhalten, das aber offensichtlich für all seine elektronischen Kompositionen dieses Zeitabschnitts verwendet wurde. Ein entscheidender Teile fehlt. Es war eine unmittelbare Evidenz ausständig, wie diese Geräte klangen, medienarchäologische Forschung war damit nicht möglich.

Das Projekt umfasste daher organologische Forschung als Teil der historischen Musikwissenschaft, Elemente der musikalischen Akustik und medienarchäologischen Arbeit als interdisziplinärer Ansatz. Mittels reverse engineering wurden fehlende Teile aus den spärlich vorhandenen Schaltungsunterlagen rekonstruiert, um eine klare Vorstellung von Brands musikalischen und ästhetischen Möglichkeiten und Zielen zu erlangen. Aus den vorhandenen Unterlagen geht hervor, dass Brand mangels verfügbarer elektronischer Instrumente, die seinen Vorstellungen genügten, ständig daran arbeitete, eigene Lösungen zur realisieren. Das Projekt versteht sich auch als Beitrag zur Rekonstruktion und Nutzbarmachung von Kulturgut.

Nach gründlicher Vorarbeit und Analyse der vorhandenen Unterlagen (siehe Publikation „Maschinen für die Oper“, Wien 2016) ist der Zweck der Gesamtanlage klar: das zu rekonstruierende Gerät stellt einen optischen Scanner dar, mit dem mittels der Abtastung von Kartonschablonen jede beliebige Kurvenform realisiert werden konnte. Diese Lösung, die sich im Prinzip am Lichtton des Kinofilms orientiert, ist eine von mehreren bekannten, aber nicht erhaltenen Vorform eines heute als „Wavetable-Synthesizer“ bekannten Geräts und damit ein außerordentlich interessantes Forschungsprojekt. Nachdem kein früheres elektronisches Musikinstrument dieser Art überliefert ist (der von Daphne Oram benutzte „waveform scanner“ mit ähnlicher technischer Anlage ist erst in den 1960er Jahren entstanden), eröffnet die Rekonstruktion eine neue Informationsquelle für experimentelle musikalische und ästhetische Ansätze und stellt daher eine bedeutsame Ergänzung der

Entwicklungsgeschichte elektronischer Instrumente dar. Zusätzlich werden Kenntnisse über Röhrenschaltungen wieder aufgefrischt bzw. vor dem Vergessen bewahrt und die Bedeutung technischen Kulturguts als zivilisatorischer Grundwert bewusst gemacht.

## **1. Ergebnis der Voruntersuchung**

Die Untersuchungen beziehen sich auf zwei vorgefundene Geräte und eine Reihe von Schaltplänen, die großteils mit „ESRA“ (Electronic Sound Research Associates“) gekennzeichnet sind. Die fraglichen Geräte sind ein Tastaturinterface und ein 19“ Einschub mit Filtern etc. Das Alter der Geräte lässt sich aus den teils datierten Schaltplänen und Briefen von Max Brand auf Ende der 1950er Jahre festlegen.

- Aufgrund des ausführlichen Studiums der Schaltpläne konnten einige davon dem Tastaturgerät zugeordnet werden. Dieses hatte die Funktion eines Sägezahngenerators. Das Gerät besitzt kein Netzteil, musste also von einem zweiten Gerät versorgt werden, das fehlt.
- Aufgrund der vorhandenen Design- und Schaltskizzen erwies sich der fehlende Teil als „Flying spot scanner“, eine für die späten 1950er Jahre mehrfach nachweisbare Technik zum trägeheitslosen Abtasten von individuell erstellten Schablonen mittels eines Lichtpunkts auf einem Oszilloskopschirm. Das Licht wird mit einem Photomultiplier detektiert und als Tonsignal ausgegeben.<sup>1</sup> Erfolgt die Abtastung mit einer tonfrequenten Rate, so ergibt sich ein hörbarer Ton, dessen Signalform der Schablone entspricht. Nachdem der fehlende optische Teil einer lichtdichten Box bedurfte, die deshalb keine äußeren Erkennungsmerkmale zeigt, gibt es auch keine Fotos, auf denen dieser Teil zu erkennen wäre. Das erschwert die Vorbereitungen für eine Rekonstruktion.
- Der 19“ Einschub entpuppte sich als Filtereinheit mit einem Attack-Decay Zusatz. Aufgrund der teils stark beschädigten und sichtlich umgebauten Teile ist eine sichere Zuordnung zu Schaltskizzen nicht eindeutig herstellbar. Die Schaltpläne im Nachlass Brands lassen darauf schließen, dass diese drei Geräte eine Einheit bildeten. Sie sind sichtlich auch die Tonquelle für die Bandaufnahmen, die vor Fertigstellung des Moogtoniums entstanden sind.

---

<sup>1</sup> Zur genauen Funktion siehe: Donhauser, Peter: Klangmaschinen. Die Geschichte der Elektromusik. Berlin 2019.

## 2. Dokumentation der Untersuchung des Tastaturinterface

### 2a. Allgemeine Beschreibung

Der Flying spot scanner (die Oszilloskopeinheit) benötigt für die Horizontalsteuerung eine tonfrequente Sägezahnspannung, tunlichst mit linearem Anstieg. Zu diesem Zweck wurde von Max Brand resp. seinen Technikern ein Tastaturinterface gebaut, das zudem möglichst vielfältige Regelmöglichkeiten bieten sollte.



Abb. 1 Das Tastaturinterface Original

Das Gehäuse besteht aus Stahlblech mit schwarzer Hammerschlaglackierung. Es besitzt einen nach hinten aufklappbaren Deckel und eine abschraubbare Frontplatte. Die Klaviatur ist auf einer Blechtasse montiert, die ins Gehäuse von vorne eingeschoben und festgeschraubt ist. Diese Tasse passt nicht genau in das Gehäuse und macht einen behelfsmäßigen Eindruck. Die Tasten sind mit ihren nach hinten überstehenden Belägen auf eine Holzleiste zusammen mit den Kontaktfedern festgeschraubt. Da die Beläge aus Kunststoff sind, der in den 70 Jahren seit der Herstellung stark gealtert ist, brechen sie leicht und sind bereits bei einigen Tasten repariert worden. Der Klaviaturumfang beträgt 2 Oktaven (dem Tastenbild entsprechend von g bis g). Die Kontaktfedern unter den Tasten bestehen aus Kupfer und berühren bei gedrückter Taste eine Sammelschiene, die

zwischen d/d# und h/c in drei Abschnitte zu je 8, 9 und 8 Tasten geteilt ist. Die Schiene bestand aus Aluminium, das wegen Korrosion und Problemen an den Drahtanschlüssen während der Restaurierung gegen ein Kupferblech ausgetauscht wurde.



Abb. 2 Tastenkonstruktion und Sammelschiene

Die Verdrahtung im Inneren zeigt deutlich die Handschrift zweier Personen: eine, die professionell arbeitete und löten konnte, die zweite Person konnte nicht hinreichend löten und die Verdrahtung ist nachlässig ausgeführt. Zudem wurden entgegen den erhaltenen Schaltplänen weitere Regler und Elektronenröhren hinzugefügt.

Nachdem die für die Stabilität des Gehäuses maßgeblichen Schrauben verdorbene Gewinde und ausgeleierte Schraubenlöcher aufwiesen, wurden neue Schrauben eingesetzt. Als problematisch erwiesen sich nicht nur zahlreiche schlechte Lötstellen und defekte Potentiometer, sondern auch abstehende Teile von Litzendrähten, die Nachbarkontakte berühren und verschiedene weitere Kurzschlüsse. Im gegenwärtigen Zustand ist eine Inbetriebnahme aus elektrotechnischen Gründen nicht zu verantworten. Dies empfiehlt sich auch aufgrund konservatorischen Überlegungen und Regeln für den Umgang mit historischen, musealen Gegenständen keinesfalls.

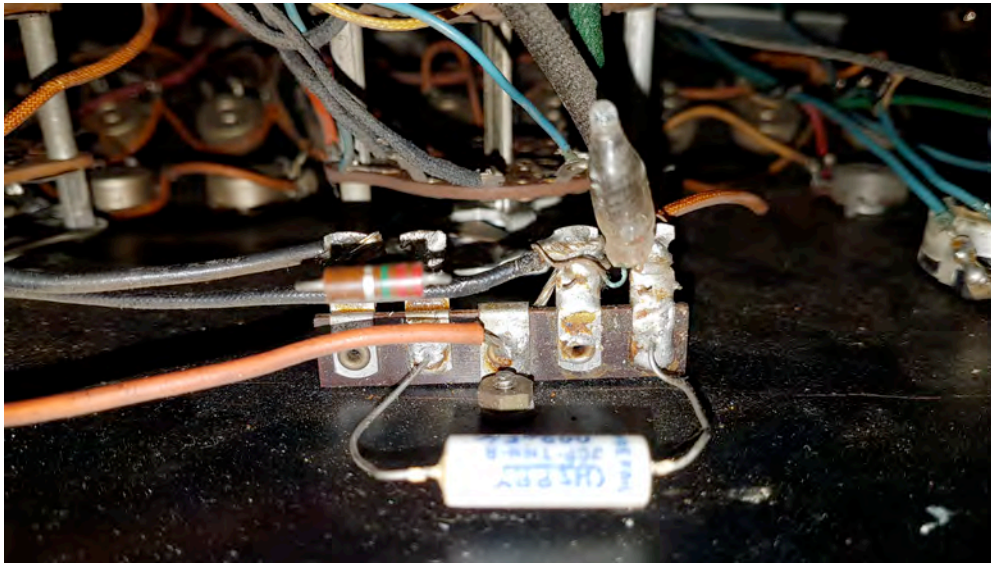


Abb. 3 Detail Lötösenleiste mit der Oszillator-Glimmlampe und dem Auskoppelkondensator

Primäre Aufgabe war, den Schaltplan des Geräts aufzunehmen. Als Orientierungshilfe diente eine Zeichnung aus dem Nachlass Brand im Langenzersdorf – Museum (Abb. 4).

Schon die erste Begutachtung des Inneren des Geräts ergab, dass aufgrund der zahlreichen, nicht auf dem Plan eingezeichneten Bauteile eine erhebliche Abweichung von der Skizze zu erwarten war, was sich auch im Zuge der Recherche zeigte.

Schwierigkeiten verursachten vor allem die Kabelführung, an den Lötstellen abgerissene Drähte und der Mix von Bauteilen unterschiedlicher Herkunft und Bezeichnungsweise. Nachdem es sich bei der Schaltung jedoch um recht einfache Prinzipien handelt, (Kippschwingungen mit Glimmlampen) ließen sich die Bauteile eindeutig zuordnen.

Schon im Schaltplan Brands ist das Gerät dreiteilig angelegt: die Sammelschiene der Klaviatur ist dreigeteilt (wie vorher mitgeteilt). Die drei Teile bedienen drei identische Oszillatorschaltungen.

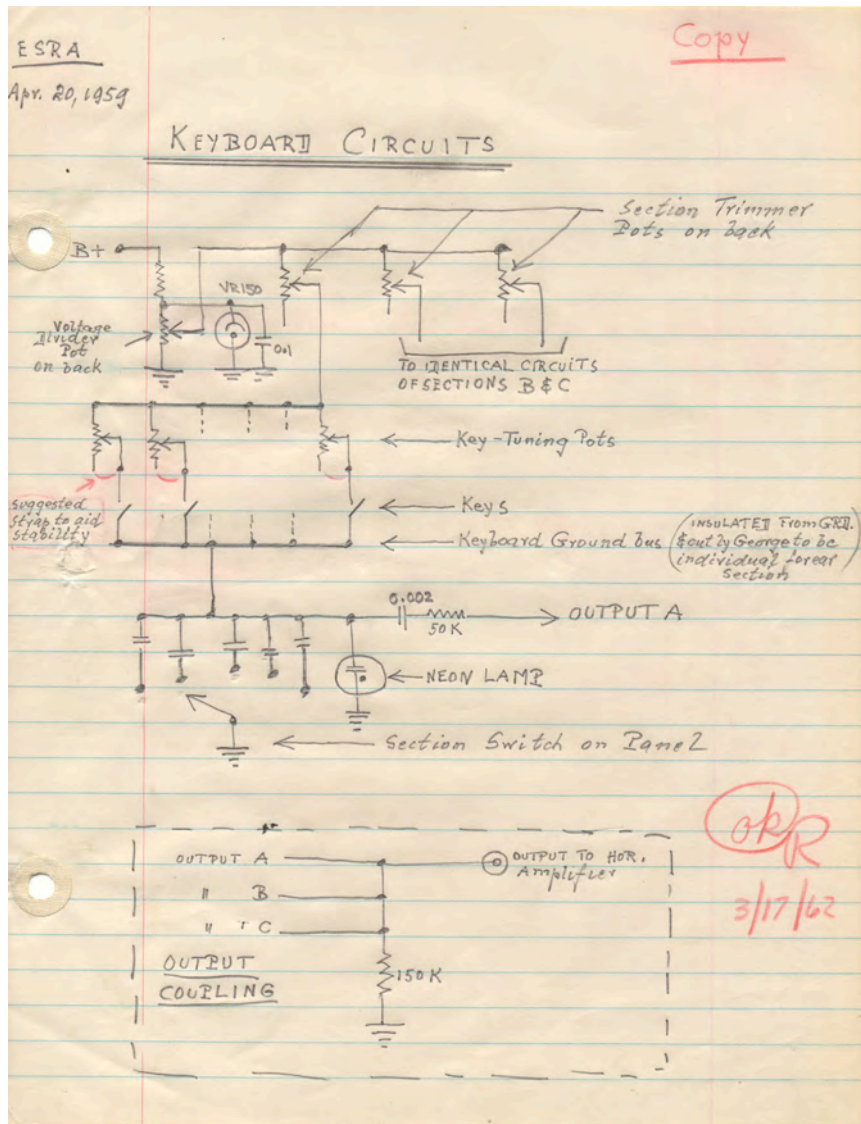


Abb. 4 Schaltplan aus dem Brand-Nachlass

Die Oszillatoren bestehen im Wesentlichen aus einer allgemein bekannten Schaltung zur Kippschwingungserzeugung mittels Glimmlampe: zu der Lampe ist ein Kondensator parallel geschaltet. Über einen Widerstand (hier bestehend aus zwei Potentiometern und ein 470k Widerstand) wird der Kondensator aufgeladen, bis die Zündspannung der Lampe erreicht wird. Dadurch wird die Lampe leitend und entlädt den Kondensator, bis die Löschspannung erreicht wird. Dann beginnt das Spiel von Neuem. Die Frequenzregulierung geschieht über Wahl des Kondensators (Drehschalter) und Einstellung der Potentiometer. Da drei Oszillatoren vorhanden sind, können drei Frequenzen gleichzeitig erzeugt werden, die sich überlagern.

Dabei ist zu beachten, dass die Einstellung der Potentiometer nicht einen Wert unterschreitet, bei dem nach Zünden der Lampe ein ausreichender Strom fließt, die Lampe daher nicht mehr löscht und die Kippfunktion nicht mehr funktioniert.

## 2b. Schaltungsanalyse

Der wesentliche Unterschied zwischen dem Schaltplan im Nachlass Brand und dem vorgefundenen Gerät ist die Erweiterung um drei weitere Section Trimmer je Klaviaturabschnitt. In alle Trimmer wird eine Vibratospannung eingeleitet. Die zugehörigen Regler 1 B-D ... 3 B-D auf der Oberseite des Geräts dienen zum Abgleich der Tonfrequenz und gleichzeitig der Vibratostärke. Die Trimmer dienen zudem der Begrenzung des Stroms durch die Glimmlampen und daher zur Verhinderung des zuvor erwähnten Sättigungseffekts. Daher werden nur die Trimmer 1A .. 3A mit 150 Volt versorgt (größte Kondensatoren an den Glimmlampen) und die restlichen mit einer geringeren (einstellbaren) Spannung.

Warum für die Vibratospannung eine Kippschwingung und zur Glättung je eine Trafowicklung verwendet wurde, ist nicht nachvollziehbar, möglicherweise liegt es an mangelnden elektrotechnischen Kenntnissen oder es handelt sich um eine Sparmaßnahme, obwohl die Kosten für eine zusätzliche Röhre für eine sinusförmige Spannung wohl kaum ins Gewicht gefallen wären. Es könnte sich bei den Trafos auch um den Rest eines älteren Versuchsstadiums handeln, bei dem die Vibratorspannung über die Sekundärwicklung eingekoppelt wurde.

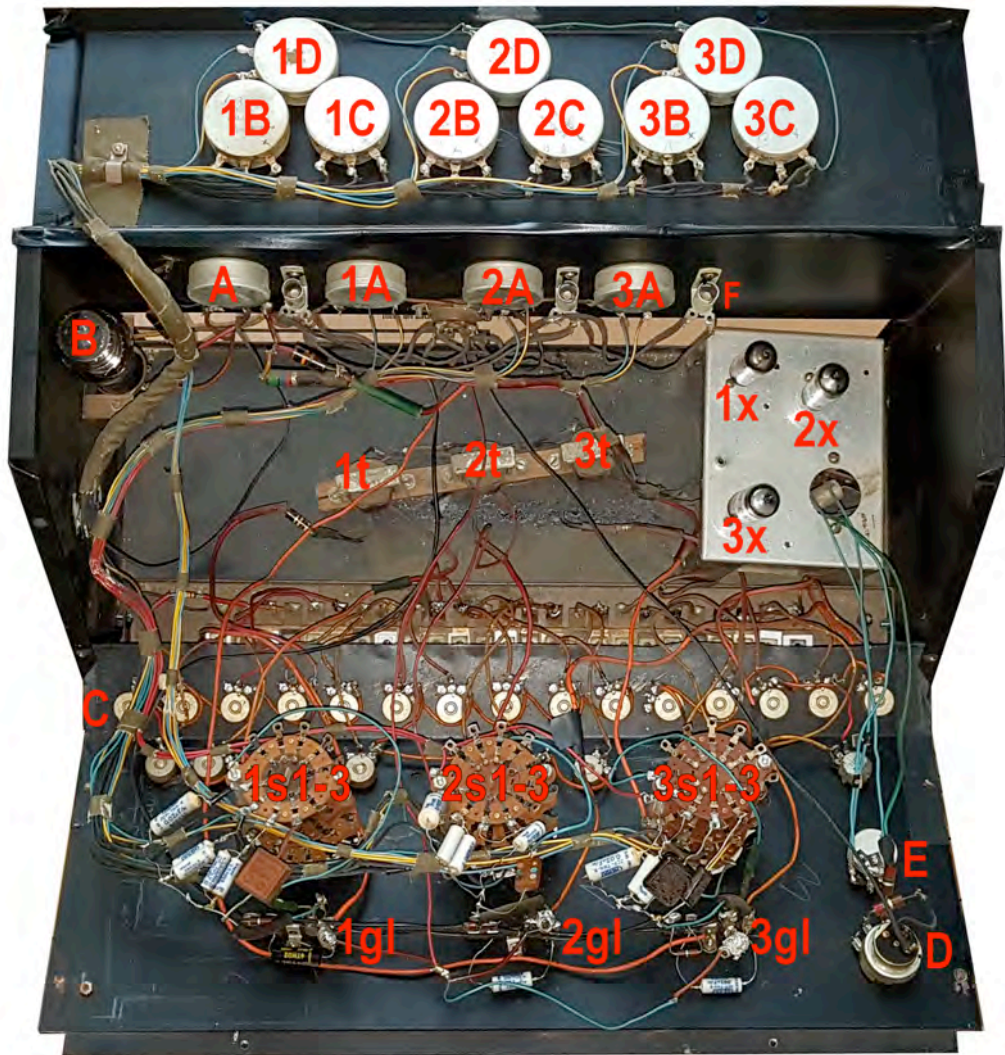


Abb. 5 Das Innere des Geräts

- A ..... Spannungsregler für die Kippschwingung  
 (Folgeregler 1B-D .. 3B-D) Gesamtstimmung für die entsprechenden Schalterstellungen
- B ..... Spannungsstabilisierung
- C ..... Tastaturpotentiometer für jede Taste
- D ..... Potentiometer mit Schalter für Vibratozusatz
- E ..... Vibrato Intensität
- F ..... Lampensockel (nicht bestückt, Funktion ungeklärt)
- 1A .. 3A ..... Section Trimmer
- 1 B-D .. 3 B-D ..... Zusatztrimmer
- 1gl .. 3gl ..... Tonglimmlampen
- 1s1-3 .. 3s1-3 ..... Stufenschalter 3 Ebenen
- 1t .. 3t ..... Drosselpulen
- 1x .. 3x ..... Röhren zur Einspeisung des Vibrato

Im Folgenden beziehen sich die Bezeichnungen der Bauteile auf die Abb. 5.

### *Spannungsversorgung*

Die Spannungsversorgung stammt aus Pin 2 der Oktalfassung an der Rückseite des Geräts. Über zwei Parallelwiderstände mit Summenwert 3,6k wird die Versorgungsspannung mittels der Stabilisierungsröhre VR105 auf ca. 108V (B) stabilisiert. Die Spannung wird direkt an die Potentiometer 1A ... 3 A geleitet. Sie wird mittels eines Potentiometers A reduziert, mit einem Kondensator geglättet und den Potentiometern 1B-D ... 3B-D zugeleitet. Dies ist übrigens ein Unterschied zu den erhaltenen Schaltplänen, auf denen eine VR150 vorgesehen ist.

### *Tonregelspannung*

Die Schleifer dieser Potentiometer sind mit den vier Positionen der Stufenschalter 1s ... 3s, Ebenen 2 verbunden. Die Kontaktfinger führen über Wicklungen der Transformatoren 1t ... 3t und einem Serienwiderstand von 470k zu den Tontrimmern C, weiter zu den Tastenkontakten, den Sammelschienen und weiter zum Oszillatorkreis.

### *Oszillatorkreis*

Der eigentliche Oszillatorkreis besteht aus einer Glimmlampe mit parallel geschalteten Kondensatoren, die über die Stufenschalter 1s bis 3s, Ebenen 1 umgeschaltet werden und über die in Abschnitt 2b beschriebenen Serienschaltungen aufgeladen werden. Der Ausgang liegt über einem Trennkondensator und einem hochohmigen Widerstand an Pin 4 des Oktalsockels an der Geräterückseite. Die Glimmlampen sind mit Draht umwickelt, der an die Versorgungsspannung angeschlossen ist. Man versprach sich wahrscheinlich davon, die restlichen Raumladungen in den Glimmlampen zu beseitigen, um die Grenzfrequenz der Kippschwingung hinaufzusetzen. Der Effekt konnte jedoch nicht verifiziert werden.

## Vibratoschaltung

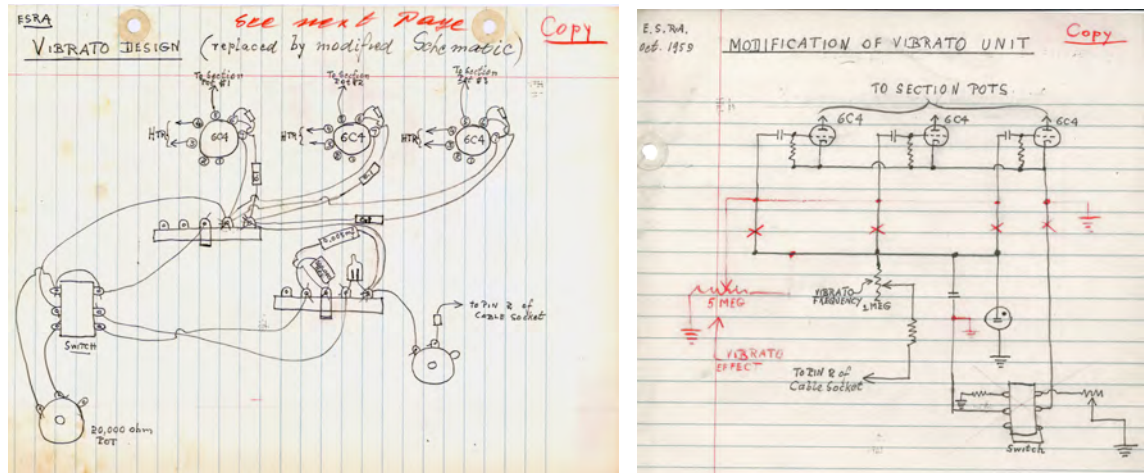


Abb. 6 Vibrato-Skizzen von Brand

Die Schaltung besteht aus einer Kombination aus einem Schalter plus Potentiometer D und Serienwiderständen als Ladewiderstände für eine Glimmlampe mit parallel geschaltetem Kondensator. Die Zeitkonstante im Bereich von  $R \cdot C = 0,5 \text{ sec}$  lässt eine langsame Schwingung erwarten. Die Kippschwingung (wohl für Vibrato wenig geeignet) wird von den Röhren 1x ... 3x über die Stufenschalter 1s ... 3s, Ebenen 3 in die Potentiometer 1A-D ... 3A-D eingeleitet und überlagert so die Ladespannung für die Tonfrequenz bestimmenden Kondensatoren, wobei die Ladespannung verringert wird und so die Frequenz nach unten schwankt.

## Tonausgang

Die drei Ausgänge sind zusammengeführt und enden an Pin 4 der Buchse auf der Rückseite des Geräts. Welche Konsequenzen dies hat, zeigte sich erst beim Nachbau des Geräts.

## Schaltplan

Abb. 7 gibt die komplette Schaltung des Geräts wieder, so wie es aufgefunden wurde. Die Schaltung besteht im Wesentlichen aus der Spannungsversorgung, drei identischen Oszillatormodulen und einer Vibratoeinheit. Letztere ist die wesentlichste Erweiterung

im Vergleich zur Schaltung in Abb. 4. Im Folgenden wird nur eine Oszillatoreinheit mit den entsprechenden analogen Verbindungen gezeichnet. Die weiteren sind identisch.

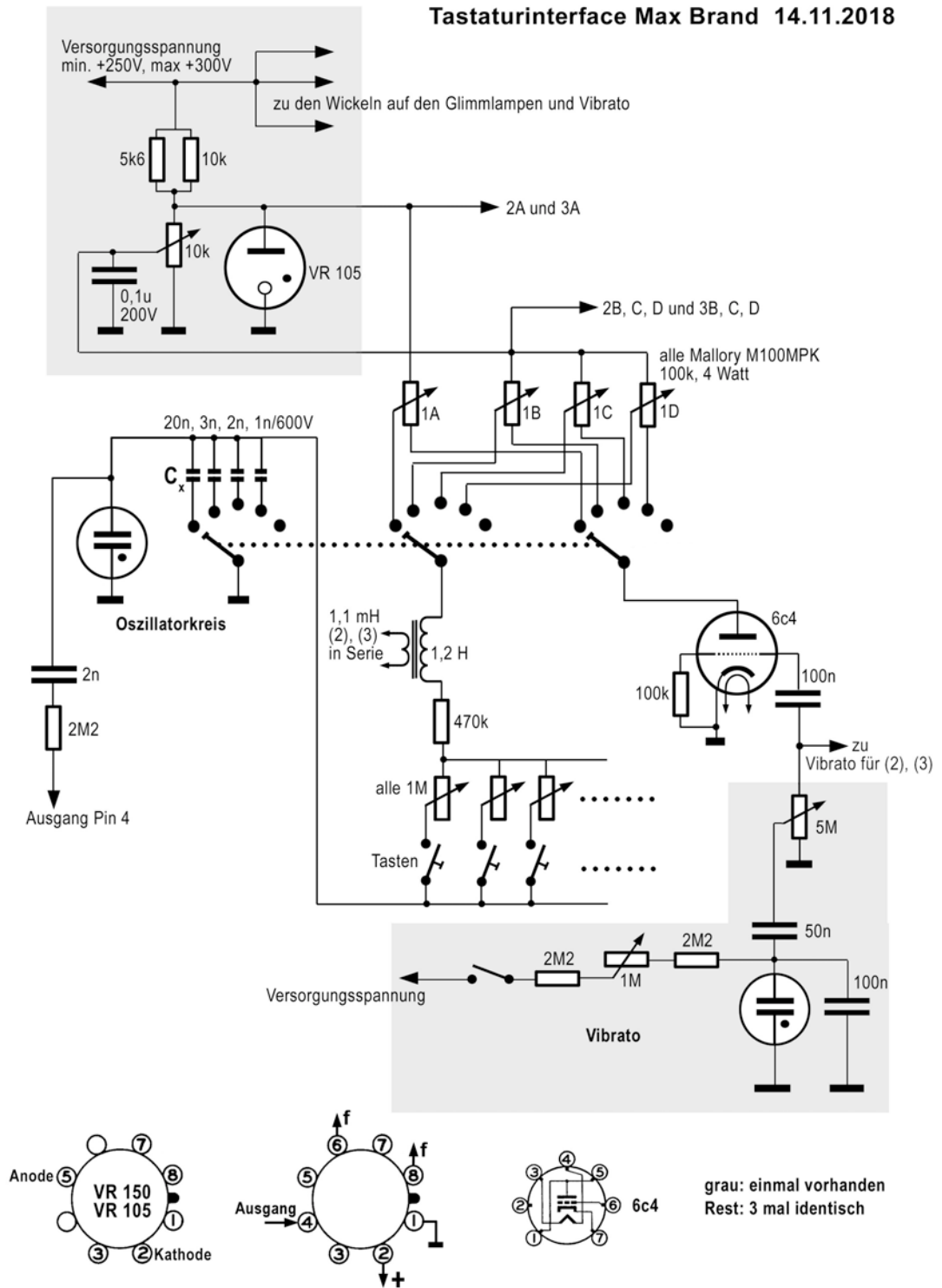


Abb. 7 Schaltplan des vorgefundenen Geräts

### 3. Messergebnisse

Soweit die Bauteile noch funktionsfähig waren, konnte durch vorsichtiges Anlegen einer Gleichspannung passender Größe die Funktion der Oszillatoren im Prinzip verifiziert werden.

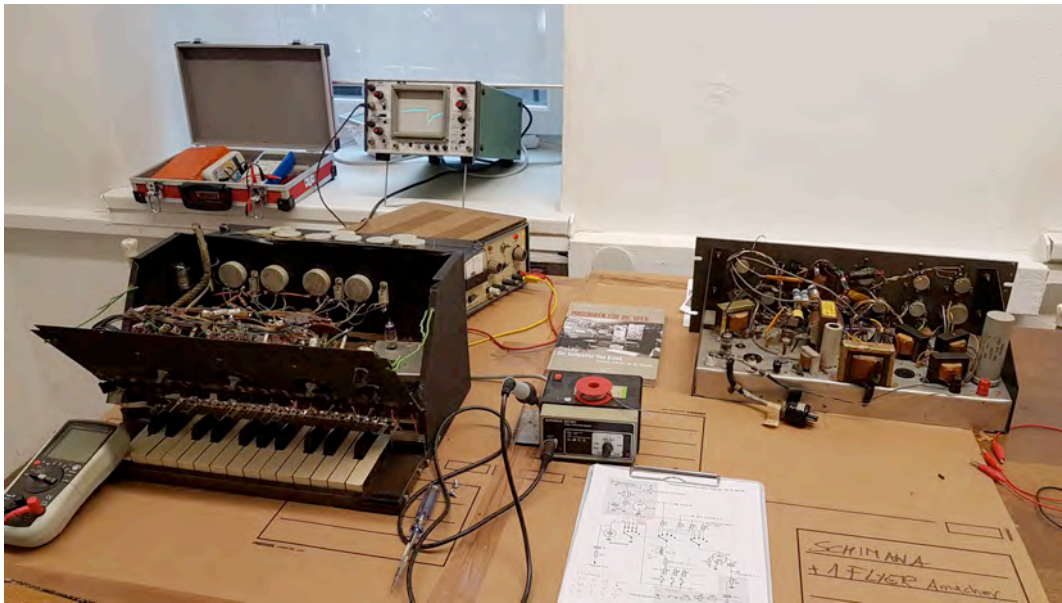


Abb. 8 Der Arbeitsplatz zur Bearbeitung der Geräte von Max Brand. Rechts der Filterbaustein

Nach Aufnahme der Schaltung und Nachlöten offener Drahtverbindungen wurden frequenzbestimmende Teile nochmals nachgemessen. Dabei stellte sich heraus, dass sich die aktuellen Werte der Kondensatoren  $C_x$  teils erheblich von den aufgedruckten Werten unterschieden.

Oszillator	(1)	(2)	(3)
aufgedruckt	20n	20n	20n
	3n	4n	2n
	2n	2n	1n
	1n	1n	0,1n
gemessen	39n	25,8n	28,7n
	5,6n	6,5n	3,7n
	1,4n	3,1n	0,8n
	0,7n	0,08n	0,03n

Obwohl die Bauteile und Lötstellen einen Realbetrieb nicht ermöglichten, konnten doch einige Sägezahnspannungen mit dem Gerät erzeugt werden. Dazu wurde eine Gleichspannung zwischen 250 und 300 Volt aus einem Labornetzgerät angelegt und die Wirkung auf die Tonspannung gemessen. Die Stabilisierung der Betriebsspannung mit der Röhre VR105 erwies sich dabei als hinreichend, die durch die Glimmlampen erzeugte Sägezahnspannung entsprach der theoretischen Erwartung, war aber wegen der zu geringen Versorgungsspannung gepaart mit einem zu kleinen Ladewiderstand nicht linear im Anstieg (die Ladekurve des Kondensators sollte nur am Beginn benutzt werden).

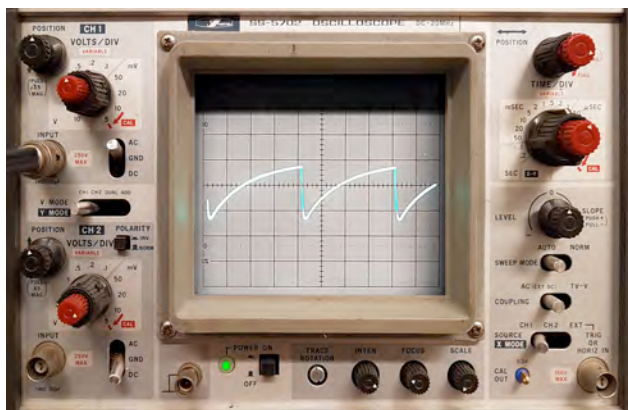


Abb. 9 Sägezahnspannung aus der Oszillatorgruppe

Beim Anschlag einer zweiten Taste z.B. aus Gruppe 2 werden die zwei Sägezahnspannungen überlagert, was im nachgeschalteten optischen Interface zu unvorhersehbaren Klangeffekten führen wird.

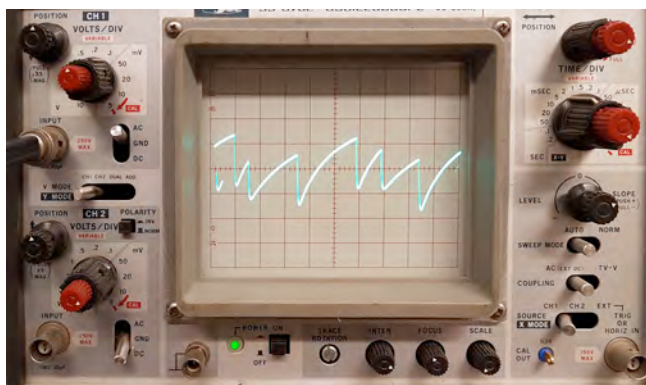


Abb. 10 Oszillogramm zweier gleichzeitig gedrückter Tasten

Die noch funktionierenden Schalterstellungen ergaben folgende Frequenzwerte:

### Sektion 1

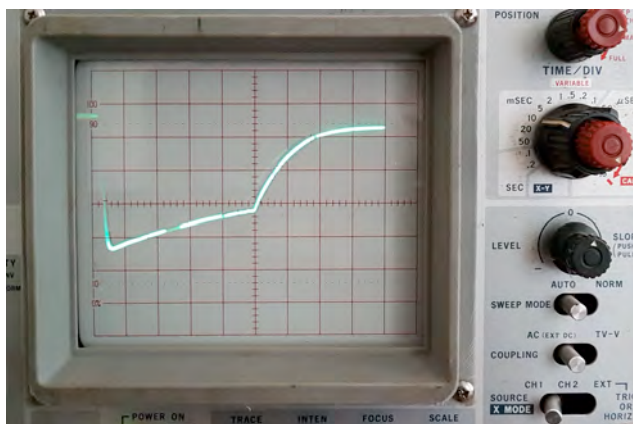
Schalter 1	12,5 bis 33Hz	20V <sub>SS</sub>	Ausgang	2V
Schalter 2	83 bis 166Hz	20		2,5
Schalter 3	142 bis 285Hz	20		2,5
Schalter 4	500 bis 1kHz	22,5		2,5

### Sektion 2

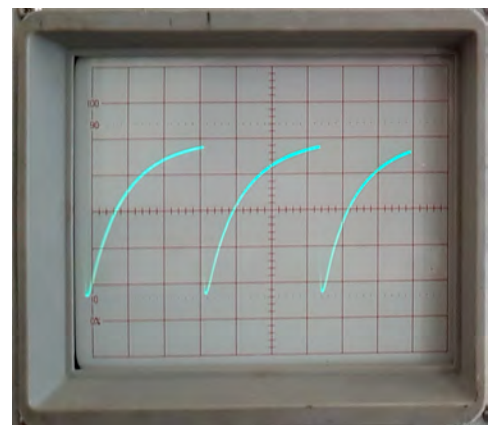
Schalter 1	12,5 bis 33Hz	30V <sub>SS</sub>	Ausgang	2,2V
Schalter 2	147 bis 400Hz	20		2,1
Schalter 3	333 bis 666Hz	22		2
Schalter 4	1,428 bis 2,5kHz	17,5 .. 15		1,8 .. 1

Sektion 3 funktioniert nicht. Vibrato zeigt keine Wirkung.

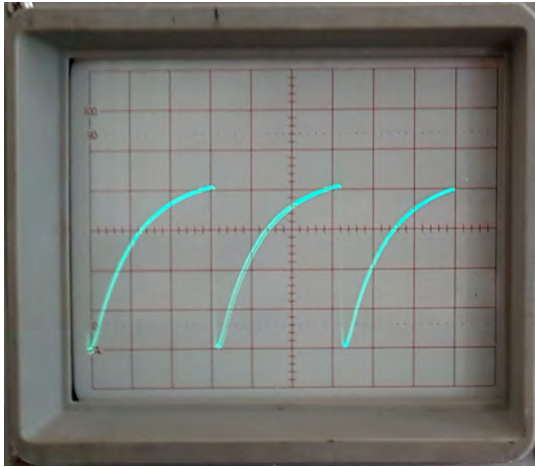
Messergebnisse der einzelnen Frequenzstufen (alle: vertikal 1 Volt/cm, Tastkopf 1:10)



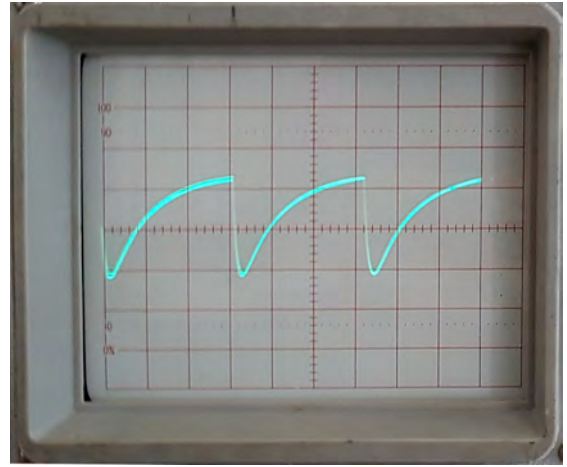
80 msec (10 msec/cm)



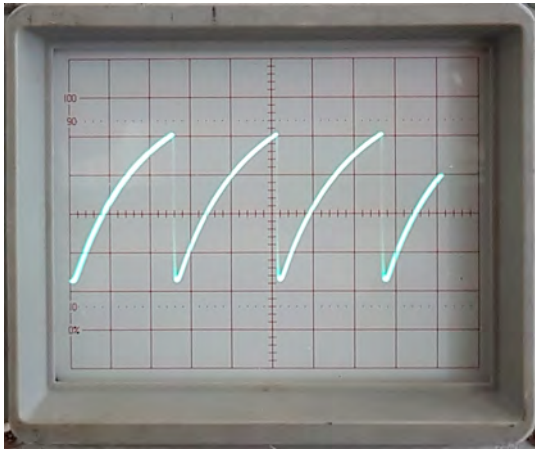
6 msec (2 msec/cm)



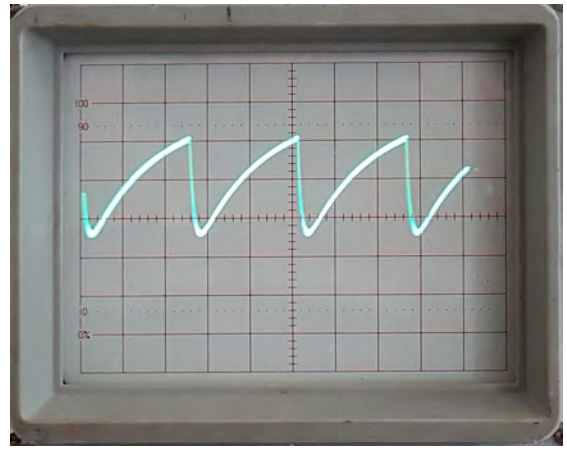
3 msec (1 msec/cm)



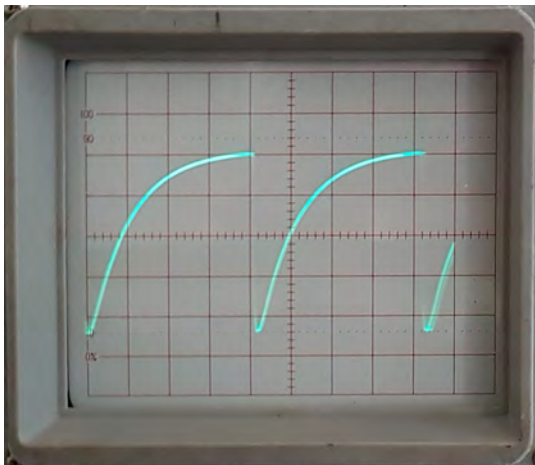
3 msec am Ausgang



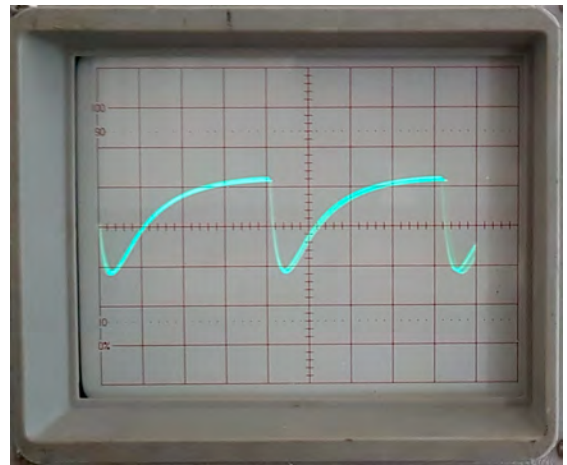
2,2 msec (1 msec/cm)



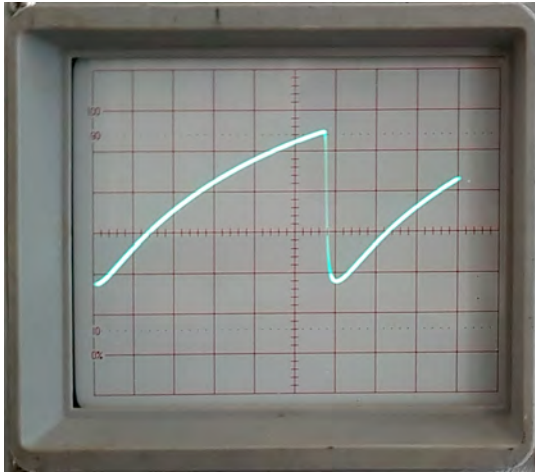
2,2 msec am Ausgang



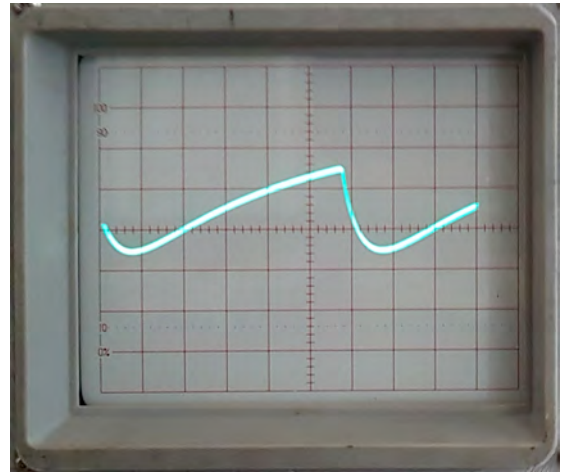
2 msec (0,5 msec/cm)



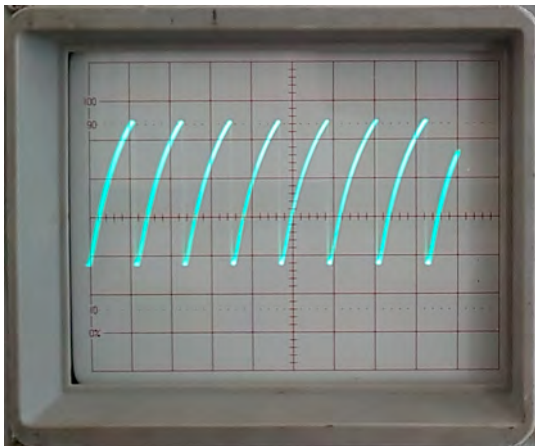
2 msec am Ausgang



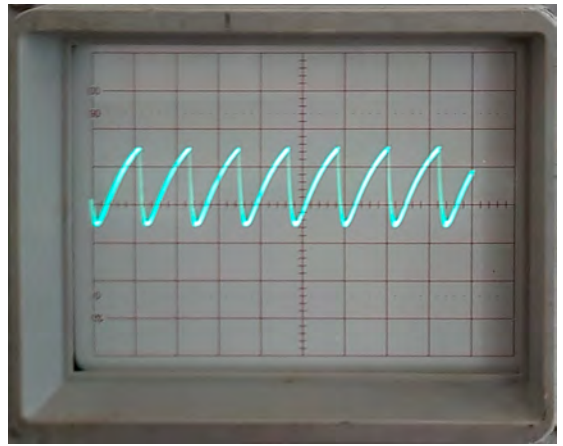
1,2 msec (0,2 msec/cm)



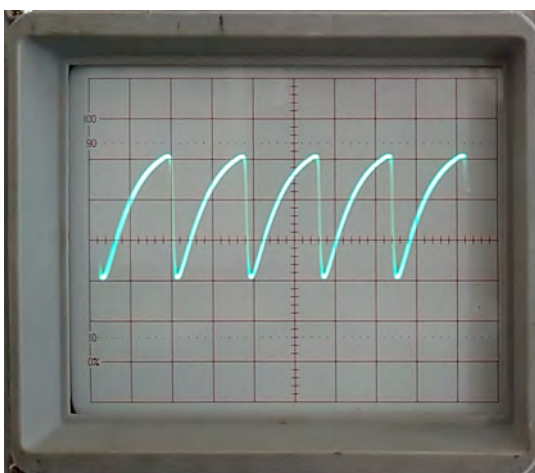
1,2 msec am Ausgang



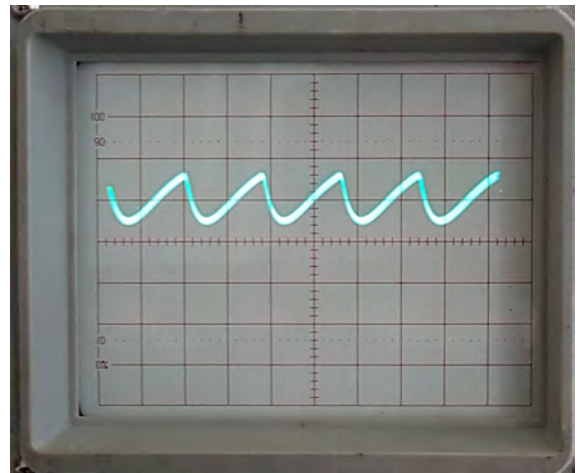
1 msec (1 msec/cm)



1 msec am Ausgang



400 μsec (0,2 msec/cm)



400 μsec am Ausgang

#### 4. Nachbau des Tastaturinterfaces

Da die Gerätekombination für medienarchäologische Experimente benutzt und die klanglichen Ergebnisse dokumentiert werden sollten, war es notwendig, ein funktionierendes Tastaturinterface zu haben. Es fiel daher der Entschluss, es nachzubauen.

Gehäuse, Layout der Schaltung und Bauteiledaten sollten kein Problem darstellen, die Daten waren ja bekannt. Als Tastatur wurde ein Teil eines nicht mehr benötigten Keyboards verwendet und mit Federkontakten entsprechend dem Original versehen. Großes Augenmerk wurde auf einen übersichtlichen und elektrotechnisch sicheren Aufbau gelegt. Kurze Kabelwege sollten dazu beitragen, Brummeinstreuungen hintanzuhalten.

Nach Inbetriebnahme stellte sich jedoch heraus, dass beträchtliche Einschränkungen auftraten, die es auch im Original gegeben haben muss.



Abb. 11 Das nachgebaute Tastaturinterface

Um eine bessere Differenzierung der Frequenzen durch die Stufenschalter und Tastenpotentiometer zu ermöglichen, wurde die Betriebsspannung auf 150 Volt erhöht (Einsatz einer VR150 entsprechend dem originalen Schaltplan) und zwei weitere Spannungslevel eingebaut: 130 Volt und 100 Volt. Dadurch war es möglich, die Strombegrenzung der drei Oszillatoren mit den Reglern A .. D genauer einzustellen, um den Abbruch der Schwingungen durch Stromsättigung zu vermeiden. Zudem wurde die Betriebsspannung mittels Zenerdioden auf 250 Volt stabilisiert.

Nach Zusammenschluss der Ausgänge der drei Oszillatoren stellte sich heraus, dass die Ausgangsspannungen der Oszillatoren nicht nur stark reduziert, sondern insbesondere stark frequenzabhängig sind. Wird ein abgeschirmtes Kabel am Ausgang angeschlossen, fällt die Ausgangsspannung durch dessen Kabelkapazität nochmals stark ab. Dies liegt daran, dass durch die Hochohmigkeit der Anordnung zusammen mit parasitären Kapazitäten eine Art Tiefpass entsteht. Als Ausgangsschaltung wurde daher ein Kathodenfolger mit einer Triode je Oszillator gewählt. Sie besitzt eine fiktive Eingangsimpedanz von rund 10 MΩ, was ausreichend ist, um die Glimmlampenoszillation nicht zu stark zu belasten. Der Ausgang ist niederohmig und kann mit beliebigen Kabeln mit der optischen Einheit verbunden werden. Die Umhüllung der Glimmlampen wurde beibehalten, obwohl sie keinen Effekt zeigt.

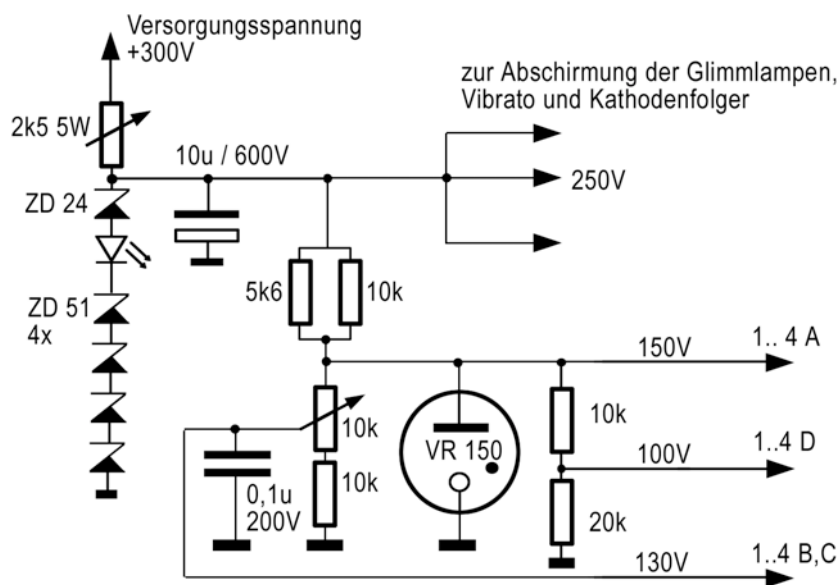


Abb. 12 Netzteil des Nachbaus

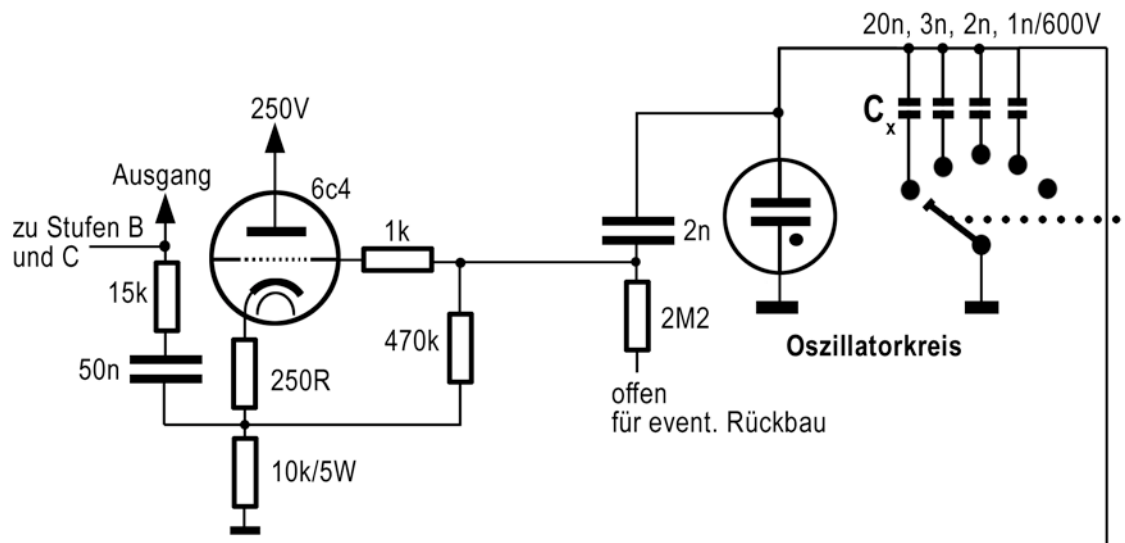


Abb. 13 Ausgangsschaltung mit Kathodenfolgern

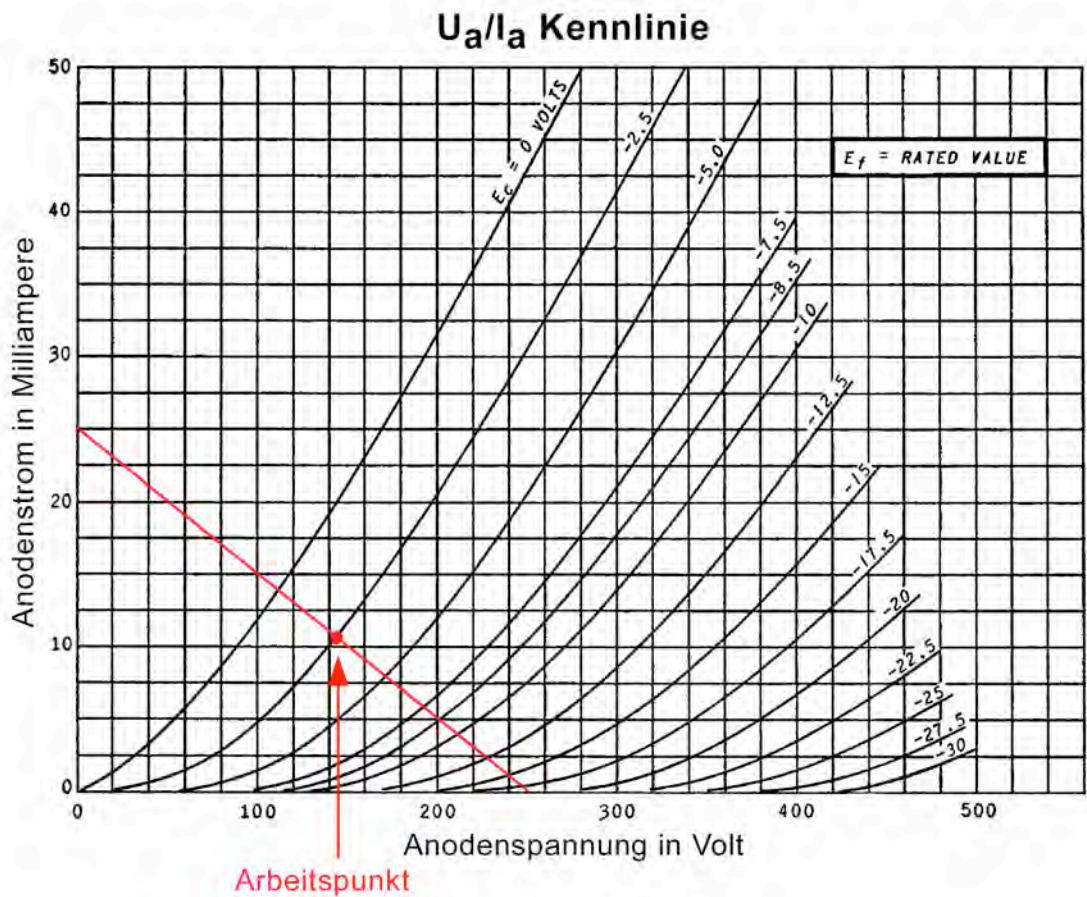


Abb. 14 Wahl des Arbeitspunktes der 6c4 zur Festlegung der Widerstände

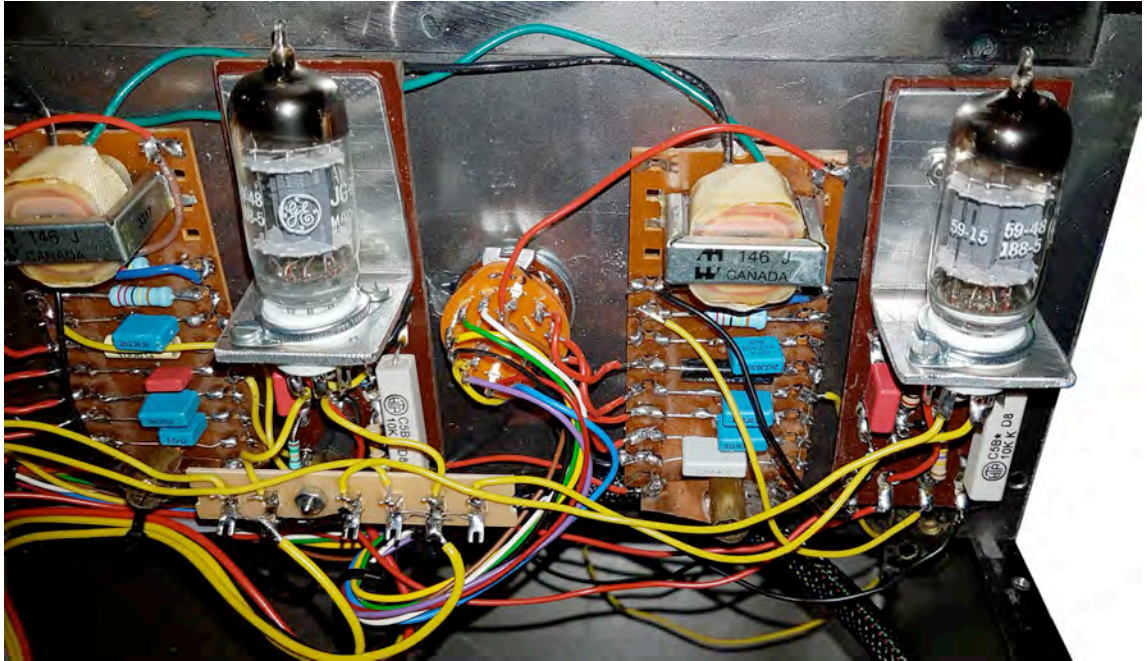


Abb. 15 Die Kathodenfolger neben den Oszillatorplatten

## 5. Rekonstruktion der optischen Einheit (des Flying spot scanners)

Nachdem dies als der eigentliche klangerzeugende Teil des Instruments anzusehen ist, der aber nicht kopiert oder nachgebaut werden kann, stand am Beginn die Analyse der vorhandenen Skizzen und Schaltpläne, die teils unvollständig, teils einander widersprechend vorgefunden wurden. Erst dann konnte die Entscheidung fallen, ob die Rekonstruktion überhaupt erfolgversprechend sein würde. Am Beginn stand eine Art Feasibility Study, die zeigen sollte, ob der Nachbau mit einem vertretbaren finanziellen und technischen Aufwand mit heute zugänglichen Bauteilen möglich wäre. Um Kosten zu sparen, wurde dazu ein herkömmliches Oszilloskop verwendet, dessen Bildröhre der Funktion des Scanners entspricht. Als fotosensitives Element wurde ein Fototransistor eingesetzt, die Anordnung mittels zweier handelsüblicher Sägezahngeneratoren betrieben und das Ergebnis auf einem Oszilloskopschirm beurteilt.

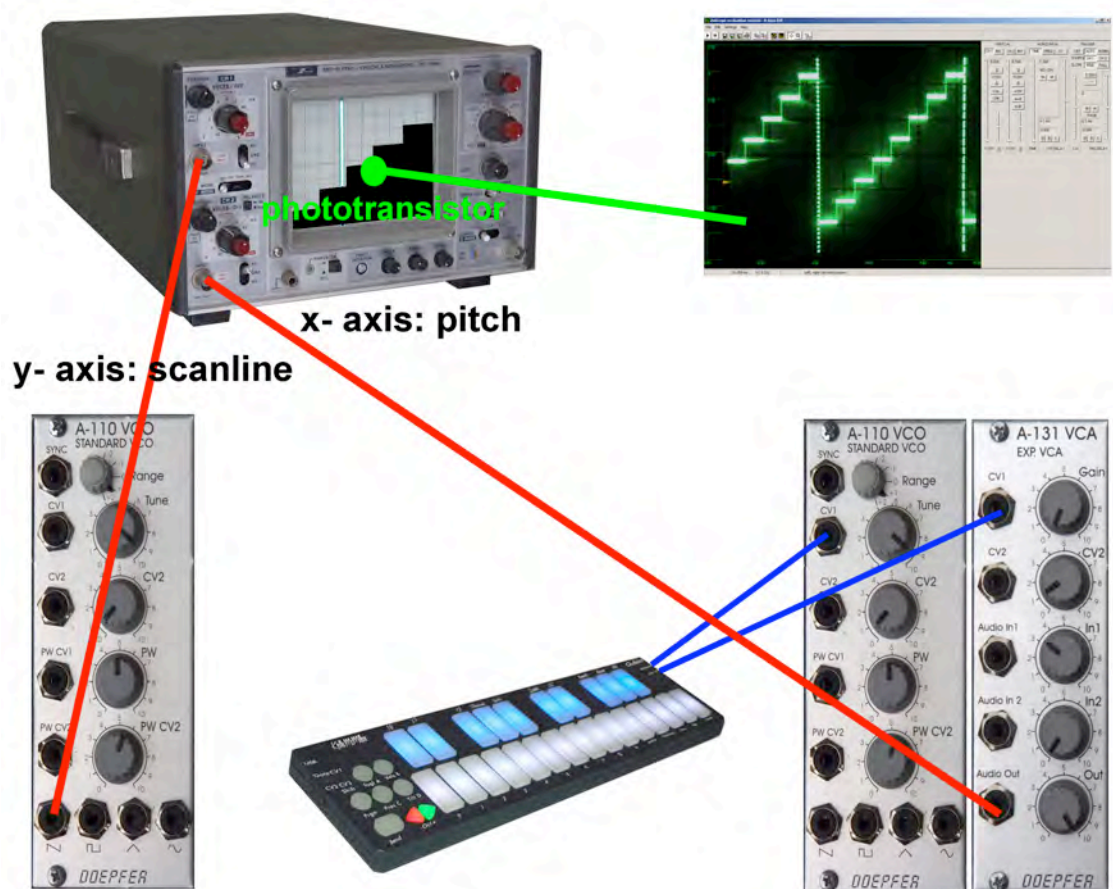


Abb. 16 Das Prinzip der Feasibility study

Das Ergebnis erwies die prinzipielle Machbarkeit. Weitere Recherchen ergaben, dass die Technik zur fraglichen Zeit durchaus bekannt war und die Arbeit Brands nicht als Pionierarbeit mit Alleinstellungsmerkmal zu betrachten ist. Ob Brand bzw. seine Techniker den state of the art kannten, ist nicht nachzuvollziehen. Sie entwickelten die Schaltungen jedenfalls selbst und wurden mit Schwierigkeiten konfrontiert, die sich einerseits durch die zahlreichen Schaltungsvarianten, aber auch durch die Probleme beim aktuellen Schaltungsaufbau manifestierten.

Bemerkenswert ist jedenfalls, dass es bereits 1949 ein fertiges Gerät von David E. Sunstein auf dem Markt gab (Patent US Patent 2,528,020).

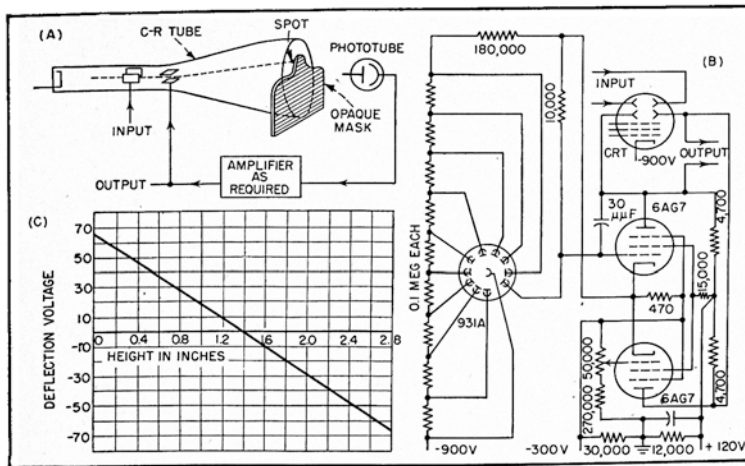


FIG. 1—Block and circuit diagrams for rectilinear waveshaper. Figure 1C shows linearity of response to mask height

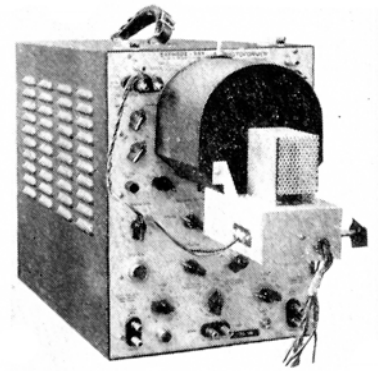


FIG. 2—Commercial oscilloscope converted to a waveform generator

Abb. 17 Das Gerät von Sunstein

### 5a. Sichtung der Schaltpläne

Wie bei den übrigen Teilen der Gerätschaften gibt es auch für den optischen Teil eine Reihe von Varianten. Was jedenfalls fehlt, sind genaue Konstruktionszeichnungen des Gehäuses. Die erwies sich im Zuge der Arbeiten als außerordentlich hinderlich. Es gibt nur vier Prinzipzeichnungen, deren Maßangaben jedoch teils unrealistisch sind.

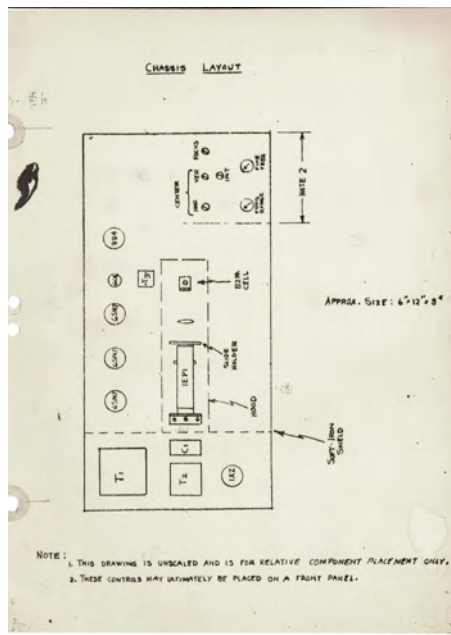


Abb. 18 Gehäusezeichnung 1

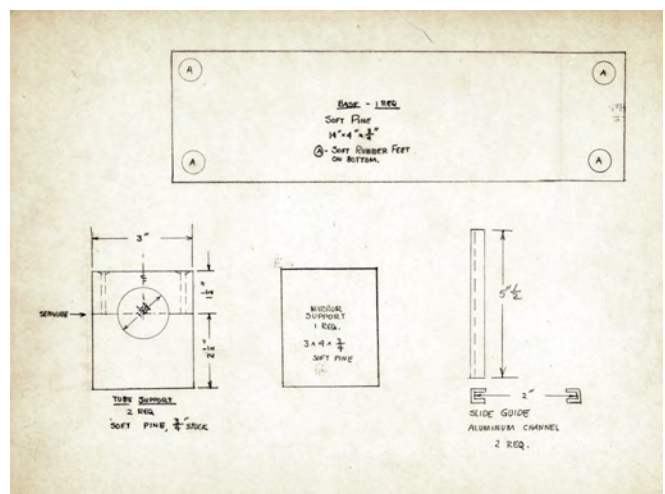


Abb. 19 Gehäusezeichnung 2

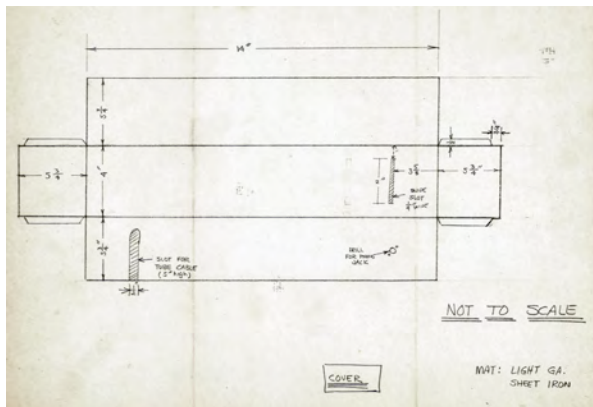


Abb. 21 Gehäusezeichnung 3

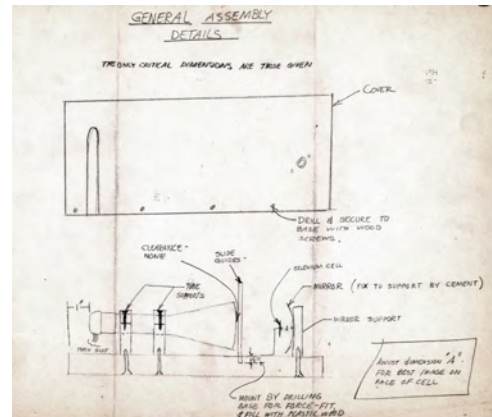


Abb. 20 Gehäusezeichnung 4

Grundlage für den Schaltungsentwurf war eine handgezeichnete Schaltung, die sämtliche Baugruppen bis auf die Spannungsversorgung enthält. Um herauszufinden, ob die Schaltungsdetails auch richtig wiedergegeben wurden, wurden die einzelnen Funktionsgruppen als Testschaltung aufgebaut. Dabei stellte sich heraus, dass beispielsweise der Vertikalgenerator keine brauchbare Signalform lieferte und daher durch eine passende Sägezahn-Schaltung ersetzt wurde.

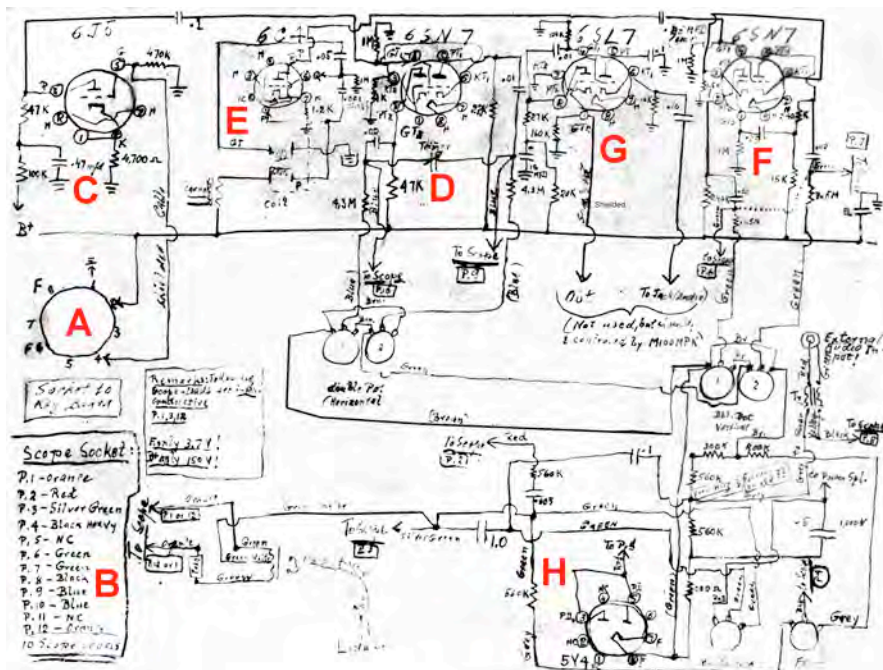


Abb. 22 Handgezeichnete Schaltung. A: Eingangsstecker, B: Sockel Oszilloskopröhre, C: Vorverstärker für Tonspannung, D: Horizontalverstärker, E: Sägezahn-generator, F: Vertikalverstärker, G: Verstärker für optisches Signal, H: Hochspannungsteil

Diese Schaltung kann sorgfältiger gezeichneten Detailschaltungen gegenübergestellt werden:

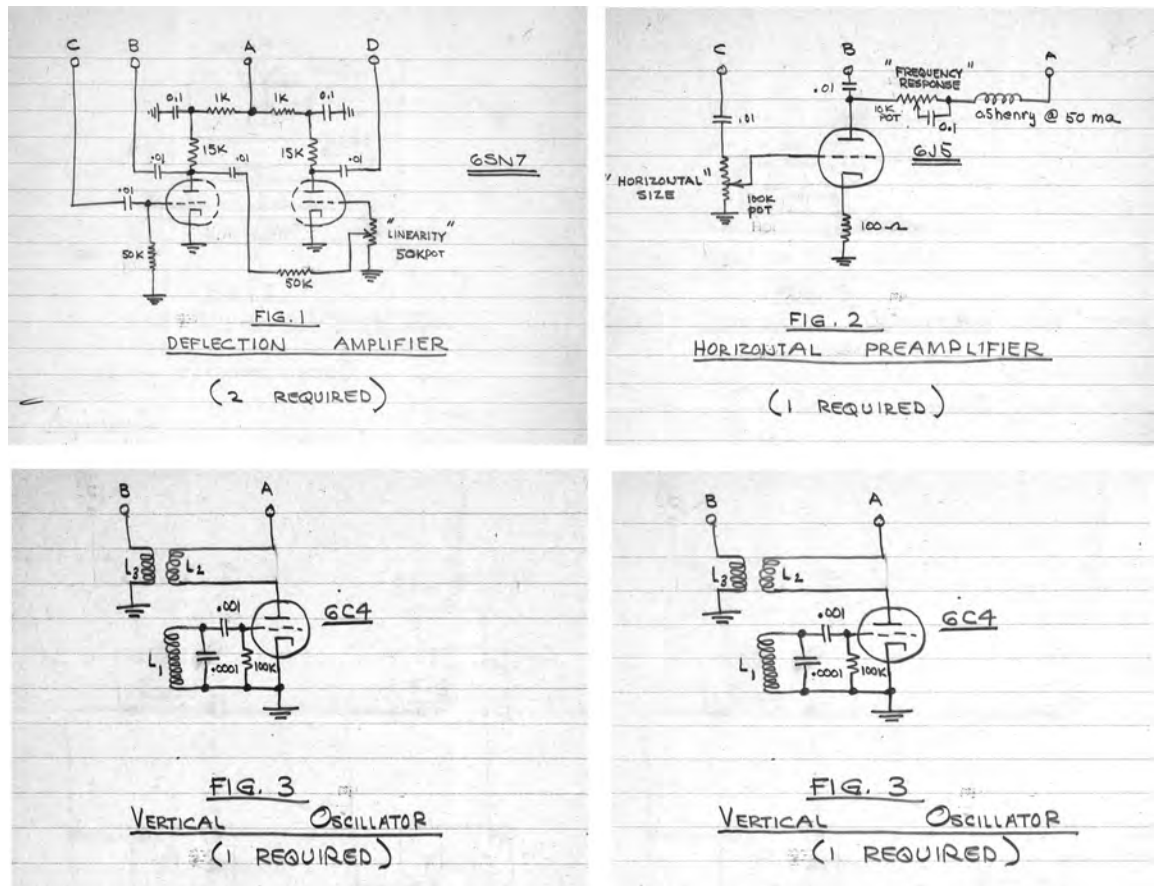


Abb. 23 Detailschaltungen

Schlussendlich fiel die Entscheidung doch zugunsten der handgezeichneten Schaltung, da sie offensichtlich eine existierende Ausführungsform wiedergibt. Dass dabei einige Fehler und Ungereimtheiten zu finden waren, zeigte die weitere Vorgangsweise.

Für den Netzteil fand sich eine Schaltung, die offensichtlich für den optischen Teil geeignet gewesen wäre. Aus Sicherheitsgründen wurde jedoch die Hochspannung für die Oszilloskopöhre und den Photomultiplier mit zwei Spannungsverdopplerschaltungen aufgebaut, um sie sauber voneinander zu trennen.

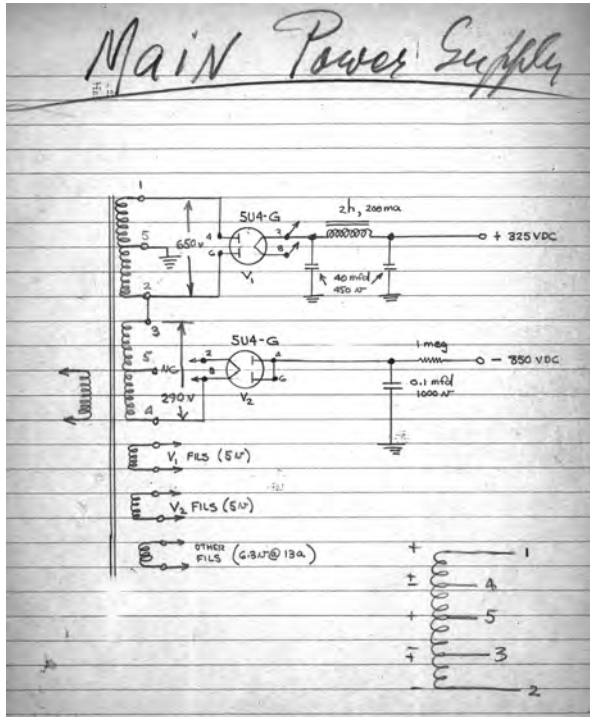


Abb. 24 Die wahrscheinliche Schaltung des Netzteils

Nach zahlreichen Experimenten mit einzelnen Baugruppen in Versuchsaufbauten wurde ein Schaltplan erstellt, der als Grundlage der Rekonstruktion diente.



Abb. 25 Arbeitsplatz für die Arbeit an Versuchsschaltungen

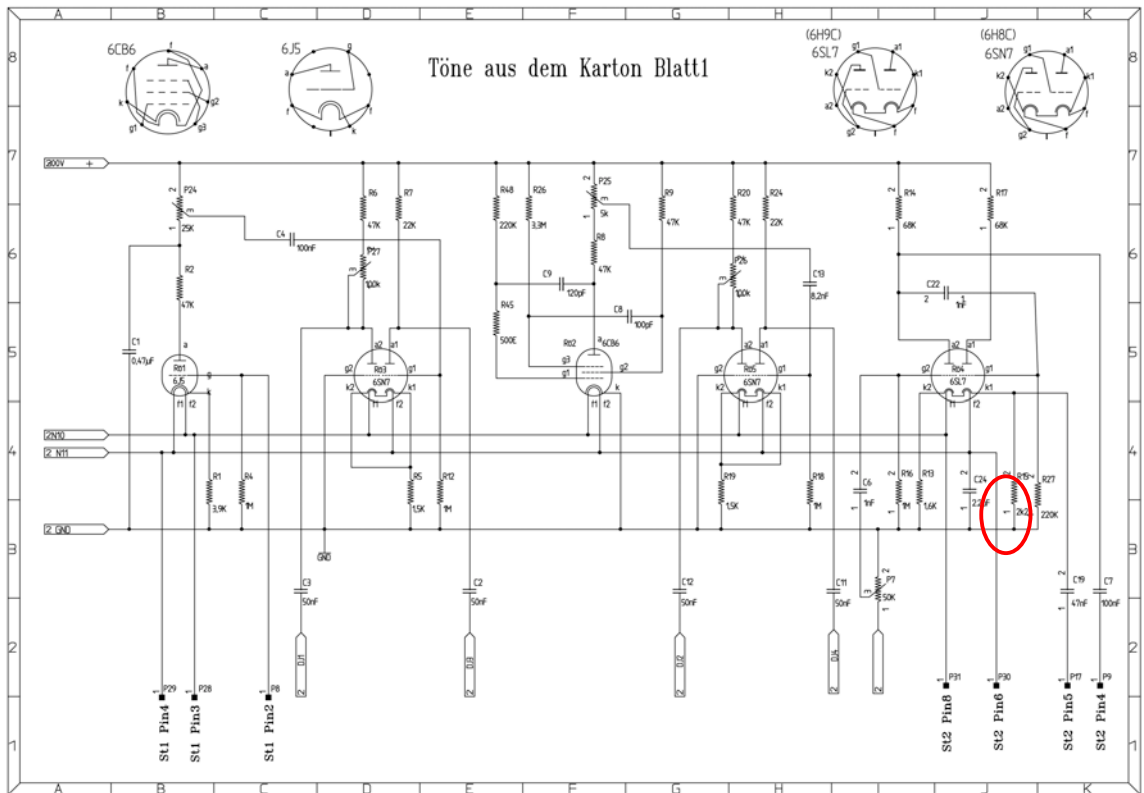


Abb. 26 Schaltplan Teil 1

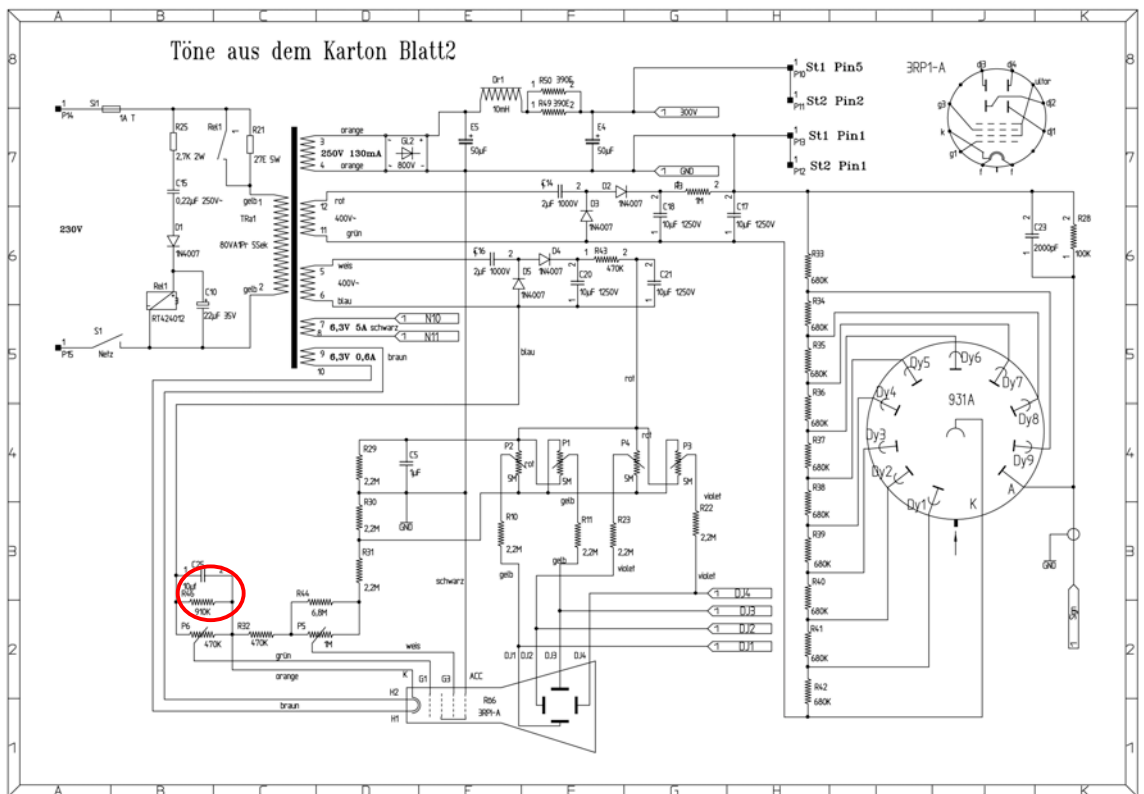


Abb. 27 Schaltplan Teil 2

## 5b. Zusammenbau der einzelnen Baugruppen

Das Gerät ist in zwei Gehäuseteilen untergebracht, wovon einer (für die Oszilloskopröhre und den Photomultiplier) lichtdicht sein muss. Für den Einschub der Masken für die Wellensynthese wurde eine Schleuse vorgesehen. Schon beim Zusammenbau erwies sich, dass die Gehäuseteile entgegen der Maßangaben in den Zeichnungen Abb. 18 bis 21 zu knapp bemessen sind. Es passt zwar alles in die Gehäuse hinein, die enge Nachbarschaft der Baugruppen sorgte aber zu verschiedenen Einstreuungen, wie später besprochen wird.



Abb. 28 Beispiel einer Tonschablone

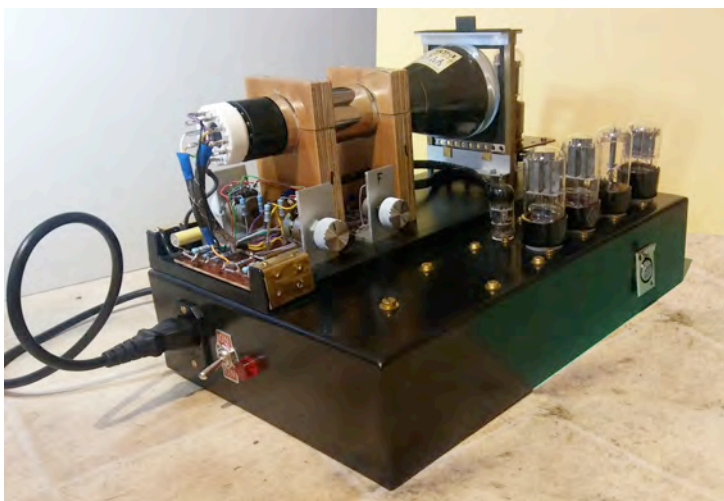


Abb. 29 Das zusammengebaute Gerät

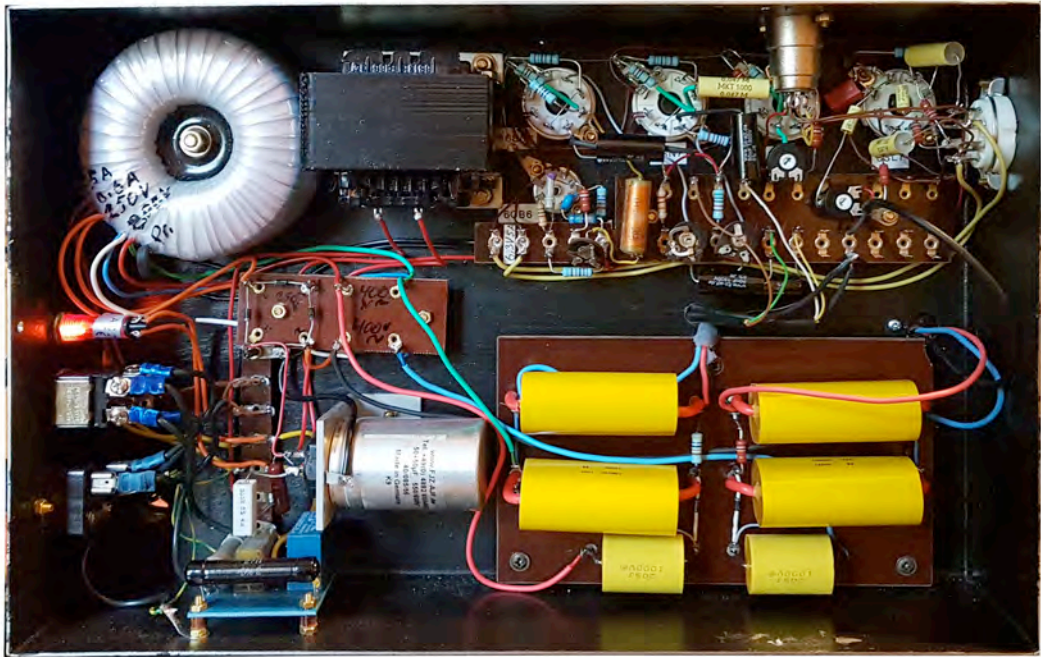


Abb. 30 Die Verdrahtungsseite des Geräts



Abb. 31 Die fertige Oszilloskopeinheit

## 6. Debugging



Abb. 32 Das fertige und zusammengestellte Geräteensemble

Nach Fertigstellung der beiden Nachbauten stellten sich einige Probleme heraus, die beseitigt werden mussten. Über die Anpassungen am Tastaturteil wurde bereits berichtet. Im optischen Teil ergaben sich folgende Probleme:

1. eine starke Brummeinstreuung

Obwohl die Spannungsversorgung sorgfältig gesiebt war, zeigten sich (vor allem durch Streufelder aus der Umgebung) wegen der Hochohmigkeit der Schaltung eine starke Brummspannung am Ausgang. Abhilfe konnte mittels eines Kondensators zwischen einer Heizleitung und Masse geschaffen werden (rot markiert in Abb. 26).

2. Der Photomultiplier zeigt eine Nichtlinearität in der Empfindlichkeit bei höheren Lichtstärken. Diese konnte nur durch Reduktion der Helligkeit am Oszilloskopschirm umgangen werden.
3. Das Ausgangssignal ist stark verrauscht. Das kommt nicht vom Photomultiplier, sondern vom Strahl auf dem Oszilloskopschirm. Ein Kondensator parallel zum Helligkeitspotentiometer (rot markiert in Abb. 27) konnte den Effekt zwar mildern, aber nicht beseitigen. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die

Beschichtung des Oszilloskopschirms durch ihre körnige Struktur das Rauschen verursacht. Mögliche Abhilfen sind: Austausch aller in diesem Stromzweig befindlichen Widerstände gegen rauscharme Metallschichtwiderstände und die Steigerung des Strahlstroms mit gleichzeitigem Graufilter vor der Röhre, um den Photomultiplier nicht zu übersteuern.

4. Die Empfindlichkeit des Photomultipliers ist auf einen kleinen Öffnungswinkel beschränkt. Außerhalb dieses Bereichs nimmt das Signal stark ab (siehe Abb. 32). Leider gibt es in den Datenblättern keine Angaben dazu. Das führt zu dem irritierenden Effekt, dass am Ausgang bereits ein sinusähnliches Signal auftritt, wenn die leuchtende Linie am Oszilloskopschirm von links nach rechts bewegt wird, ohne dass noch eine Klangschablone eingeschoben ist. Abhilfe kann nur dadurch geschaffen werden, dass entweder der Multiplier wesentlich weiter vom Oszilloskopschirm entfernt wird (was einen Gehäuseneubau bedeutet) oder dass der ganze Oszilloskopschirm mit eine Fresnellinse genau auf die Kathode des Multipliers abgebildet wird. Dies wird nun versucht werden.

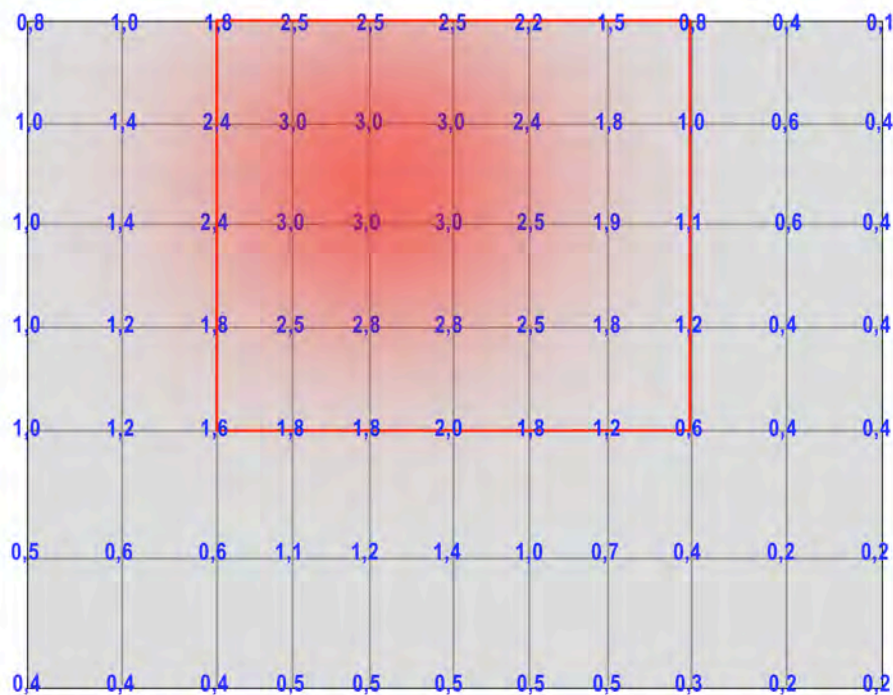


Abb. 33 Derzeitige Empfindlichkeitsverteilung des Photomultipliers.

Rotes Rechteck: Fenster für die Tonschablonen

## 7. Der Filterbaustein

Das Signal der Oszilskopeinheit wurde durch eine Klangformungseinheit geschickt. Am Netzteil-Stecker dieser Einheit steht „Attack-Decay“, was darauf schließen lässt, dass es vor allem um einen Hüllkurvengenerator ging. Im Gerät befinden sich aber auch Bauteile für Klangfilter und Signalverstärkung. Es gibt voneinander unabhängige Schaltungsbereiche; das Signal konnte über die Frontplatte an verschiedene Eingängen verschaltet werden.



Abb. 34 Frontplatte (Beschriftung nachträglich am Foto).

Das Gerät ist als 19 Zoll Einschub mit drei Höheneinheiten ausgeführt. Auf der Frontplatte befinden sich:

1. Acht Klinkenstecker (In der weiteren Folge mit J1-J8 bezeichnet)
2. Zehn Potentiometer (P1-P10), wovon acht als Getriebepotentiometer mit einer Skala von 1-10 ausgeführt sind.
3. Fünf Schalter (S1-S5) wobei S1 und S4 Drehschalter mit fünf Positionen sind; die anderen Schalter sind Kippschalter mit jeweils zwei Positionen.

Die Frontplatte ist mit einer Grundplatte verschraubt.

An der Oberseite dieser Grundplatte befinden sich Bauteile, wie Röhren, Transformatoren, ein Relay und ein großer Elektrolytkondensator.

An den beiden Drehschaltern (S1 und S4) sind Kondensatoren direkt angelötet.

Am hinteren Ende befindet sich ein Oktalstecker zur Verbindung mit einem Netzteil.



Abb. 35 Grundplatte Oberseite (Beschriftung: T=Transformator, U=Röhre, X=externer Netzteil).



Abb. 36 Oktalstecker zum Netzteil. Beschriftung: „ATTACK-DECAY PWR PLUG“

Die Anschlüsse dieses Steckers an der Grundplatte sind in Abb. 35 und im Schaltplan mit X beschriftet.

An der Unterseite der Grundplatte befindet sich die Verkabelung inklusive Lötstützpunkte, alle Widerstände, weitere Transformatoren und Kondensatoren.

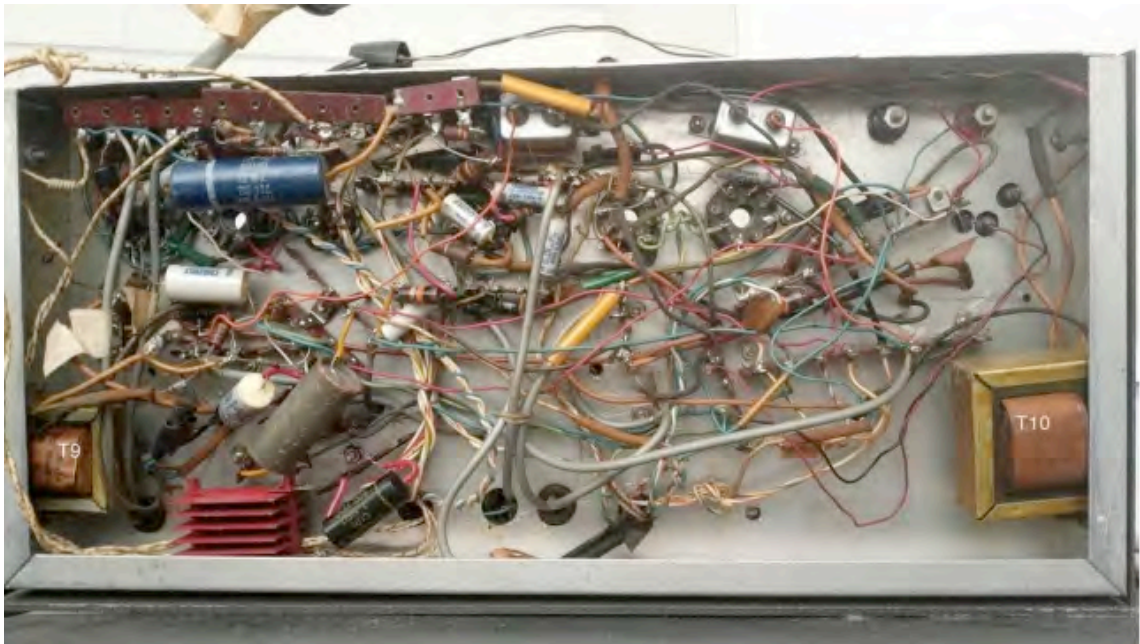


Abb. 37 Grundplatte Unterseite

Die Anordnung lässt erkennen, dass das gesamte Gerät ein „Work in Progress“ gewesen zu sein scheint. Auf der linken Seite besteht eine große Dichte an Bauteilen und auch eine Schichtung in zwei Ebenen, an der rechten Seite hingegen gibt es noch einigen Platz für etwaige weitere Bauteile.

Einige Bauteile sind nicht mit der restlichen Schaltung verbunden, sind also „abgehängt“ worden oder für eine andere Variante der Schaltung vorgesehen, die nicht fertig gestellt wurde. Die Kabel sind lose verlegt, zum Teil mit Textil-Isolierung, andere sind kunststoffisoliert, einige sind als einpolig geschirmte Kabel ausgeführt.

Der Zustand des Gerätes ist nicht funktionstüchtig. Einige Kabel sind nicht verbunden, Lötstützpunkt-Leisten und einige Lötstellen sind gebrochen. Es lässt sich an diesen Stellen nicht sagen, wie die Schaltung tatsächlich verlötet war.

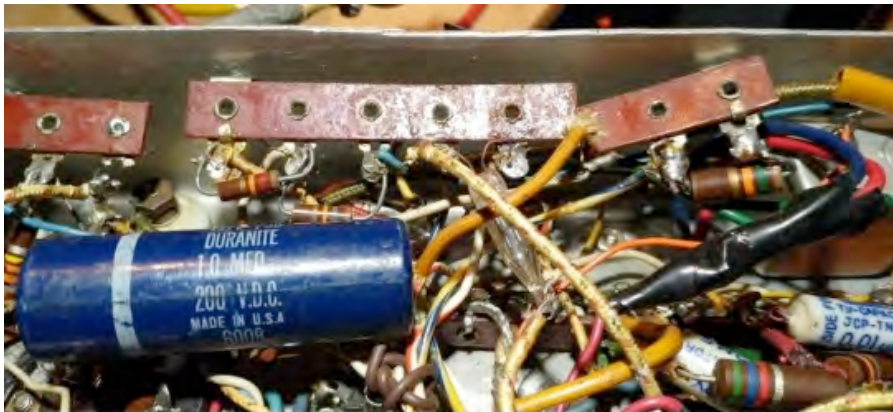


Abb. 38 Gebrochene Lötfläche (oben links), gebrochener Lötstützpunkt (oben rechts)

Folgende Verdrahtung wurde vorgefunden:

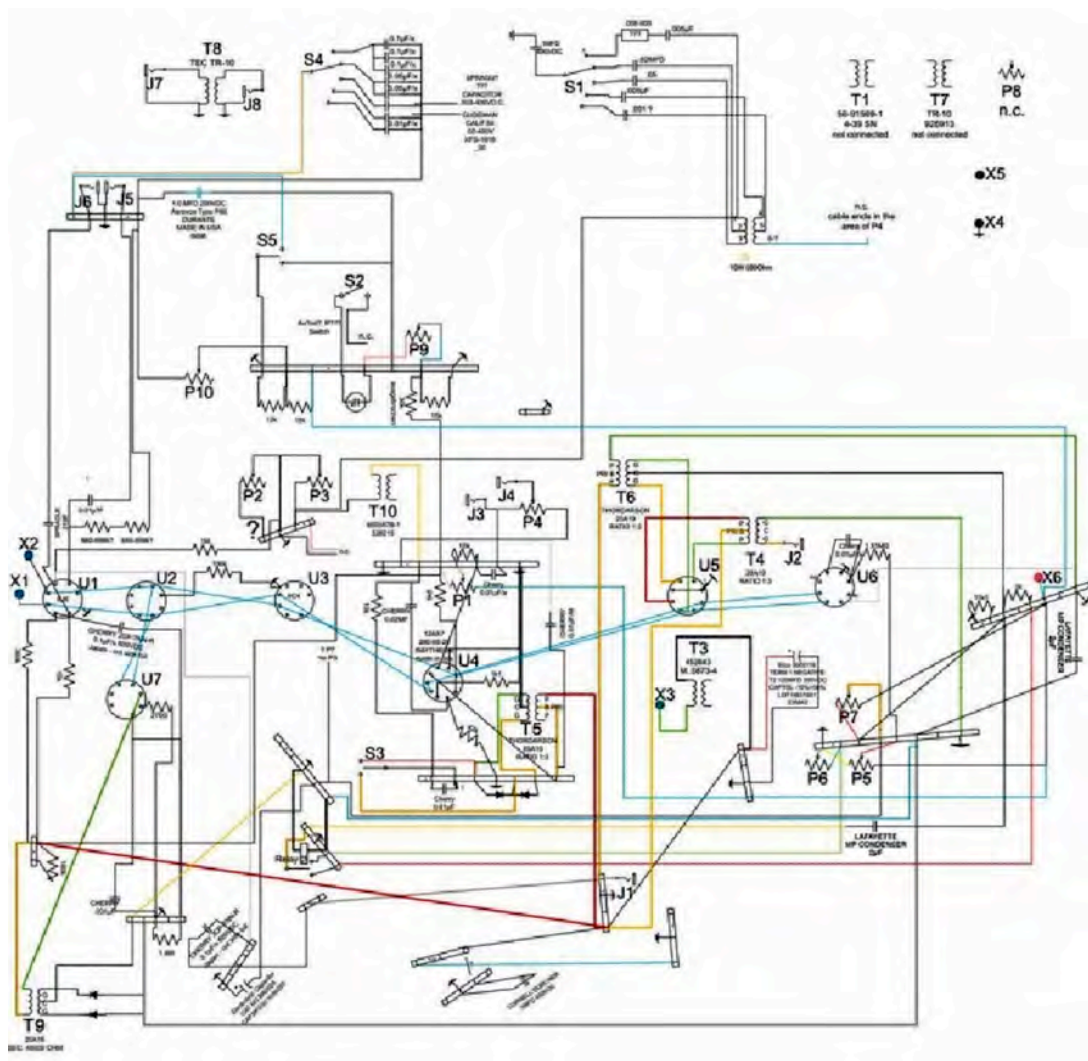


Abb. 39 Verdrahtungsplan

Folgende Röhren waren vorhanden (siehe auch Abb. 34):

1. U1: B7G-Sockel, 6J6 Doppeltriode
2. U3: B7G-Sockel, 6C4 Triode, nicht vollständig verdrahtet
3. U4: B9A-Noval Sockel, 12AX7 Doppeltriode

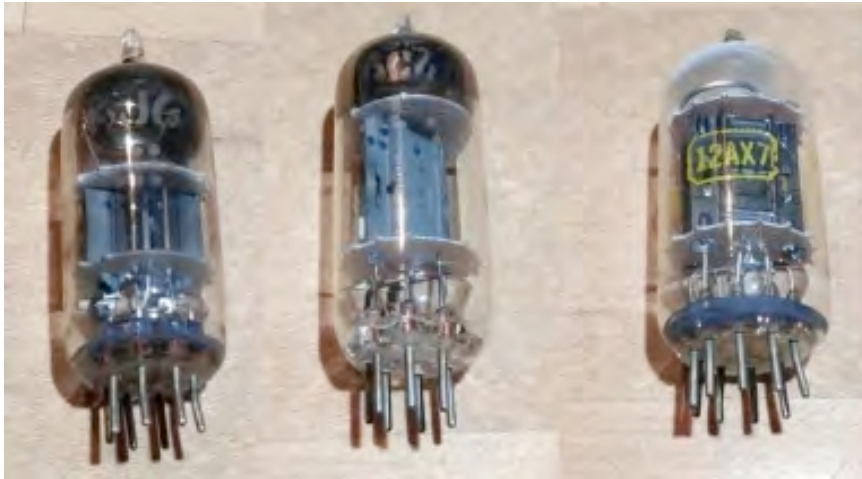


Abb. 40 Röhren 6J6, 6C4, 12AX7

Röhrensockel ohne Röhre, aber vollständig verdrahtet:

1. U5: Oktal-Sockel, verdrahtet als Doppeltriode
2. U7: B7G-Sockel, beschriftet mit 6BN4

Röhrensockel ohne Röhre, nicht vollständig verdrahtet:

1. U2: Oktal-Sockel, nicht vollständig verdrahtet
2. U6: Oktal-Sockel, nicht vollständig verdrahtet

Die insgesamt zehn Transformatoren wurden zum Teil nur als Spulen verwendet.

Die Induktivitäten sind im Schaltplan angegeben.

1. T1: 56-91569-1, 4-39 SN, nicht verbunden (!)
2. T2: Chicago Standard Transformer Corp., A3841, Spule mit mehreren Abgriffen in flter1 T3: 452843, M..0873-4, Spule zur Siebung der Anodenspannung
3. T4: Thordarson, 20A19, Ratio 1:3, Impedanzanpassung in Sektion Attack
4. T5: Thordarson, 20A19, Ratio 1:3, bei Gleichrichter in Sektion Filter1
5. T6: Thordarson, 20A19, Ratio 1:3, Regelung in Sektion Attack
6. T7: TR-10, 926913, nicht verbunden (!)
7. T8: TEC TR-10, Trenntrafo
8. T9: 20A16, Relay-Spannung Sektion Attack
9. T10: 650587B-1, 328215, Spule in Filter1

In der Schaltung der Sektion „Attack“(s.u.) wurden zwei Kondensatoren der Marke Lafayette verbaut:

Bezeichnet: Lafayette Radio Corp., MP Condenser Type CF-114, Cap. 2MF, W.V. 150 V.D.C



Abb. 41 Lafayette Condenser

Schaltplan: (erstellt nach der Analyse der Verdrahtung)

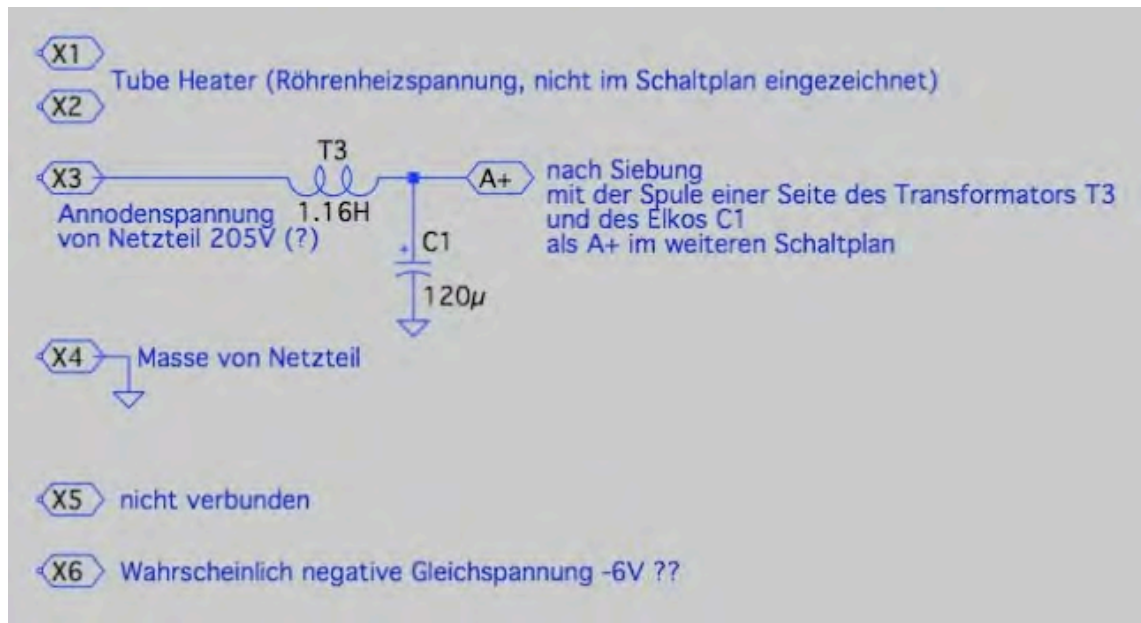


Abb. 42 Schaltplan #0: Netzteil-Anschlüsse. Die in Abb. 34 mit X1-X6 beschrifteten Anschlüsse des Oktalsteckers vom Netzteil

Die vorgefundene Schaltung kann in 4 Sektionen unterteilt werden, wobei jeweils 2 Klinkenbuchsen an der Frontplatte als Ein- und Ausgang fungieren.

### ***Sektion Attack (J1, J2):***

Das Signal an J1 wird aufgeteilt. Ein Teil geht zu einer Ausgangsschaltung, ein zweiter wird verstärkt und gleichgerichtet, um ein Relay zu schalten, welches den anderen Zweig des Signals mit einem „Attack“ beeinflusst. Nach Verstärkung über die Röhre U5 wird das Signal an den Ausgang J2 weitergegeben.

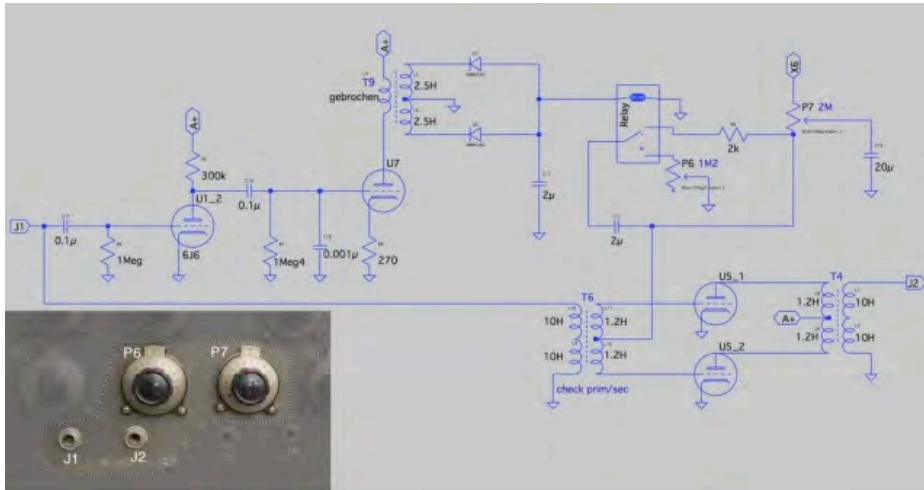
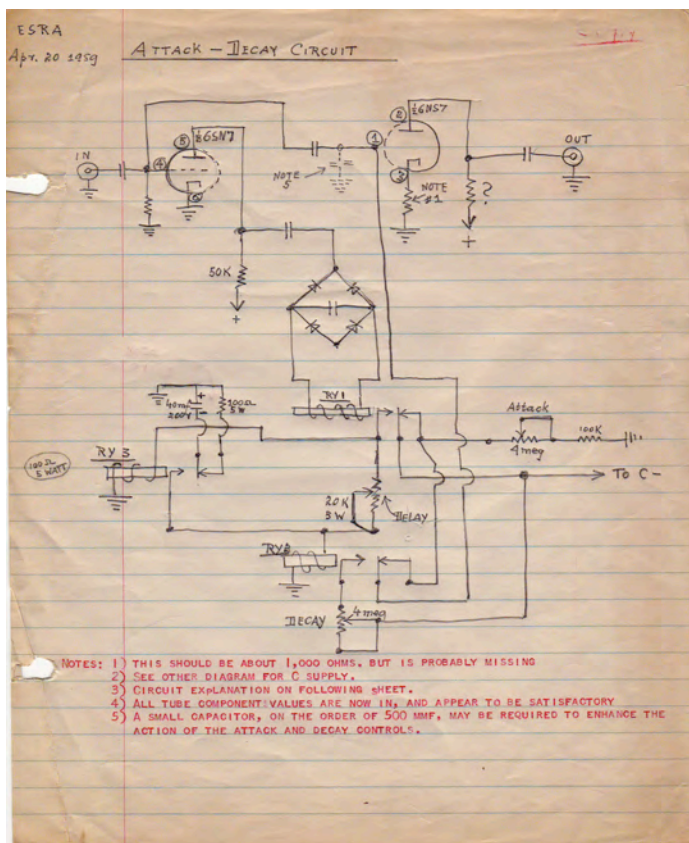


Abb. 43 Schaltplan #1: Sektion „Attack“

Die Funktion „Decay“, von der in den historischen Schaltplänen die Rede ist, kann auch im aktuellen Gerät nicht verifiziert werden, da die Steuerspannung für das Gitter der Röhren U5 zwar ein Abklingen ermöglichen würde, das Eingangssignal nach Loslassen der Taste aber fehlt und der Klang daher nicht abklingen kann.



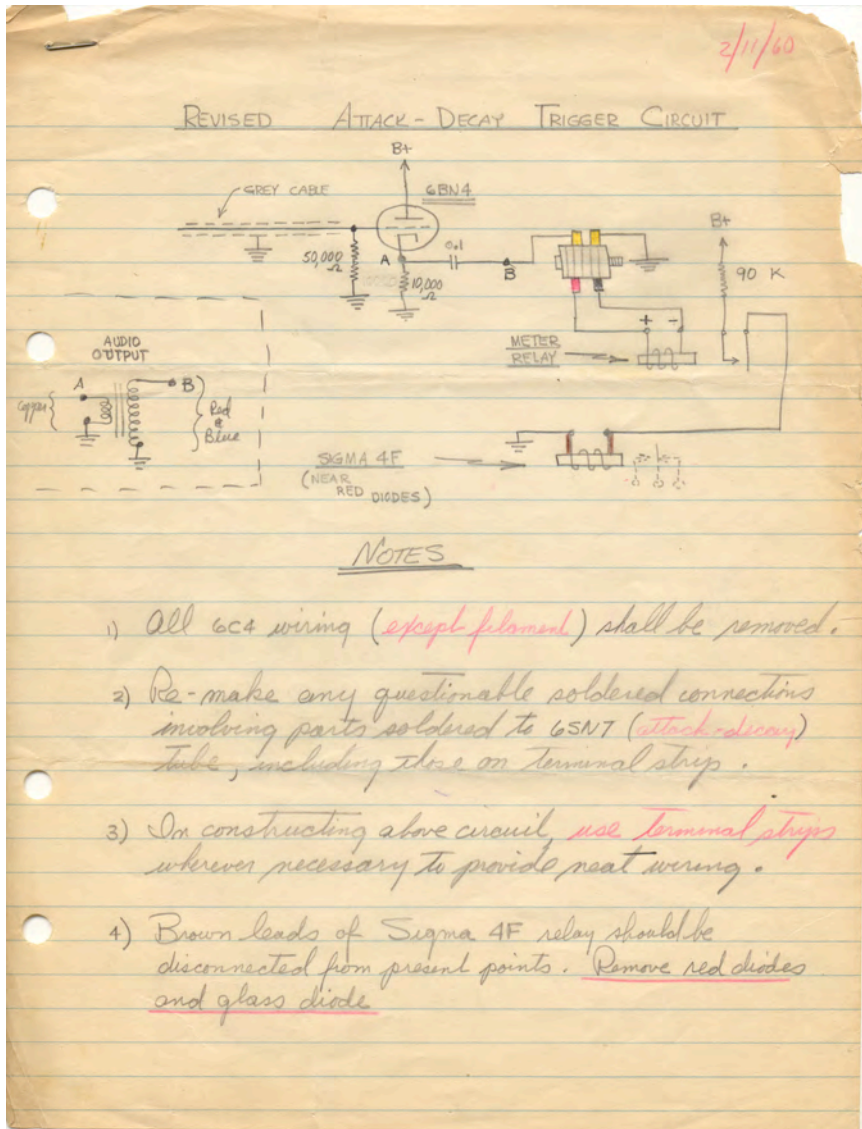


Abb. 44 Zwei einander widersprechende Schaltungen für Attack-Decay aus dem Nachlass Brand. Keine der beiden entspricht der vorgefundenen Schaltung

*Sektion Filter 1 (J3, J4):*

Die hier vorgefundene Verkabelung ergibt keinen funktionierenden Signalfluss. Ein Fehler ist sehr wahrscheinlich. J4 wäre logischer Weise der Ausgang, ist aber an P4 als Schleifer verlötet. P1 dient zur Einstellung der Gittervorspannung und damit zur Verstärkung. T2 bis S1 bilden einen umschaltbaren Resonanzkreis, wie er bei vielen elektronischen Instrumenten zur Imitation von Blasinstrumenten diente. Die Funktion der beiden Dioden ist nicht verständlich, da deren Gleichspannungsausgang mit einem Kondensator abgeblockt und daher unwirksam wird.

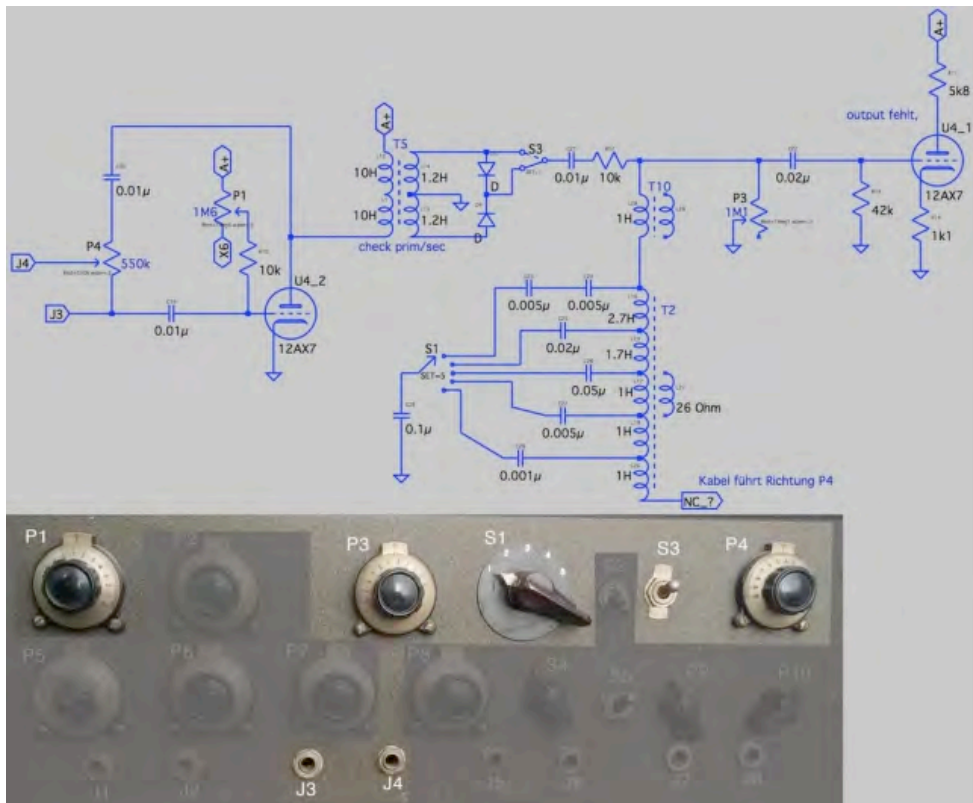


Abb. 45 Schaltplan #2: Filter

*Sektion Filter 2 und Verstärker (J5, J6):*

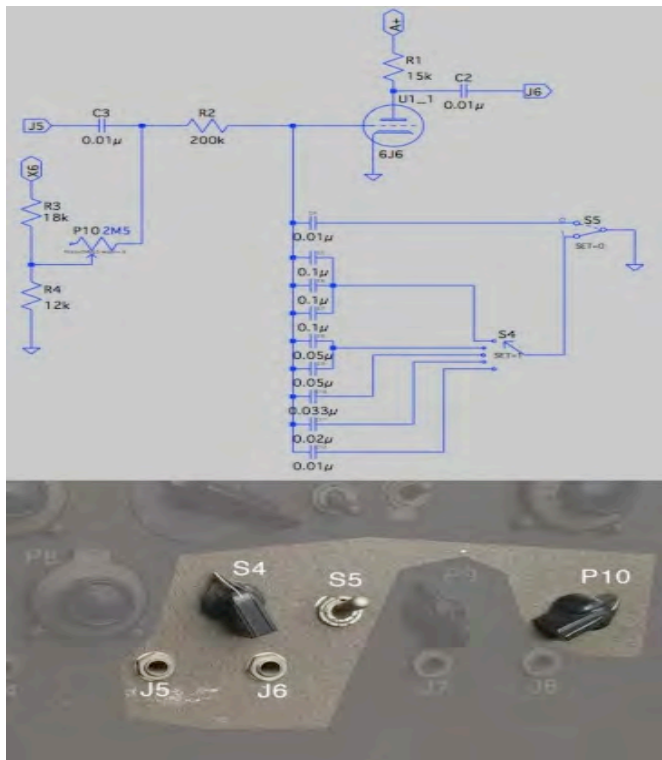


Abb. 46 Schaltplan #3: Filter & Verstärker

Das Signal vom Eingang J5 wird über einen LowPass Filter geschickt, der durch Anwahl der Kapazitäten über die Schalter S4 und S5 einstellbar ist. Danach wird das Signal über die Röhre U1 verstärkt und liegt auf J6 als Ausgang an.

*Sektion Trenntrafo (J7, J8):*

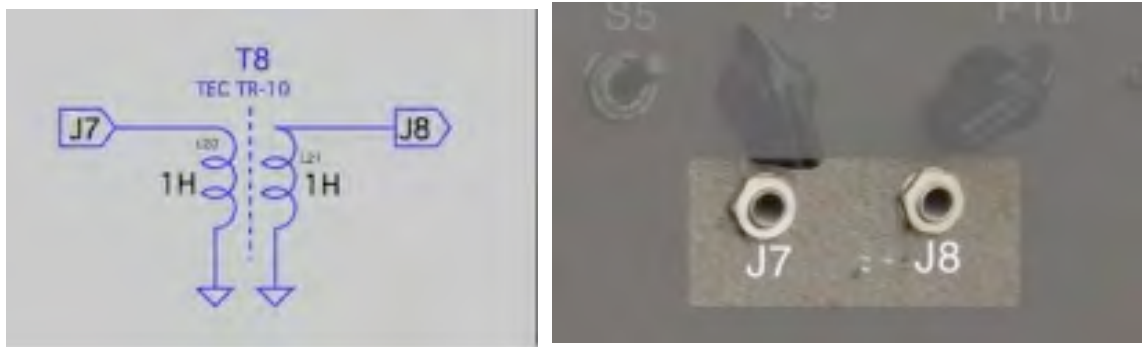


Abb. 47 Schaltplan #4 Ein einfacher Trenntransformator

*Weitere Bauteile und Schaltungsfragmente sind nicht verbunden:*

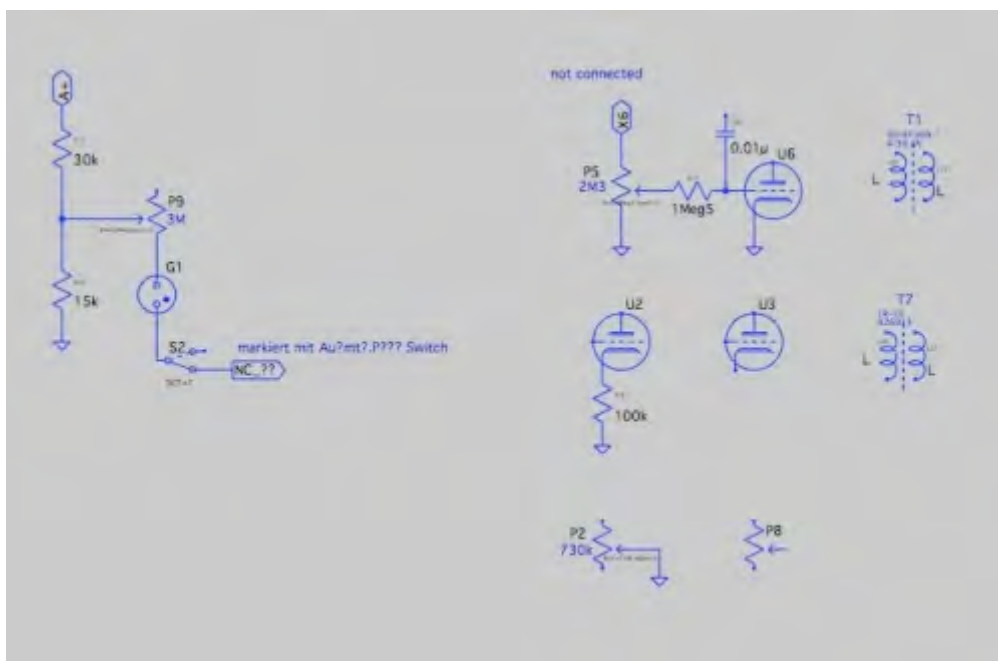


Abb. 48 Schaltplan #5: nicht verbundene Fragmente

## Schlussbemerkung

1. Die vorhandenen Schaltpläne aus dem Nachlass Brand betreffen drei Einheiten: Das **Tastaturinterface**, den „**flying spot scanner**“ (die Optikeinheit) und den **Filterbaustein**. Für jede Einheit sind mehrere, teils einander widersprechende Versionen vorhanden. Da nur zwei der Geräte vorhanden sind, war ein Abgleich mit der vorhandenen Hardware notwendig.

2. Die **Analyse des Filterbausteins** erwies, dass er wegen großer Abweichungen von den Schaltplänen, fehlender Bauteile, abgerissener Drähte und mangelhafter elektrischer Verkabelung nicht in Betrieb gehen kann, wegen der Defizite auch nicht nachgebaut werden kann. Das behindert die weitere Arbeit aber nicht, da die Funktionen mit heutigen analogen Baugruppen (z.B. der Firma Doepfer) realisiert werden können.

3. Die **Analyse des Tasteninterfaces** ergab teils beträchtliche Abweichungen von den Schaltplänen. Es ist aber vollständig, sollte aber wegen elektrischer Mängel und aus konservatorischer Rücksicht nicht in Betrieb genommen werden. Es wurde daher nachgebaut, weil seine Funktion für das Gesamtgerät unabdingbar ist. Wegen Problemen mit dem Ausgangspegel und der Stabilität waren Ergänzungen notwendig.

4. Ein **physisches Vorbild der optischen Einheit fehlt**, dieser Teil wurde entweder bei der Übersiedlung Brands nicht mitgenommen oder ging beim Transport verloren. Es musste daher nach vorhandenen Schaltskizzen gearbeitet werden, um zu einem funktionierenden Gerät zu kommen. Nach gründlicher Analyse der vorhandenen Schaltungsfragmente fiel die Entscheidung, ein handgezeichnetes Exemplar als Grundlage für die Rekonstruktion zu verwenden.

Testschaltungen einzelner Baugruppen erwiesen die Notwendigkeit, Fehler in der Zeichnung und Mängel in der Funktion durch Modifikation zu beseitigen. Trotz sorgfältiger Vorarbeit zeigten sich nach dem Zusammenbau große Schwierigkeiten, die auf gegenseitige Beeinflussung der Baugruppen, auf Brummfeldeinstreuungen etc. zurückzuführen sind. So musste z.B. ein zweiter Hochspannungsnetzteil eingebaut werden, um die Oszilloskopröhre vom Photomultiplier elektrisch zu trennen.

5. Nach **Zusammenschluss von Tasteninterface und optischer Einheit** erwies sich die Anlage als prinzipiell funktionstüchtig und konnte am 14. Juni 2019 im kleinen Kreis der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Ein Vortrag vermittelte dazu die nötigen Informationen zum historischen Vorbild und zu den technischen Gegebenheiten. Die technischen Details sind (wie früher beschrieben) erfasst und dokumentiert.

Das Ergebnis zeigte klar, warum Brand seit dem Erstentwurf (1957) bis zum letzten datierten Schaltplan (1960) am Gerät Veränderungen angebracht hatte und schlussendlich die Sache wegen „unreliabilty“ zugunsten des Moogtoniums aufgab, wie ein Freund von ihm in einem Interview mitteilte: man arbeitete „hit of miss“ (auf gut Glück). In Unkenntnis der zu dieser Zeit bereits existierenden Vergleichsgeräte war Brand der Meinung, dass kein anderes „sound shaping system“ existierte. Die Probleme zeigten sich auch in der Rekonstruktion: starkes Rauschen des Signals am Bildschirm der Oszilloskopröhre und eine einfallswinkelbedingte Empfindlichkeitsabhängigkeit des Photomultipliers, was zu unerwünschten akustischen Nebeneffekten führt. Beide Mängel werden in einem weiteren Schritt zu beseitigen sein.

Folgende Personen waren an den Teilen des Projekts beteiligt (in alphabetischer Folge):

### **Peter Donhauser (Nachbau Tasteninterface)**

Jahrgang 1948, Wien. Studium an der Universität Wien (Mathematik, Physik und Chemie). Unterrichtstätigkeit an einem Gymnasium und für Erwachsenenbildung. Professor an einer pädagogischen Akademie. Aufbau einer interaktiven Physikabteilung im Technischen Museum Wien. Ab 1992 Sammlungsleiter für die Bereiche Physik, Musiktechnik, Medizintechnik, Datenverarbeitung, Drucktechnik, Post- und Fernmeldewesen, Rundfunk und Fernsehen, Fotografie und Film. 1997 – 1999 Museumsdirektor, Wiedereinrichtung der Schausammlungen und Eröffnung. Ab 2000 wieder Sammlungsleiter, Vortragender an der Universität Wien. Seit 2014 im Ruhestand. Zahlreiche Veröffentlichungen, speziell über elektronische Musikinstrumente, Fortepianos und Ausstellungsthematiken.

### **Klaus Filip (Schaltplanaufnahme Filterbaustein)**

Jahrgang 1963, Musiker, Programmierer, Klangkünstler, Kurator. Studium der Elektroakustik und Musikwissenschaften, lebt und arbeitet in Wien. Lektor an der Universität für Angewandte Kunst in Wien. Spezielles Interesse an Sinustönen, ihren Auftreten in der Zeit und an der Wahrnehmungsschwelle und ihrer Verknüpfung mit anderen Instrumenten. Als Klangkünstler forscht er am Wechselspiel zwischen Klang und Licht. Das Softwareprojekt „ppool“ wird von improvisierenden Musikern auf der ganzen Welt benutzt. Zahlreiche Performances, Installationen und Lectures bei Festivals auf der ganzen Welt.

### **Karl Suesz (Rekonstruktion Optikeinheit)**

Ausbildung als Radiomechaniker. Zuerst als Serviceingenieur und dann hauptsächlich als Entwickler für verschiedene Firmen tätig. 1985 wechselte er zu Otto Bock in Wien, dem Marktführer für Arm- und Beinprothesen. Dort etablierte er die Abteilungen für Entwicklung und Produktion von Prothesen. Er leitete beide Abteilungen bis zum Jahr 2000. Unter seiner Leitung trugen die Abteilungen zur Entwicklung des C-Legs bei, einer der am meisten benutzten Beinprothesen. Seit 2012 ist er Konsulent von ReALL

und entwickelt und miniaturisierte Schaltungen für elektrisch kontrollierte Prothesen. Weiters ist er teilzeitig als Lektor am Department für medical engineering/FH Linz tätig.

### Projektleitung: Elisabeth Schimana

Die Musikerin und Komponistin Elisabeth Schimana ist seit den 1980er Jahren als eine der österreichischen Pionierinnen der elektronischen Musik mit Projekten präsent, die sich durch einen radikalen Ansatz und eine ebensolche Ästhetik auszeichnen. Nach einer Gesangsausbildung absolviert sie Studien in Komposition, Computermusik, Musikwissenschaft und Völkerkunde, befasst sich in Moskau intensiv mit dem Theremin und in Wien mit dem Max Brand Synthesizer. Sie kreiert zahlreiche Radioarbeiten in Kooperation mit dem ORF-Kunstradio sowie Klanginstallationen, interdisziplinäre und performative Projekte und konzipiert Versuchsanordnungen im sozialen Feld sowie solche, die neue Wege musikalischer Interaktion im Internet erproben.

Ihr forschender Zugang hat auch die Gründung des IMA Institut für Medienarchäologie zur Folge, das sich seit 2005 den akustischen Medien an der Schnittstelle analog/digital, sowie dem Thema Frauen, Kunst und Technologie widmet.