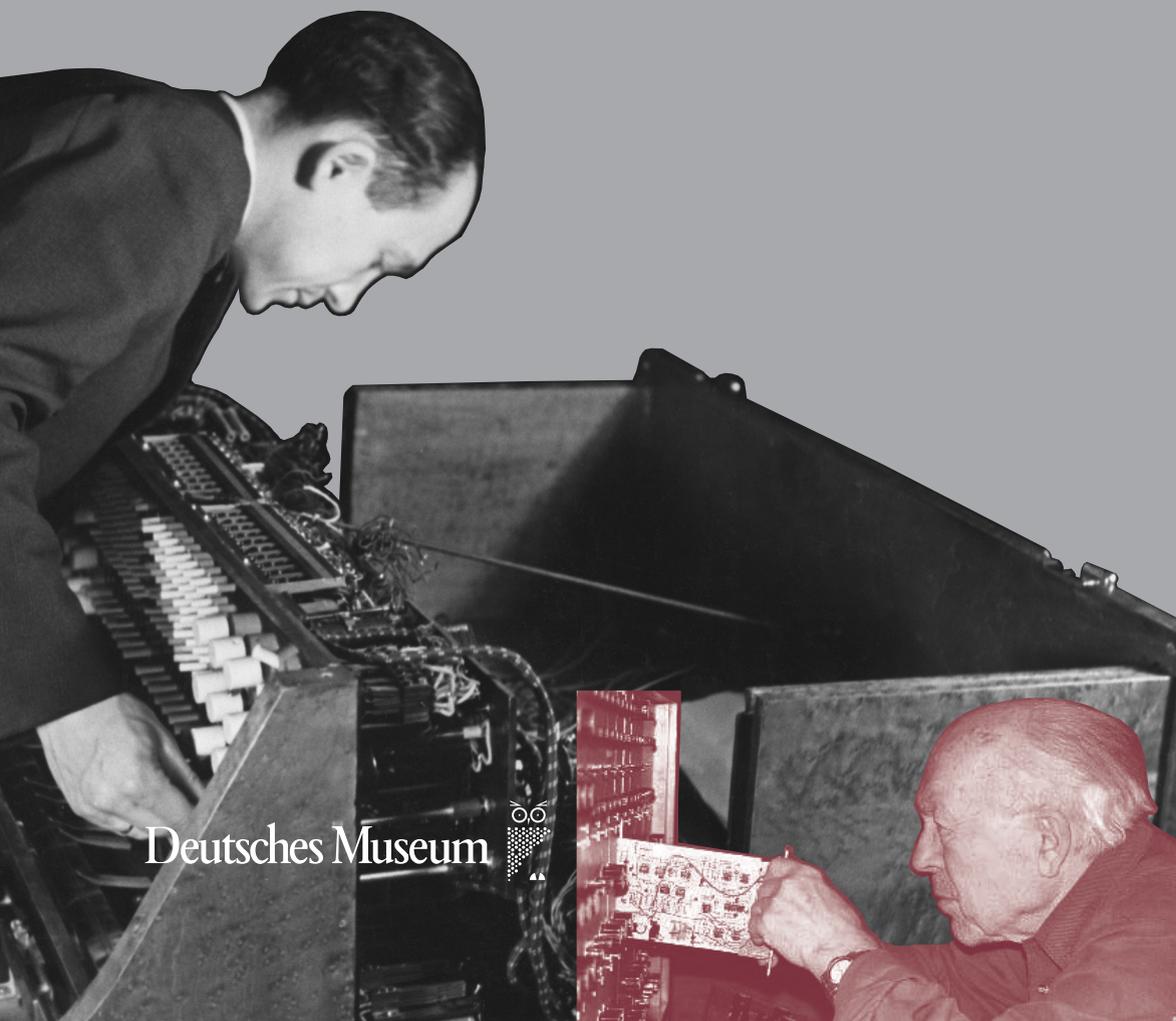


Studies 11

Peter Donhauser

Oskar Sala als Instrumentenbauer
Ein Leben für das Trautonium



Deutsches Museum



Oskar Sala als Instrumentenbauer
Ein Leben für das Trautonium

Deutsches Museum Studies

Herausgegeben von Eva Bunge, Frank Dittmann, Ulf Hashagen,
Marisa Pamplona Bartsch, Matthias Röschner, Helmuth Trischler

Band 11

Peter Donhauser, Studium der Mathematik, Physik, Chemie an der Universität Wien. Ausbildung als Organist, Entwicklung computergesteuerter Lehrmittel für Schulen. Unterrichtstätigkeit an verschiedenen Institutionen, darunter pädagogische Akademien Wien, Graz und Linz. Seit 1989 am Technischen Museum Wien in verschiedenen Funktionen, darunter Kustos für die Musikinstrumentenabteilung und die Physiksammlung, ab 1997 für drei Jahre in der Direktionsfunktion, danach Sammlungsleiter. Forschungsauftrag zur Frühgeschichte elektronischer Musikinstrumente in Deutschland und Österreich. Vier Jahre hindurch im Leitungsteam eines Lehrgangs für Kulturmanagement an der Universität für Angewandte Kunst Wien. Seit 2011 Vorlesungstätigkeit an der Universität Wien/Musikwissenschaft. Großes Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich. 2013 pensioniert. Zahlreiche Publikationen, insbesondere zu elektronischen Musikinstrumenten, Hammerklavieren und Musikautomaten.

Peter Donhauser

Oskar Sala als Instrumentenbauer

Ein Leben für das Trautonium

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet unter <http://dnb.de> abrufbar.

Diese Veröffentlichung – ausgenommen Zitate und Abbildungen – ist lizenziert unter
Creative Commons CC BY-SA 3.0 DE. Siehe Abbildungsverzeichnis für Bildnachweise.

Peter Donhauser: »Oskar Sala als Instrumentenbauer – Ein Leben für das Trautonium«

© Deutsches Museum Verlag, 2022

Alle Rechte vorbehalten

Redaktion: Dr. Kathrin Mönch

Satz, Layout, Umschlaggestaltung: Karen Schmidt, fsg 3, München

Motive Umschlag: Deutsches Museum

Druck und Bindung: Steininger Druck, Eichenried

ISSN 2365-9149

ISBN 978-3-948808-09-9

URN nbn:de:bvb:210-dm-studies11-3

Inhalt

Vorwort 9

I. Rundfunk, Elektronik und die neue elektrische Musik 11

1. Das Trautonium und das Umfeld seiner Erfindung 11
 - 1.1 Die Wende zum 20. Jahrhundert – Anbruch einer neuen Epoche 11
 - 1.2 Trautwein und die Erfindung des Trautoniums 13
 - 1.3 Die Hallformantentheorie 16
 - 1.4 Die Entwicklung des ersten Trautoniums 20

II. Oskar Sala und das Trautonium 27

2. Salas Bekanntschaft mit Trautwein und die Trautonium der Rundfunkversuchsstelle 27
 - 2.1 Die erste öffentliche Präsentation des Trautoniums 27
 - 2.2 Die erste Präsentation auf einer Funkausstellung in Berlin 31
3. Vom ersten Industrie-Trautonium zum »Neuen Trautonium« 32
 - 3.1 Das erste AEG/Telefunken-Trautonium 32
 - 3.2 Das Telefunken-Trautonium Ela T 42 (»Volkstrautionium«) 35
 - 3.3 Ergänzungen und Erweiterungen: die ersten subharmonischen Töne 44
 - 3.3.1 Das »Konzertinstrument« 44
 - 3.3.2 Synchronisierte Mehrfachtöne 45
 - 3.3.3 Eine Präsentation für Propagandaminister Goebbels 50
 - 3.3.4 Erweiterungen bis zum »Neuen Trautonium« 52
 - 3.4 Klanganalyse der Einspielung von Hindemiths »Langsames Stück und Rondo« 57
 - 3.4.1 Rondo (zweiter Teil) 58
 - 3.4.2 Langsames Stück (erster Teil) 60
4. Das Rundfunktrautonium 62
5. Das Konzerttrautonium 71
6. Das Quartetttrautonium 77
7. Das Mixturtrautonium 79
8. Klangmodule und Zusatzgeräte für Salas Instrumente 85
 - 8.1 Experimente an Klangfiltern 85
 - 8.2 Theoretische Abhandlungen Salas 86
 - 8.3 Das elektronische Schlagwerk 93
 - 8.4 Das Spezial-Klangfarbengerät 98
 - 8.5 Der Frequenzumsetzer 98
9. Zusammenfassung 102

III. Nachbauten und Neukonstruktionen nach dem Vorbild des Mixturtrautoniums 103

- 10. Instrumente der 1950er und 1960er Jahre 103
 - 10.1 Das Subharchord (1958 bis 1968) 103
 - 10.2 Das Moogtonium (1966 bis 1971) 105
- 11. Instrumente seit den 1980er Jahren 108
 - 11.1 Das »Mixertrautonium nach Oskar Sala« 108
 - 11.2 Das Senatstrautonium 111
 - 11.3 Ein »Digitales Trautonium« 113
 - 11.4 Die Neuentwicklungen von Dieter Döpfer und Jürgen Hiller 115
 - 11.4.1 Dipl.-Physiker Dieter Döpfer 115
 - 11.4.2 Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Hiller 116

Anhang

- A1. Schaltungen von Frequenzumsetzern 119
 - A1.1 Diskussion der Schaltung des Frequenzumsetzers von Oskar Sala 121
 - A1.2 Der Frequency Shifter von Harald Bode 124
- A2. Ein Schaltplan des Konzerttrautoniums 127
 - A2.1 Klangteil 127
 - A2.2 Netzteil 128
- A3. Das Netzgerät für das Mixturtrautonium 129
- A4. Der Schaltplan des Quartetttrautoniums 132
- A5. Ein Schaltplan des Rundfunktrautoniums 133
- A6. Ein Schaltplan des Mixturtrautoniums 135
- A7. Patente von und mit Oskar Sala 137

Literatur und Quellenverzeichnis 138

Bildnachweis 141

Vorwort

Oskar Sala (1910–2002)¹ war in der breiten Öffentlichkeit vorzugsweise als Musiker und durch seine Auftritte mit dem Mixturtrautonium bekannt. Seine Biografie zeigt jedoch, dass er schon ab 1930, als Musikstudent an der Hochschule für Musik in Berlin, begann, sich mit einem dort entstandenen elektronischen Musikinstrument, dem Trautonium, zu beschäftigen. Dies wurde letztlich zu seiner Lebensaufgabe, indem er es laufend verbesserte, veränderte, ausbaute und zu einem »Konzertinstrument« entwickelte. Dadurch wurde er zu einem Pionier auf dem Gebiet der elektronischen Musik. Da er durch ein Physikstudium (das er parallel zur Musik begonnen hatte) und seine praktische Tätigkeit ausreichende Elektronikkenntnisse besaß, konnte er seine Instrumente und Zusatzgeräte auch selbst konstruieren und bauen. Diesem Aspekt ist der vorliegende Text gewidmet. Er entstand im Kern aus einem Vortrag anlässlich der Veranstaltung »100 Jahre Oskar Sala« im Jahr 2010 im Deutschen Museum und wurde seither laufend ergänzt und aktualisiert. Hier werden erstmals Einblicke in das instrumentenbauliche Wirken Salas gegeben und dabei auch die technischen Entwicklungen erläutert, was den Schwerpunkt bildet. Dies ist bisher ein Desiderat. Es sind vor allem Details der Schaltungen, die erst verständlich machen, wie komplex dieses Instrument von 1930 bis zu seiner Ausformung als Mixturtrautonium geworden ist.

Erstaunlich ist, dass Sala ohne abgeschlossene Ausbildungen in Musik und Physik als Einzelperson eine Entwicklung bewältigte, die in Firmen Elektrotechniker, Akustiker, Hörphysiologen, Musiker und Instrumentenbauer beschäftigt. Insofern kommt ihm wohl eine Sonderstellung zu.

Bei der Beschreibung der Entwicklungen wird im Folgenden vorausgesetzt, dass die Leserinnen und Leser die musikhistorischen Umstände rund um die fragliche Zeit und die Entstehung elektronischer Instrumente zumindest in groben Zügen kennen, da aus Platzgründen und um Dopplungen gegenüber anderen Publikationen zu vermeiden, die Hintergründe hier nicht in voller Breite dargestellt werden können.

Ein großer Dank gebührt allen, die mich mit Informationen und verschiedenen Materialien unterstützt haben, vor allem den verschiedenen Archiven, insbesondere im Deutschen Museum, sowie allen voran Silke Berdux, die mich bei der Recherche wesentlich unterstützte, mir Vorschläge für Texterweiterungen gab und den ganzen Text kritisch gelesen hat. Ferner ist zu bemerken, dass durch die abgeschlossene Inventarisierung des Nachlasses von Sala nun umfangreiches Material zugänglich ist und daher die Forschung rund um Sala erheblich erleichtert wurde. Es sei bei der Gelegenheit auch auf die Webseite <http://www.oskar-sala.de> verwiesen, auf der beispielsweise aktuelle Projekte, Publikationen und eine Übersicht seines Nachlasses zu finden sind.

Klosterneuburg, 2022

¹ Biografische Daten siehe Berdux, Sala, 2005, S. 360f.

1. Rundfunk, Elektronik und die neue elektrische Musik

Beschäftigt man sich mit der Technik historischer elektronischer Musikinstrumente, so ist dies auch unter einer medienarchäologischen, und damit einer elektronischen, nicht primär musikalischen Perspektive zu sehen. Als der Physiker und Informationstheoretiker Werner Meyer-Eppler¹ den Begriff der »elektronischen Musik« prägte, so tat er dies unter einem naturwissenschaftlichen Gesichtspunkt, nicht primär unter einem geistes- oder kulturwissenschaftlichen Aspekt.² Diese Perspektive gilt auch für die Inhalte dieses Buchs. Dabei ist jedoch unumgänglich, die technischen Details in einen breiteren Kontext zu stellen, um sie einordnen zu können. Dies betrifft nicht nur die Verbindung von schriftlichen und bildlichen Quellen, sondern auch die Publikationen Salas, die in einen umfassenderen Zusammenhang gestellt werden, sowie weitere, auf Salas Vorbild zurückgehende oder von ihm inspirierte Projekte. Dies soll dazu beitragen, das Phänomen Sala von möglichst vielen Seiten zu betrachten.

1. Das Trautonium und das Umfeld seiner Erfindung

1.1 Die Wende zum 20. Jahrhundert – Anbruch einer neuen Epoche

Aus welchen Quellen nährten sich nun die Ideen, neue elektrische Instrumente zu bauen? Die Wende zum 20. Jahrhundert brachte innerhalb kürzester Zeit mehrere epochemachende Entdeckungen, Erfindungen und kulturelle Veränderungen mit sich: 1895 die Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen und 1896 die Entdeckung der Radioaktivität durch Henri Becquerel; 1897 die erfolgreichen Funkversuche von Guglielmo Marconi; 1900 erschien »Die Traumdeutung« von Sigmund Freud. Kurz hintereinander erfanden drei Personen die Elektronenröhre (1904 John Ambrose Fleming, 1906 Lee de Forest und Robert von Lieben). Im selben Jahr fand Albert Einstein eine Erklärung für den photoelektrischen Effekt, ein Jahr davor hatte er die spezielle Relativitätstheorie und die Lichtquantenhypothese formuliert. Erwähnenswert ist natürlich das von Thaddeus Cahill erfundene erste elektromechanische Musikinstrument, das er Dynamophon, später Telharmonium nannte. Er begann 1894 mit den ersten Versuchen, mittels Dynamos tonfrequente Wechselströme zu erzeugen. Drei Versionen des Instruments wurden gebaut, die enormen Ausmaße und der exorbitante Preis setzten den Versuchen jedoch nach 25 Jahren ein Ende. Ferruccio Busoni berief sich in seiner Schrift »Entwurf einer neuen Ästhetik der Tonkunst«³ auf das Telharmonium, denn seiner Meinung nach schien es klar geworden zu sein, »dass die Entfaltung der Tonkunst an unseren Musikinstrumenten scheitert«. Diese Äußerung beflügelte viele, die von Busoni apostrophierte »Hürde« der Musikinstrumente zu überwinden. Die Voraussetzungen sowohl in musikalischer als auch in technischer Hinsicht waren damit gegeben.

1 Meyer-Eppler, Klangerzeugung, 1955.

2 Ernst, Elektroakustik, 2008, S. 58–68.

3 Busoni, Entwurf, 1916, S. 34.

Kaum waren also die elektronischen Verstärkermittel erfunden, nutzte sie Lev Termen, um mit seinem später als »Theremin« bekannt gewordenen Instrument 1921 beim Allsowjetischen Elektrotechnischen Kongress in Moskau Aufsehen zu erregen. Er wurde damit zum Vorbild mehrerer Pioniere der elektronischen Instrumente: Jörg Mager in Deutschland, Maurice Martenot, René Bertrand und Armand Givelet in Frankreich, um nur einige zu nennen. Hatte schon im 19. Jahrhundert die Einführung des Telefons eine völlig neue Qualität in der Kommunikation gebracht, so bedeutete die Einführung des öffentlichen Rundfunks im Jahr 1923 in Deutschland (namentlich in Berlin) den Beginn einer völlig neuen Art der Massenkommunikation. Die damit verbundene neu entstandene Radioindustrie brachte auch für den Bastler zahlreiche neue Bauteile auf den Markt, die sich auch zum Bau von neuen elektronischen Musikinstrumenten eigneten.

»Die elektrische Klangerzeugung tritt anfangs mit dem Anspruch auf, die herkömmlichen Instrumente zu überbieten. Die elektronische Musik soll die Fesseln des menschlichen Spiels ebenso abschütteln wie die Festlegung auf die Klangfarben der Musikinstrumente.«⁴

Stellvertretend für diese Versuche, elektrische bzw. elektronische Musikinstrumente zu bauen, seien kurz die Bemühungen von Jörg Mager⁵ und von Bruno Helberger⁶ genannt, um ein Schlaglicht auf das Umfeld zu werfen, in dem Trautwein und Sala ihre Konstruktionen unternahmen.

Mager war ursprünglich Volksschullehrer und Organist in Aschaffenburg. Er begann sich mit Vierteltönen zu beschäftigen und fand in einer einfachen elektronischen Schaltung ein ideales Mittel, diese zu erzeugen. Er nannte das Gerät Elektrophon, später Sphärophon; technisch gesehen war es ein Schwebungssummer⁷ wie das Theremin. Er stellte sein Instrument 1926 beim Kammermusikfestival Donaueschingen aus und erregte auch das Interesse des Komponisten Paul Hindemith. Es gelang Mager trotz mangelnder elektrotechnischer Kenntnisse einige Personen dazu zu bewegen, seine weiteren Entwicklungen zu finanzieren. Eifrig betriebene Interventionen führten trotz geringer musikalischer Erfolge dazu, laufend im Gespräch zu sein und sich daher als »Vater der Deutschen Elektromusik« zu bezeichnen. Konsequenzen hatte seine Tätigkeit jedoch nicht. Sala bezeichnete ihn später als »tragische Figur«.⁸

Der Pianist Bruno Helberger und der Radiotechniker Peter Lertes nutzten wie Mager die Verfügbarkeit von radiotechnischen Bauteilen, um das nach Teilen ihrer Namen benannte »Hellertion« zu konstruieren und damit 1930 an die Öffentlichkeit zu gehen. Anders als Mager, der bald auf eine Klaviaturlösung zurückgriff, bauten die beiden Konstrukteure ein sogenanntes »Bandmanual«, ein mit Widerstandsdraht umwickeltes Gummiband. Drückte man es gegen eine Kontaktschiene, entstand je nach Position des Kon-

4 Kursell, Immanenzebene, 2010, S. 233.

5 Mager, Jörg (1880, Eichstätt – 1939, Aschaffenburg). Siehe Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 195ff.

6 Helberger, Bruno (1884, Frankfurt – 1961, Wien).

7 Mit »Schwebungssummer« wird eine Schaltung bezeichnet, die aus zwei Schwingungen ähnlicher Frequenz einen Ton erzeugt, der der Frequenzdifferenz der beiden Schwingungen entspricht.

8 Aus einem Interview mit Joachim Stange-Elbe. Nach freundl. Mitteilung an den Autor.

taktpunktes ein Strom, der zur Steuerung des Tongenerators diente. Bis zu vier solcher Bänder konnten gleichzeitig bedient werden, um Polyphonie zu erzielen. Die Grundlage der Konstruktion führte zu einem Patentstreit mit Trautwein, sodass beim später besprochenen »Volkstrautionium« der Zusatz »Nach Schutzrechten Helberger-Lertes-Trautwein« angebracht werden musste. Oskar Sala gab anlässlich eines Vortrags auch selbst zu, dass die Idee von Helberger stamme.⁹

Ein weiteres elektronisches Instrument, das zur industriellen Produktionsreife gebracht wurde, war eine elektronische Orgel von Armand Givelet und dem Orgelbauer Edouard Coupleux. Sie präsentierten 1931 ihre erste zweimanualige elektronische Orgel in Paris.¹⁰ Nach Magers Meinung seien sowohl die Instrumente von Helberger als auch von Givelet keine Konkurrenz zu seinen Produkten.¹¹

Mittlerweile waren in Berlin zwei neue Institute entstanden: 1928 das Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung nahe der heutigen Technischen Universität und im selben Jahr die Rundfunkversuchsstelle an der Staatlich-akademischen Hochschule für Musik (heute Universität der Künste). Ersteres beschäftigte sich vor allem mit Hochfrequenzforschung, aber auch gleichsam nebenbei mit der Entwicklung neuer elektrischer Musikinstrumente (die Nomenklatur dieser Zeit ist nicht eindeutig, sie schwankt zwischen »elektronisch« und »elektrisch«). Aufgabe der Rundfunkversuchsstelle war vor allem die Verbesserung der Qualität von Rundfunkübertragungen, im Speziellen Sprachschulung und Musikedarbietung vor dem Mikrofon, das damals noch eine Schwachstelle darstellte. Friedrich Trautwein, über den später noch ausführlich berichtet wird, war Leiter des Labors und damit unmittelbar mit Musikelektronik beschäftigt.

Dieser kursorische Überblick sollte vor allem die folgenden Abschnitte über die technische und theoretische Arbeit Salas in einen breiteren Kontext stellen. Näheres findet sich in einer Reihe von Publikationen, von denen einige im Anhang genannt werden.

1.2 Trautwein und die Erfindung des Trautoniums

Friedrich Trautwein (1888–1956),¹² ausgebildeter Elektrotechniker, Physiker und Hobbyorganist, beschäftigte sich bereits seit den frühen 1920er Jahren im Rahmen seiner Tätigkeit beim Deutschen Telegraphischen Reichsamt mit der Erzeugung von Tönen mittels Verstärkerröhren – dies schon wenige Jahre nach Veröffentlichung eines einschlägigen amerikanischen Patents von Lee de Forest im Jahr 1915¹³ und der Präsentation des Ätherophons durch Lev Termin 1920 in St. Petersburg. Einen der Gründe für sein Interesse nannte Trautwein später in einem Interview: Während seiner Tätigkeit am ersten deutschen Rundfunksender befasste er sich mehrfach mit den damals noch unzulängli-

⁹ Sala, *Mixturtrautionium*, 1954, S. 1.

¹⁰ Siehe dazu Donhauser, *Musikmaschinen*, 2019, S. 36–39.

¹¹ Donhauser, *Klangmaschinen*, 2007, S. 50 und 211.

¹² Biografische Daten Schenk, Trautwein, 2016, S. 380–382.

¹³ Electrical means for producing musical notes, Patent US 1 543 990, 24.4.1915.

chen Mikrofonen und wäre daher an einem Instrument interessiert gewesen, das direkt an den Sender angeschlossen werden konnte. Ohne den Rundfunk sei die Entwicklung elektronischer Instrumente undenkbar.¹⁴ Trautweins Versuche führten am 20. Oktober 1922 zur Anmeldung eines entsprechenden Patents¹⁵ zum Thema Klangfarben mittels Resonanzfilter, ein weiteres folgte 1924.¹⁶ Die vorerst theoretischen Überlegungen ließen sich durch die Anstellung Trautweins an der 1928 eingerichteten Rundfunkversuchsstelle an der Hochschule für Musik in Berlin in die Praxis umsetzen.¹⁷ Aus Geldmangel sollte er vorerst ein einfaches Instrument konzipieren. Trautwein konnte dabei auf mehrere bereits existierende Ideen für elektronische Oszillatoren zurückgreifen.¹⁸ Zur Erzeugung von Sägezahnschwingungen wählte er eine einfache Schaltung mit einer Glühlampe,¹⁹ wie sie z. B. als Überspannungsableiter zum Schutz vor Blitzschlägen verwendet wurde. Es handelt sich dabei um eine gasgefüllte zweipolige Röhre, in der bei einer bestimmten angelegten Spannung ein Strom zu fließen beginnt (Abbildung 1).

Die Schwingungserzeugung funktioniert folgendermaßen: Ein Kondensator wird über einen Ladewiderstand (bzw. über eine als steuerbaren Widerstand geschaltete Elektronenröhre) aufgeladen. Erreicht die Spannung am Kondensator die Zündspannung der Glühlampe, so wird diese leitend, entlädt den Kondensator und erlischt wieder, bis der Kondensator erneut aufgeladen ist. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch. Die Frequenz hängt dabei – konstante Betriebsspannung vorausgesetzt – nur von der Größe des Kondensators und des Ladewiderstands ab. Die dabei entstehende periodische Funktion nennt man »Kippschwingung« bzw. wegen ihres Aussehens im Oszillogramm auch »Sägezahnschwingung«. Sie enthält sämtliche Obertöne (ganzzahlige Vielfache der Frequenz der Grundschiwingung) in abnehmender Intensität und klingt dementsprechend scharf und hell, was meist eine nachfolgende Filterung notwendig macht. Der damaligen Fachliteratur²⁰ folgend, wählte Trautwein eine Elektronenröhre als »Vorwiderstand«, was zu einer Linearisierung der Ladekurve führt und zudem die Steuerung erleichtert.

Als Spielinterface entschied sich Trautwein für einen Drahtwiderstand, der über eine Metallschiene gespannt war. Wird der Draht an einem beliebigen Punkt auf die Schiene gedrückt, wird er verkürzt und damit sein Wert verringert, die an ihm liegende Spannung verändert und so die Betriebsdaten der Röhre variiert (siehe Abbildung 8). Die Glühlampenschaltung wird damit zu einem spannungsgesteuerten Oszillator (später wurde das bei Synthesizern als »Voltage Controlled Oscillator« – VCO – bezeichnet). Die Ähnlichkeit der Schiene mit dem Bandmanual des 1929 erstmals vorgestellten Hellertions von Bruno Helberger und Peter Lertes ist unübersehbar.²¹ Dies führte später zu der bereits

14 Elektrische Musik, Sendung am 18.2.1953 in Radio Bremen.

15 Einrichtung zur Schwingungserzeugung mittels Elektronenröhren, Patent DE 462 980, 5.12.1922.

16 Verfahren zur Erzeugung musikalischer Töne bestimmter Klangfarbe, Patent DE 469 775, 1924.

17 Zur eigentlichen Aufgabe der Rundfunkversuchsstelle siehe Schenk, Hochschule, 2004, S. 257–273.

18 Die erste Schwingungsschaltung stammte vom bereits genannten Lee de Forest. Eine Schaltung mit Glühlampe wurde in der Zeitschrift »Der Radioamateur«, Jg. 1926, H. 13, S. 273, veröffentlicht.

19 Schröter, Glühlampe, 1928, S. 24.

20 Ebd.

21 Zum Hellertion siehe Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 46f.

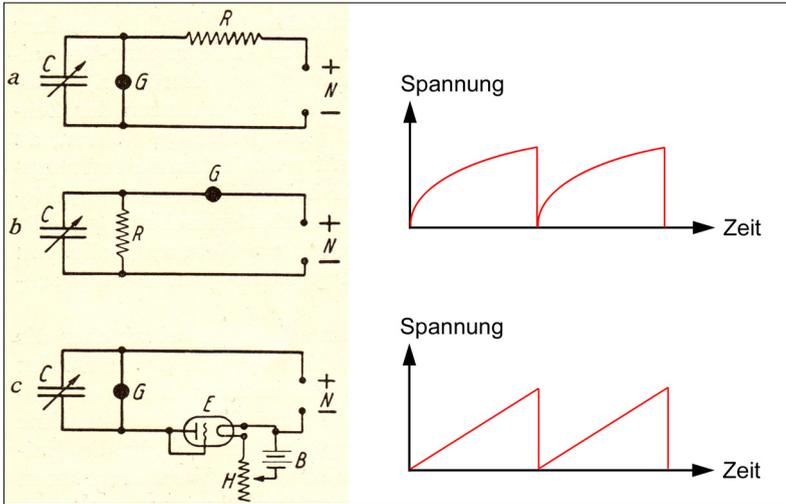


Abb. 1 Schaltbild Glimmlampenoszillator und die entstandene Kippschwingung. Oben ohne (a) und unten mit vorgeschalteter Röhre E (c). G ist die Glimmlampe, R der Ladewiderstand, C der Kondensator und N die Spannungsversorgung. Schaltung (b) entspricht der zeitlichen Umkehrung der oberen Zeichnung: C entlädt sich über R so lange, bis die Spannung an der Glimmlampe ausreicht, um zu zünden.

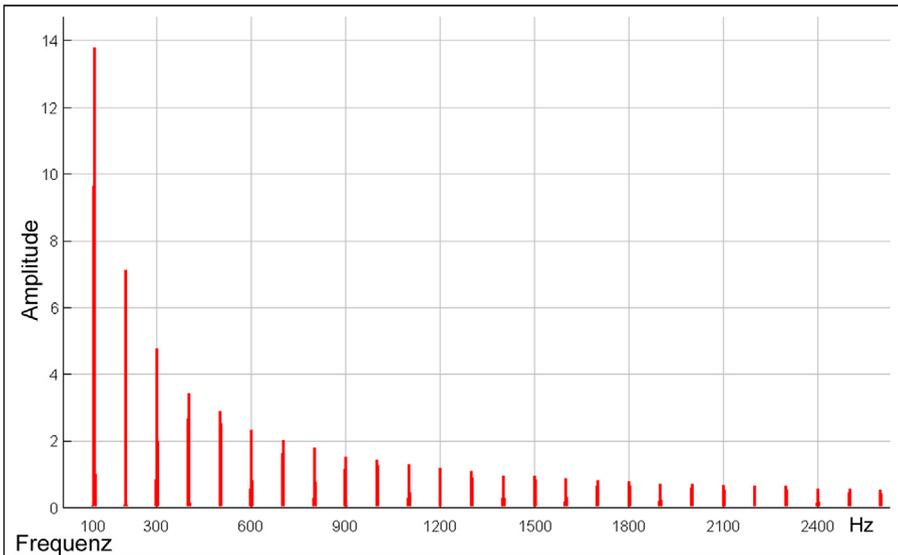


Abb. 2 Die Verteilung der Obertöne der Kippschwingung im Spektrum.

erwähnten Auseinandersetzung darüber, in welcher Form die beiden Urheber auf Trautweins Instrumenten genannt werden müssten.²² Ein weiterer Konfliktpunkt betraf den Namen des neuen Instruments,²³ für den sich Trautwein (von sich eingenommen, wie bei vielen Gelegenheiten zu bemerken) die Bezeichnung »Trautonium« ausbedungen hatte.²⁴

Professor Georg Schünemann,²⁵ zur fraglichen Zeit stellvertretender Direktor der Hochschule für Musik, schreibt dazu im Geleitwort zu Trautweins Broschüre »Elektrische Musik«: »Ein von allen Musikern lange gehegter Traum geht in Erfüllung: wir haben ein Instrument, das allen musikalischen Wünschen entspricht, das sich vielfach verwenden und verändern läßt, das in sich die Vorzüge vieler Musikinstrumente vereinigt, das leicht übersehbar und in seiner Spielart wahrhaft künstlerisch durchgeführt ist.«²⁶ »Alle Musiker« waren allerdings nicht der Meinung Schünemanns, wie die Entwicklung der folgenden Jahre zeigte: Trautwein musste sich laufend um die Popularisierung seines Instruments bemühen.

1.3 Die Hallformantentheorie

»Durch die Zusammenarbeit mit Musikern, besonders Herrn Prof. Dr. Schünemann, ergab sich die zwingende Forderung nach einem Musikinstrument, welches [...] die auf elektrischem Wege möglichen Klangbildungen auswertet.«²⁷ Und weiter: Trautweins Streben beträfe vor allem die elektrische Klangbildung, um den elektrischen Instrumenten eine Daseinsberechtigung zu sichern.²⁸ Diese Äußerungen Trautweins erweisen die Bedeutung der Klangbildung bei den neuen elektrischen Musikinstrumenten, die sich in der Folge als ausschlaggebend erwies: Bisher klangen die Prototypen neuer Konstruktionen, die im Wesentlichen Sägezahn-schwingungen verwendeten, ähnlich. Nur Jörg Mager versuchte, durch Verwendung verschiedener Lautsprechermembranen unterschiedliche Klangfarben zu erzeugen (nicht wissend, dass er damit Formanten erzeugte). Die theoretischen Arbeiten zu Formanten kannte er nicht. Abbildung 3 zeigt einige dieser Klangkörper.

Im Jahr 1930 formulierte Trautwein einen theoretischen Ansatz zur Erklärung der Resonanzwirkung für die Klangformung seines Trautoniums, die von ihm so benannte »Hallformantentheorie«. Er berief sich dabei auf die Ausführungen in Band 8 »Akustik« aus dem »Handbuch der Physik« von Geiger-Scheel²⁹ und die dort zitierten³⁰ Vorstellun-

22 Ein Hinweis fand sich im früheren Ausstellungstext im Deutschen Museum. Vgl. dazu ebd., S. 135.

23 Die Berliner Firma »T. Trautwein'sche Pianofortefabrik Berlin« wollte den Namen »Trautonium« für ihr Kleinklavier reklamieren.

24 Schriftverkehr im Archiv des Deutschen Technikmuseums Berlin, Signatur I.2.60 C 1555.

25 Georg Schünemann (1884–1945), Musikwissenschaftler, 1920 Professor und stellvertretender Direktor an der Berliner Musikhochschule, 1932 Direktor, 1935 Direktor der Musiksammlung der Preußischen Staatsbibliothek.

26 Trautwein, *Elektrische Musik*, 1930, S. 5.

27 Ebd., S. 12.

28 Ebd., S. 8.

29 Scheel, *Handbuch*, 1927, Kapitel 10, S. 450–476.

30 Ebd., S. 452 (Fußnote 2) und 454 (Fußnote 9).

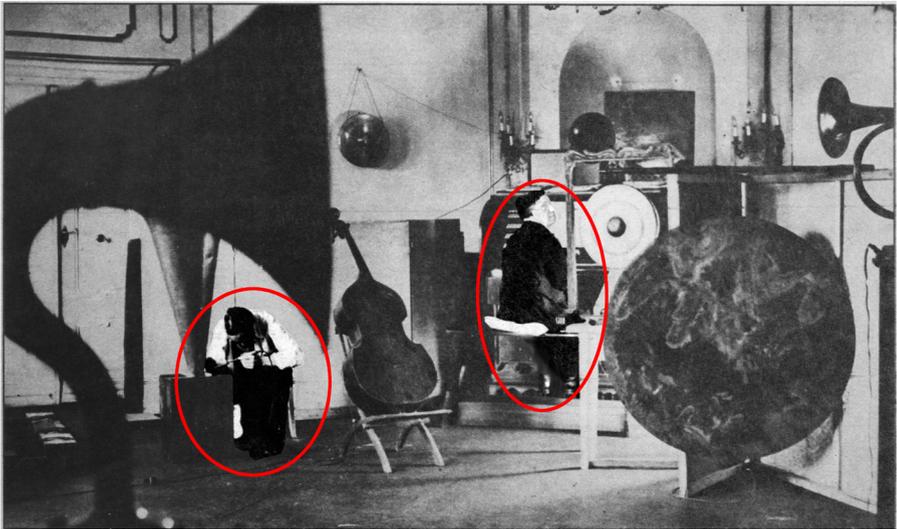


Abb. 3 Jörg Mager in seiner Werkstatt, umringt von Klangabstrahlern: Er nutzte verschiedene Flächen und Membrane zur Klangveränderung (Zinn- und Glasplatten, Cornett, Bratpfannen, Cellodecke). Links im Bild ein Assistent, der einen LötKolben in der Hand hält. Im Hintergrund Mager an seiner »Orgel«.

gen zur Entstehung von Formanten des Physiologen Ludimar Hermann.³¹ Hermann hatte zwischen etwa 1890 und 1914 zahlreiche Experimente zur Formantbildung bei der menschlichen Stimme unternommen. Er analysierte dabei u. a. Phonographenaufnahmen und benutzte später auch Kohlemikrofone. Zur Untersuchung verwendete er beispielsweise die Säule eines Kapillarelektrometers,³² deren Längenänderungen (den Schallamplituden folgend) auf bewegten Fotoplaten aufgezeichnet wurden. Dies ergibt eine Art Oszillogramm. Er kam letztendlich zu dem Schluss, dass die von Hermann von Helmholtz in seiner bekannten »Lehre von den Tonempfindungen« formulierte Theorie von der Entstehung der Vokale als Resonanzerscheinungen – d. h. eine Verstärkung der bereits im Spektrum der Stimmbänder enthaltenen Frequenzen – nicht richtig sei.³³ Im Gegensatz dazu interpretierte er seine Ergebnisse dahin, dass die Luft in der Mundhöhle

31 Ludimar Hermann, Physiologe (21.10.1838, Berlin – 5.6.1914, Königsberg). Biografische Daten aus Neue Deutsche Biographie, Berlin 1969. Hermann hatte seine Theorie während seiner Anstellung an der Universität Königsberg entwickelt.

32 Das Gerät enthält ein enges Glasrohr, in dem sich Quecksilber und darüber verdünnte Schwefelsäure befinden. Legt man an die beiden Flüssigkeiten eine Spannung an, ändert sich die Oberflächenspannung des Quecksilbers und damit die Grenzfläche der Flüssigkeiten. Die Anordnung wurde 1872 entwickelt und ist außerordentlich empfindlich. Siehe dazu Meyers Konversationslexikon, 4. Auflage 1885–1892, 18. Band Jahressupplement 1890–1891, S. 473.

33 Helmholtz, Tonempfindungen, 1913, S. 168–193.

»aktiv« gedämpfte Schwingungen erzeuge, angeregt durch die stoßweise von den Stimmbändern abgegebenen Druckschwankungen. Als Beleg dafür führte er beispielweise an, dass gesungene Vokale nicht mehr voneinander unterscheidbar wären, wenn ihr Grundton (ihre Tonhöhe) oberhalb der Resonanzfrequenz der Mundhöhle liege.³⁴ Für die Resonanzfrequenz führte Hermann den Begriff »Formant« ein. In der Folge entschuldigte er sich geradezu dafür, sich schwer dazu entschlossen zu haben, »eine von einem so großen Forscher in einem bahnbrechenden Werke aufgestellte Theorie zu verwerfen«: Helmholtz hätte eben nur unvollkommene Hilfsmittel zur Verfügung gehabt. Von den Schwierigkeiten, die Hermanns Erkenntnisse für die Theorie von Helmholtz bedeuteten, wäre allerdings bei einem Besuch Hermanns bei Helmholtz nicht die Rede gewesen.³⁵

Eine Annäherung beider Positionen im Sinn einer Differenzierung brachte eine weitere für die Untersuchung von Vokalen bedeutende Publikation von Carl Stumpf aus dem Jahr 1926.³⁶ Hier finden sich zahlreiche Schilderungen von Experimenten zur Aufklärung der Natur der Vokale, vor allem aber im 18. Kapitel³⁷ eine Abhandlung über Instrumente und Instrumentalklänge. Stumpf versucht eine klare Unterscheidung zwischen »beweglichen Formanten« und »festen Formanten«. Erstere nennt er »Hauptformanten«; sie sind im Spektrum des Klanges bestimmte Frequenzanteile mit entsprechend hervorstechenden Amplituden (»harmonische Formanten«³⁸) und bleiben dies auch bei veränderter Tonhöhe. Sie entsprechen der Theorie von Helmholtz und bedingen z. B. die Klangfarbe von labialen Orgelpfeifen. Zweitere nennt er »Nebenformanten« (auch »unharmonische Formanten«). Sie bleiben frequenzmäßig immer an derselben Stelle, unabhängig von der Tonhöhe. Sie seien Vokale und folgten der Theorie von Hermann. Sie bedingen z. B. die Klangfarbe der Oboe (»Näselformant«) und entstehen durch einen konstruktiv bedingten und in seiner Form nicht veränderlichen Resonanzkörper.

Stumpfs Nebenformanten sind Trautweins Hallformanten. »Der physiologische Eindruck der musikalischen Klangfarbe wird in der Hauptsache durch einen oder mehrere Hallformanten hervorgerufen, welche dem Grundton beigemischt sind. Hallformanten sind gedämpfte Schwingungszüge von bestimmter Frequenz, die stets höher liegen als der Grundton und zu diesem in beliebigem Verhältnis stehen, also unharmonisch sein können. Der Hallformant klingt stets im Verlauf einer Grundperiode ab oder wird durch den Beginn der nächsten Periode ausgelöscht.«³⁹ Im elektrischen Resonanzkreis sollten die Hallformanten als gedämpfte Schwingung von den abrupten Spannungssprüngen in der Sägezahnsschwingung ebenso angeregt werden wie die Luft in der Mundhöhle durch die Schwingung der Stimmbänder.

34 Siehe dazu Hermann, *Neue Beiträge*, 1911; Hermann, *Synthese*, 1902; Hermann, *Beiträge*, 1894.

35 Hermann, *Neue Beiträge*, 1911, S. 19.

36 Stumpf, *Sprachlaute*, 1926.

37 Ebd., S. 374–413.

38 »Harmonisch« bedeutet, dass die Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.

39 Trautwein, *Elektrische Musik*, 1930, S. 12.

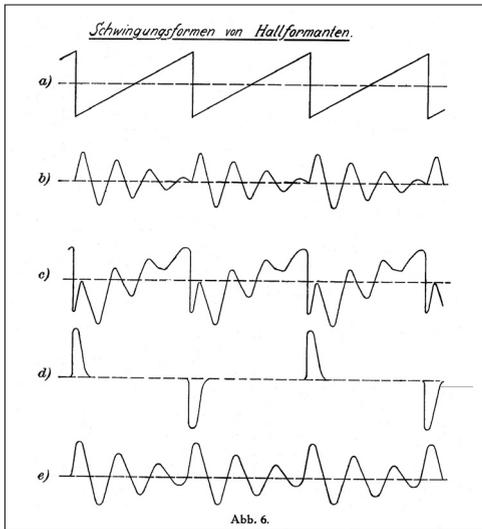


Abb. 4 Verschiedene Hallformanten, entstanden aus der in Zeile a) abgebildeten Sägezahn-Schwingung.

»Wird die Erregerfrequenz höher, so erlischt deutlich der alte Klangfarbeeindruck, der Ton nimmt eine matte, flötenartige Färbung an, die offenbar dadurch zu erklären ist, daß außer der fehlenden Stoßerregung der Hallformant als kapazitive Belastung wirkt, wodurch die hohen Frequenzen benachteiligt werden.«⁴⁰ Trautwein stellt hier denselben Effekt fest, den schon Stumpf beschrieben hatte: »Komponisten pflegen für Arien in dieser Lage [3-gestrichene Oktave] keine Texte, sondern nur Koloraturen auf irgendeiner Silbe vorzuschreiben [...]. Dennoch scheint die Tatsache, daß in hoher Sopranlage die Vokale ununterscheidbar werden, vielen Musikern unbekannt.«⁴¹

»Rücken nun Erregerfrequenz und Hallformantenfrequenz näher zusammen, so entsteht ein ausgeprägter resonanzartiger Klangeindruck, dessen physikalische Begründung weiterer Untersuchungen bedarf. Wahrscheinlich handelt es sich um ein ähnliches Phänomen wie die sogenannten Wölfe bei den Streichinstrumenten, die gleichfalls durch Zusammenfallen von Erreger- und Hallformantenfrequenz entstehen.«⁴²

Trautwein versucht auch, unangenehme Nebenerscheinungen in elektroakustischen Systemen auf Hallformanten zurückzuführen: Sie würden entstehen, wenn durch Spannungssprünge Resonanzen in Lautsprechern oder anderen Komponenten, die schwingungsfähige Teile enthalten, angeregt werden.⁴³

⁴⁰ Ebd., S. 21.

⁴¹ Stumpf, *Sprachlaute*, 1926, S. 77.

⁴² Trautwein, *Elektrische Musik*, 1930, S. 21.

⁴³ Ebd., S. 20.

Oskar Sala nahm später immer wieder auf die Hallformantentheorie Bezug, obwohl sich der Elektrotechniker Oskar Vierling, der zur Zeit der ersten Entwicklungsschritte des Trautoniums am Heinrich-Hertz-Institut in Berlin tätig war und sich mit der Entwicklung elektronischer Musikinstrumente beschäftigte, schon 1936 gegen diese Vorstellung gewandt hatte und sich auf die Klangsynthese nach den Vorstellungen von Helmholtz und deren theoretischen Grundlage von Joseph Fourier berief.⁴⁴ Selbst 14 Jahre später war dies noch Anlass für eine Replik auf Salas wiederholte Erwähnung der Hallformantentheorie, in der darauf hingewiesen wurde, dass der alte Streit Helmholtz – Hermann in der Literatur vollständig abgehandelt sei und es sich dabei um grundsätzlich gleichwertige Darstellungsweisen handeln würde.⁴⁵

Trautwein erregte mit seiner Theorie auch internationales Interesse. So brachte »The Musical Quarterly« 1931 einen ausführlichen Artikel von Rowland Raven-Hart⁴⁶ über die Rundfunkversuchsstelle, in dem die Hallformantentheorie erklärt und als Basis für die Trautoniumkonstruktion bezeichnet wurde: »So much for the new theory, which may or may not be regarded as of great interest musically: the real practical interest begins with the fact that Dr. Trautwein has developed an instrument which is based on this theory, and which not only appears to prove the theory, but also (whether the theory is correct or not) certainly does give a practically infinite range of tone-colors, controllable at will.«⁴⁷ Derselbe Autor hatte ein Jahr zuvor bereits einen Artikel über Radiokompositionen verfasst⁴⁸ und schrieb auch später über das Trautonium.⁴⁹

Abschließend erweist sich die Nutzung eines Resonanzkreises für die Klanggestaltung⁵⁰ des Trautoniums und später die Nutzung von subharmonischen Tönen (Untertönen) als die eigentliche Leistung Trautweins. Siehe dazu Abschnitt 3.3.

1.4 Die Entwicklung des ersten Trautoniums

Die gesamte Entwicklungsarbeit zur Erstellung der ersten Exemplare des Trautoniums wurde an der Rundfunkversuchsstelle geleistet. Die einzige erhaltene Fotografie (Abbildung 5) zeigt einen Laboraufbau, bei dem statt der Spielschiene auch noch eine Klaviatur erprobt wurde. Auf dem Bild sieht man (gleichsam als »Baukasten«) die Teile des ersten

44 Vierling, Formantbegriff, 1936.

45 Reiß, Streit, 1950.

46 Major Rowland Raven-Hart (geboren 1889 in Irland; *The Journal of the Polynesian Society* 65, 1956, Nr. 2, S. 178) war eine schillernde Persönlichkeit. Während des Ersten Weltkriegs arbeitete er im britischen Intelligence Department. Mit seinem Kanu hatte er angeblich alle europäischen Flüsse bereist. Nach dem Krieg sei er in Südamerika wieder in seinem alten Beruf als Radioingenieur tätig gewesen. 1932 soll er pensioniert worden sein. Siehe dazu *The Straits Times*, 27.11.1937, S. 9.

47 Raven-Hart, *Radio*, 1931. Der Autor wird vom Editor als »radio engineer and musician« bezeichnet.

48 Raven-Hart, *Composing for radio*, 1930.

49 Raven-Hart, *Trautonium*, 1933.

50 Verfahren zur Erzeugung musikalischer Töne bestimmter Klangfarbe, Patent DE 469 775, 4.4.1924.

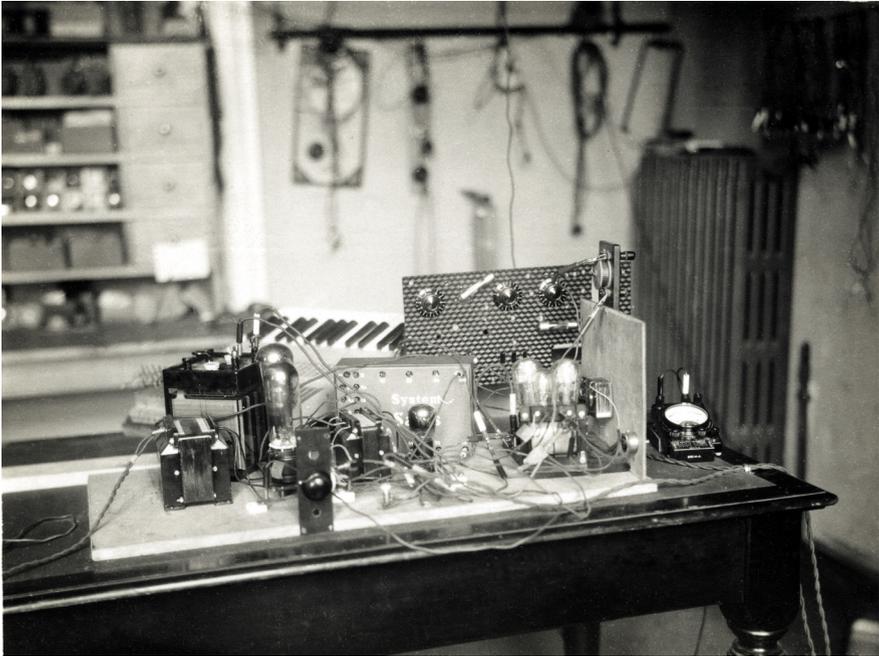


Abb. 5 Versuchsanordnung mit einer Klaviatur und Teilen des späteren Trautoniums.

Trautoniums: links den Transformator, den Trautwein für die Formanten als Spule nutzte, dahinter einen Akkumulator zur Stromversorgung, daneben einige Röhren, im Hintergrund die bereits vorbereitete Frontplatte mit Reglern und ganz im Hintergrund die Klaviatur, die zu Beginn als Spielinterface ausprobiert wurde.

Die spätere Abkehr von der Klaviatur ist auch auf den Einfluss Paul Hindemiths zurückzuführen, der sich lebhaft für das Trautonium interessierte. Der Vorteil des Bandmanuels (bzw. der Saite) besteht ja darin, dass es keine fixen Tonhöhen gibt, damit auch keine Zuordnung zu einem Tonsystem oder einer Stimmung. Dies verleiht dem Trautonium in der Spielweise seine spezifische Affinität zu Streichinstrumenten.⁵¹

Das Ergebnis der Entwicklung (ein Glühlampengenerator zusammen mit dem Resonanzfilter und einer Spielschiene) führte zum ersten Modell des Trautoniums. Bei genauerer Betrachtung der Fotografien, die aus den Jahren 1930 bis 1933 erhalten sind, finden sich gleich mehrere ähnliche, aber deutlich unterscheidbare Exemplare in einem schlichten Holzgehäuse, was auf eine Phase regen Experimentierens schließen lässt. Sie sind auf den Abbildungen 6 bis 9 sowie den Abbildungen 1 bis 5 von Teil II zu sehen.

⁵¹ Siehe dazu auch Schenk, Hindemith, 1996, S. 179ff.

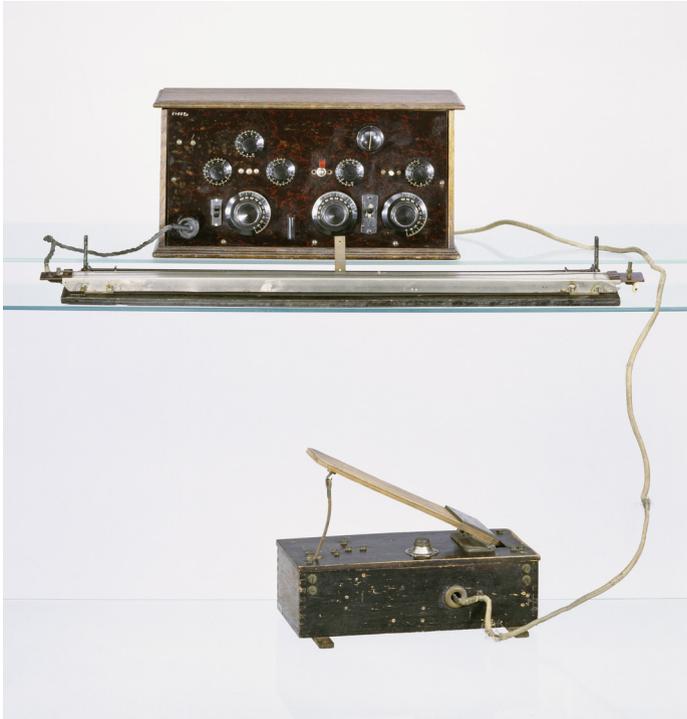


Abb. 6 Das Trautonium mit der Bezeichnung »RVS 2« aus der Sammlung des Deutschen Museums.



Abb. 7 Einblick in das Trautonium mit der Bezeichnung »RVS 2«.

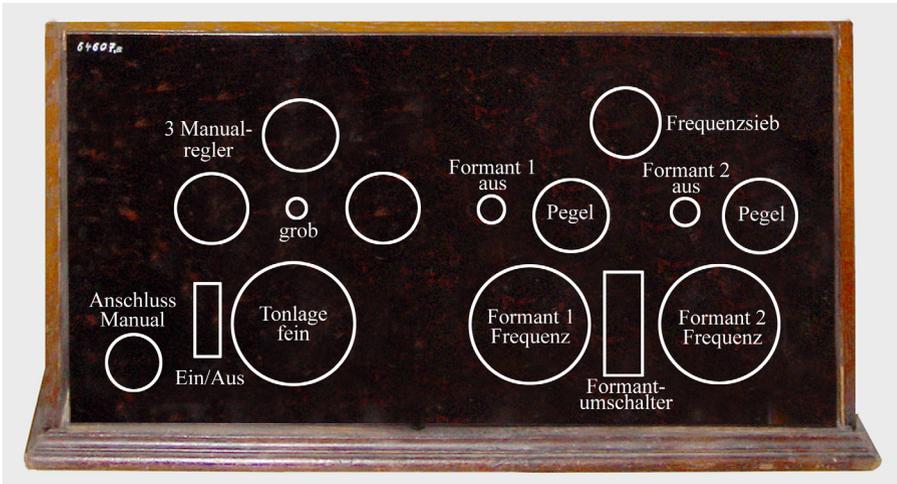


Abb. 8 Die Bedienelemente von »RVS 2«.

Von den ältesten Instrumenten hat sich nur das Exemplar erhalten, das sich seit Mai 1932 auf Initiative von Oskar von Miller im Deutschen Museum befindet.⁵² Es handelt sich dabei sichtlich um eines der allerersten Instrumente, bezeichnet mit »RVS [Rundfunkversuchsstelle] 2«. Bisher lässt es sich jedoch keiner der bekannten historischen Fotografien zuordnen. Sala bezeichnet es als »einziges, allerdings nicht ganz authentisches Exemplar«.⁵³ Ein Gehäuse mit der seitlichen Aufschrift »RVS 1« ist auf einer zeitgenössischen Fotografie zu sehen (Teil II, Abbildung 21), es enthält jedoch keine originalen Bauteile mehr, sondern wurde als Zusatz zum »Konzertinstrument« verwendet. Den übrigen früheren Instrumenten erging es nicht besser: Sie wurden ausgeschlachtet.

Abbildung 8 zeigt die Zuordnung der Funktionen zu den Bedienelementen auf der Frontplatte. Das Instrument besaß zwei regelbare, abschaltbare Formanten, ein Formantensieb (eine Art Tonblende für Höhen) und Einstellmittel für die Tonhöhe und den Tonumfang des Spielmanuals.

Betrachtet man das Innere des Instruments, so verwundert die große Anzahl von sechs Elektronenröhren, waren doch im späteren »Volkstrautionium« nur zwei Röhren erforderlich (siehe unten). Aufklärung schafft ein Schaltplan in den Inventarisierungunterlagen der Musikinstrumentensammlung des Deutschen Museums (Abbildung 9).⁵⁴

⁵² Deutsches Museum, Inv.-Nr. 64607.

⁵³ Sala, Bericht, 1936, S. 4.

⁵⁴ Der Schaltplan trägt die Bezeichnung »Trautonium (alt)« und ist mit 5.1.1950 bezeichnet. Ein zweiter Schaltplan ohne Datierung wurde davon nachgezeichnet, zeigt jedoch die Notiz »23. Juni 1931, 9. Aug. 1932«.

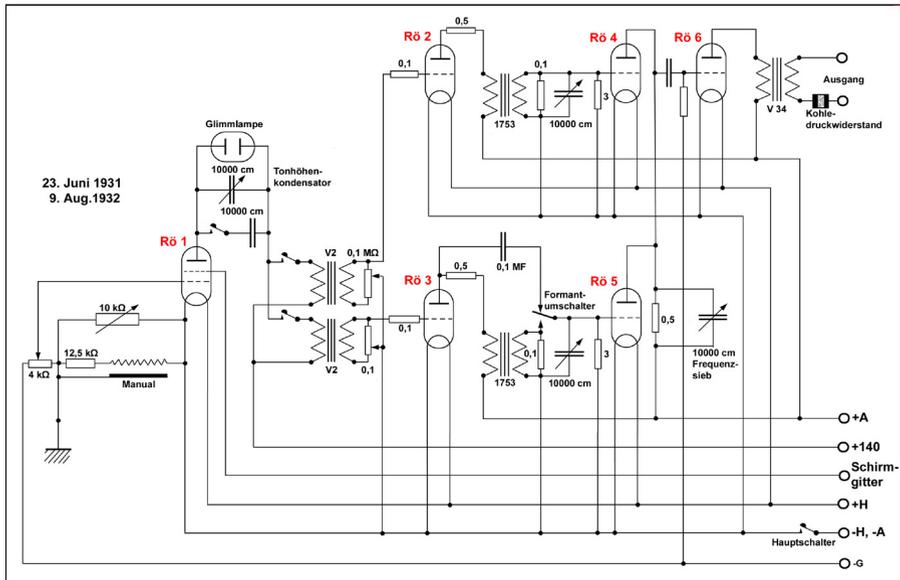


Abb. 9 Schaltbild des Trautoniums »RVS 2« nach den Inventarunterlagen zu Inv.-Nr. 64607 des Deutschen Museums.

Wie schon erwähnt, erfolgt die Schwingungserzeugung mit einer Glimmlampe. Da der Widerstand der Spielschiene (»Manual« im Schaltbild) einen für die Ladung des frequenzbestimmenden Kondensators ungünstigen Wert besitzt, wird die erste Röhre Rö 1 als steuerbarer Ladewiderstand eingesetzt. Die Spielschiene steuert jetzt nur den Innenwiderstand der Röhre über deren Gitter. Die drei Widerstände, die mit der Schiene verbunden sind, dienen lediglich der Einstellung der Mensur⁵⁵ und der Grundstimmung. Ihre Werte sind so gewählt, dass der Arbeitspunkt der Röhre (Rö 1 in Abbildung 8) in den nichtlinearen Bereich fällt (siehe Teil II, Abbildung 51, dort mit »1« markiert). Dadurch ergibt sich eine Manualteilung, bei der Oktaven auf der Schiene die gleiche Größe haben (der Frequenzzuwachs erfolgt hingegen exponentiell). Wird die Saite nicht niedergedrückt, sperrt die Röhre, da dann an ihrem Gitter die volle negative Gitterspannung (–G) anliegt. Es wird also kein Ton erzeugt. Diese Methode wird bei allen folgenden Modellen angewendet. Die Tonhöhe kann zusätzlich mit einem Drehkondensator (»Tonhöhenkondensator« im Schaltbild) und grob mit einem Schalter eingestellt werden. Der Ladestrom des frequenzbestimmenden Kondensators fließt über zwei (abschaltbare) Trenntransformatoren V2. Dies gestattet eine einfache galvanische Trennung von den nachfolgenden beiden Entkopplungsstufen mit den Röhren Rö 2 und Rö 3. Dies ist notwendig, um eine Rückwirkung der nachfolgenden Klangformung auf die Tonhöhe zu

55 Man versteht darunter den Tonumfang, der mit dem Spielmanual überstrichen werden kann.

vermeiden. Beim »Volkstrautionium« geschieht dies auf wesentlich einfachere Weise. Die Tonspannung wird bei beiden Röhren mittels Übertrager weitergeleitet (bezeichnet mit »KG Görler. 1753«), deren Sekundärwicklungen zusammen mit zwei regelbaren Kondensatoren einen Resonanzkreis zur Formantbildung darstellen. Mit einem Formant-Umschalter konnte die Tonspannung ohne Resonanzkreis direkt weitergeleitet werden. Darauf folgen wieder zwei Röhren RÖ 4 und RÖ 5 zur gegenseitigen Entkopplung mit gemeinsamem Anodenwiderstand zur Mischung. Diesem ist ein Drehkondensator parallel geschaltet, der zum Dämpfen hoher Frequenzen dient. Über einen Kondensator zur Gleichspannungstrennung wird schließlich das Tongemisch auf eine Röhre RÖ 6 zur Endverstärkung geleitet. Ein druckabhängiger Widerstand auf Kohlebasis (ähnlich einer Telefon-Sprechkapsel) dient zur Lautstärkeinstellung im Ausgangskreis. Eine Stromversorgung aus dem Lichtnetz war nicht vorgesehen, man musste Batterien verwenden.

II. Oskar Sala und das Trautonium

2. Salas Bekanntschaft mit Trautwein und die Trautonien der Rundfunkversuchsstelle

Oskar Sala (1910–2002) begann sein Studium im Jahr 1929 an der Berliner Hochschule für Musik (heute Universität der Künste) in der Kompositionsklasse bei Paul Hindemith, nahm zusätzlich bei Prof. Rudolf Schmidt (1897–1989) Klavierunterricht und studierte später Physik an der Humboldt-Universität.¹ Hindemith, der schon 1926 beim Kammermusikfest in Donaueschingen großes Interesse an neuer Musiktechnologie bekundet hatte, zeigte sich an der Rundfunkversuchsstelle und speziell am Trautonium interessiert und machte Sala bereits kurz nach dessen Studienbeginn mit Trautwein bekannt. Er versprach auch, Probestücke für das Instrument zu komponieren, sobald drei Exemplare verfügbar seien.² Sala fing sofort Feuer und interessierte sich brennend für die Weiterentwicklung des noch rudimentären Geräts. Über seinen Anteil an den Arbeiten ist wenig bekannt, er selbst spricht später von »eifriger Beteiligung«.³ Da Trautwein nach Aussage Salas kaum selbst Hand anlegte, hätten er und ein Mechaniker die Arbeit an den Instrumenten geleistet.⁴ Der Name des Mechanikers ist bekannt: Paul Hütter. In den Akten wird er später auch als »technischer Angestellter« bezeichnet.⁵ Sala brachte zusehends mehr Zeit in den Räumen der Rundfunkversuchsstelle zu, um an den Instrumenten zu bauen, auch nachts.⁶ Zu seinen Aufgaben zählte auch, die Akkumulatoren jederzeit geladen zu halten. Sie waren notwendig, da die Spannung aus dem Lichtnetz nicht ausreichend konstant gehalten werden konnte, um die Frequenzstabilität der Instrumente zu garantieren.

2.1 Die erste öffentliche Präsentation des Trautoniums

Am 20. Juni 1930 waren tatsächlich drei identische Trautonien fertig. Hindemith schrieb, wie versprochen, kurze Stücke für diese Instrumente (»Des kleinen Elektromusikers Lieb-

1 Inskribiert von 7.5.1931 bis 3.4.1936, Matrikelnummer 8029 (Information aus dem Universitätsarchiv vom 16.9.2004). Der Nobelpreisträger Nernst holte Sala sogar in eine Vorlesung, um das Trautonium vorzuführen (in: Weck, Nur einer kann es spielen, SFB III am 18.7.1990).

2 U.a. in »Sala wird 80«, Sendung des Deutschlandsenders am 12.7.1990. Mitschnitt, Institut für sprachliche Kommunikation und Phonetik, Elektronisches Studio der TU Berlin, Signatur 2002_45.

3 Oskar Sala und sein Mixturtrautonium, Grünwald 1985.

4 Interview von Peter Pichler mit Oskar Sala am 25.1.1996 in Berlin (Kopie im Besitz des Autors) und Frieb/ Krumbacher/Seydel, Oskar Sala im Gespräch, 1995, S. 221.

5 In den Jahresberichten wird er ab 1934/35 in der Personalliste genannt und – neben Trautwein – als einziger in der Rubrik »Musik und Technik« geführt. Hier wird er als »Techniker« bezeichnet. Dank an Dietmar Schenk (Leiter des Archivs der UdK) für die Information. E-Mail vom 12.10. 2021.

6 Interview mit Harald Genzmer. Donhauser, Musikmaschinen, 2019, S. 166.



Abb. 1 Oskar Sala, Rudolf Schmidt und Paul Hindemith probieren in der Rundfunkversuchsstelle die drei neuen Trautonien. Im Hintergrund Friedrich Trautwein (1930).

linge⁷⁾ und spielte zusammen mit Oskar Sala und Rudolf Schmidt bei der Erstaufführung im Rahmen der Veranstaltung »Neue Musik Berlin 1930« auch selbst mit.⁸

Die Presse urteilte über diese erste Vorstellung nicht sonderlich positiv. So schrieb der Musikredakteur, Komponist und Mitarbeiter der »Allgemeinen Musikzeitschrift« Walter Abendroth: »Abends warb man für Elektrische Musik. [...] Ein sehr mangelhaft aufgebauter, undeutlich gesprochener und von schlechten Lichtbildern unzureichend illustrierter Vortrag des Herrn Dr. Ing. Friedrich Trautwein versuchte vergeblich, ein klares Bild vom Wesen, Entstehung und Ausbaufähigkeit der elektrischen Instrumente (System Trautwein und Siemens) zu geben. Die praktischen Beispiele (Originalwerke verschiedener Komponisten, u. a. Hindemith) zeigten die ganze Angelegenheit in einem Stadium der Entwicklung, das sie vorderhand von der Dienstbarkeit im Rahmen höherer künstlerischer Absichten ausschließt.«⁹

Anders urteilte Karl Holl, Musikkritiker und Musikschriftleiter der »Frankfurter Zeitung«: »Man sieht, wenn die Zeichen nicht trügen, steht die Einführung elektro-akus-

7 Neu herausgegeben vom Verlag Schott, ED 8510.

8 Mehr dazu in Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 71ff.

9 Abendroth, Neue Musik, S. 724.

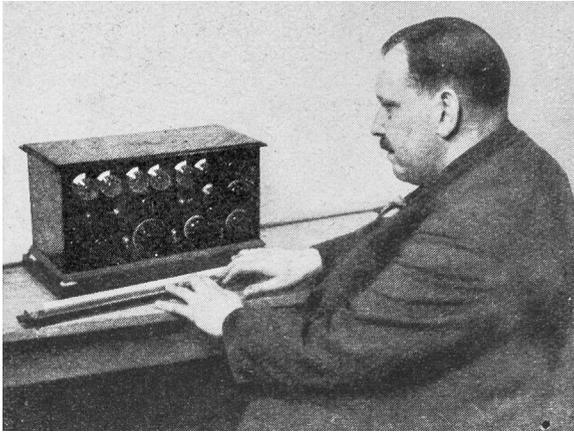


Abb. 2 Trautwein an einem der drei bei der »Neuen Musik Berlin« gespielten Instrumente. Identifizierbar an der Reihe von sechs Reglern in der obersten Reihe.



Abb. 3 Einblick in das Innere des Instruments. Die Anzahl der Röhren hat sich gegenüber »RVS 2« deutlich verringert.

tischer Instrumente vor der Tür. Sind diese Instrumente erst einmal im weitesten Umfang aktionsfähig, so wird ihnen eine eigens dafür geschriebene ‚elektro-akustische Musik‘, zu der Ansätze schon vorliegen, auf dem Fuße folgen.«¹⁰

Die Hindemith'schen Stücke wurden am 30. November 1930 erstmals im Rundfunk aufgeführt. Eine Aufnahme der Reichsrundfunkgesellschaft ist im Deutschen Rundfunkarchiv erhalten. Sie zeigt deutlich Schwächen in Bezug auf den Umgang mit den ersten Instrumenten und die mangelnde Stimmkonstanz: Die Intonation ist nicht exakt, das Zusammenspiel nicht präzise genug.

¹⁰ Holl, Karl: Elektro-akustische Musik, in: Das illustrierte Blatt – Frankfurter Illustrierte, Jg. 18, Nr. 30, 31.7.1930, S. 826. Der Artikel zeigt das oftmals wiedergegebene Bild mit Hindemith, Sala und Schmidt an drei Trautonien. Die dazu meist kolportierten Quellenangaben als »Frankfurter Illustrierte« sind ungenau.

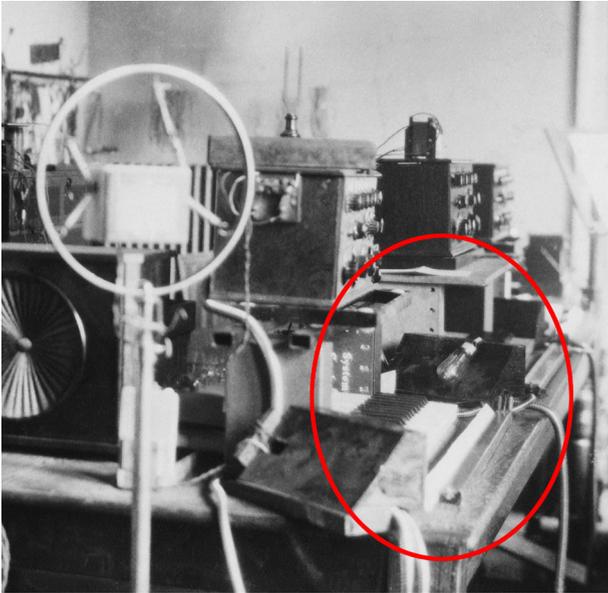


Abb. 4 Die Klaviaturen zu den ersten Trautonien (rot markiert). Foto aus der Rundfunkversuchsstelle, 1930.

Nach einem Besuch Arnold Schönbergs in der Rundfunkversuchsstelle im Jahr 1930, der Sala auf eine Erweiterung des Tonbereichs in Bass und Diskant hinwies (vom Instrument selbst jedoch wenig begeistert war), baute Sala umgehend einen Drehschalter zum Oktavwechsel ein, was dann später zur Pedalumschaltung führte.¹¹ Mehr dazu im Abschnitt 4 zum Rundfunktrautonium. Schönbergs Kritik fiel bei Sala auf fruchtbaren Boden: Der junge Mann war ausgesprochen ehrgeizig und laufend darauf bedacht, das Instrument zu verbessern.

Die folgende Zeit war daher durch ständige Veränderungen und Verbesserungen gekennzeichnet. Dies betraf vor allem die Stimmhaltigkeit und den Komfort beim Spielen. Dazu wurden bereits Ende 1930 Hilfstasten als Anhaltspunkt für präziseres Spiel hinzugenommen.¹² Es handelt sich dabei nicht um Tasten wie bei einem Tasteninstrument, sondern um Positionierungshilfen in Form von federnden Blechstreifen oberhalb der Spielschiene, die die Positionen »Grundton« und »Quinte« markieren (siehe Abbildung 6). Auf den Bildern der Vorführung bei der »Neuen Musik Berlin« sind noch keine Hilfstasten zu sehen, gespielt wurde mit Hilfe einer Papierschablone. Kurzfristig wurde sogar mit einer Klaviatur experimentiert, die auf einer Fotografie aus dem Jahr 1930 zu sehen ist, was auch Sala erwähnt (Abbildung 4).¹³

¹¹ Frieß/Krumbacher/Seydel, Oskar Sala im Gespräch, 1995, S. 222.

¹² Hinweis in Sala, Bericht, 1936, S. 6.

¹³ Ebd., S. 5 und 31.

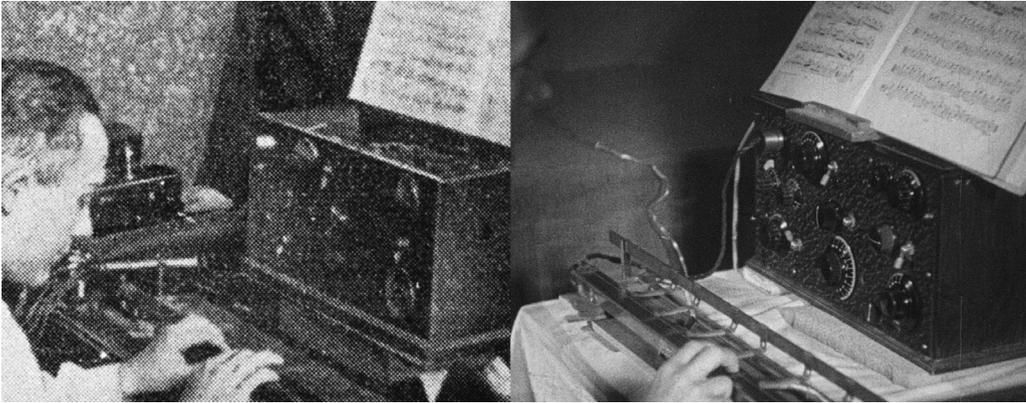


Abb. 5 Das Trautonium, das 1930 im Beisein Hindemiths an der Rundfunkversuchsstelle gespielt wurde (links), und das Instrument, das 1931 auf der Funkausstellung in Berlin vorgeführt wurde (rechts).

2.2 Die erste Präsentation auf einer Funkausstellung in Berlin

Auf der »Achten Funk- und Phonoschau« Berlin 1931 war das Trautonium erstmals auf einer Industriemesse zu sehen. Es wurde allerdings ein anderes Modell verwendet als bei der »Neuen Musik Berlin 1930« (siehe dazu Abbildung 5). Neben dem Trautonium waren bei der Schau auch ein Theremin und der Neo-Bechstein-Flügel zu sehen. Ein Foto von der Bühnenaufstellung 1931 gibt es nicht, nur einen kurzen Filmausschnitt in einem Wochenschaubericht.¹⁴

Erst 1932 und 1933 wurden dann die »elektrischen Orchester« bei mehreren Gelegenheiten abgebildet. Es wurden alle zu der Zeit spielbereiten elektrischen Instrumente gezeigt und in »elektrischen Konzerten« auch gemeinsam gespielt. Auch 1934 gab es eine solche Präsentation auf der Berliner Funkausstellung, jedoch ohne Abbildung.¹⁵ Im selben Jahr veranstaltete die RAVAG (die österreichische »Radio-Verkehrs-AG«, also die österreichische Rundfunkgesellschaft) zu ihrem 10-jährigen Bestehen eine Jubiläumsausstellung im Wiener Messepalast, bei der auch elektrische Musikinstrumente gezeigt wurden: das Trautonium innerhalb der Telefunken-Sonderausstellung und Emeric Schramm's »Superpiano« im »Rundfunkstudio«.¹⁶

¹⁴ Zu sehen in: Singende Maschinen, Wochenschaubericht EMELKA-Tonwoche, Aufnahme durch Tobis-Melofilm, August 1931.

¹⁵ Klänge der Zukunft, Freie Stimmen 54. Jg., Folge 185 vom 15. August 1934, S. 4.

¹⁶ Reise durchs Radioland, Radio Wien, 11. Jg., Nr. 2 vom 5. Oktober 1934, S. 2. Ferner: Führer durch die RAVAG-Jubiläums-Ausstellung 1934, Wien 1934, S. 39 und 41.

3. Vom ersten Industrie-Trautonium zum »Neuen Trautonium«

3.1 Das erste AEG/Telefunken-Trautonium

Trautwein nutzte seine Beziehungen, um die Industrie für das Trautonium zu interessieren. Nicht ohne Eigennutz, denn er konnte lukrative Verträge mit Telefunken erzielen, die er bis 1938 zu verlängern wusste. So entstand 1932 das erste industriell gefertigte Trautonium, das ein Pultgehäuse aus Blech mit schwarzer Hammerschlaglackierung besaß (Abbildung 6). Verwirrend ist jedoch die Bezeichnung, denn Sala spricht nur vom »AEG-Instrument«¹⁷, obwohl auf einigen Fotos das Telefunken-Emblem eindeutig zu erkennen ist. Dies erklärt sich daraus, dass einem Typoskript im Siemens-Archiv¹⁸ zufolge die AEG bzw. die »Klangfilm«¹⁹ das Trautonium entwickelt hätten, 1932 das »Ela-Geschäft«²⁰ aber an Telefunken abgetreten wurde. Trautwein schrieb zu diesem Thema im Jahr 1934: »Die Firmen AEG, Siemens und Telefunken haben in den Jahren 1930 bis 1932 die fabrikatorische Entwicklung des Trautoniums mit ausreichenden Mitteln und der bekannten Gründlichkeit ihrer Laboratorien durchgeführt.«²¹



Abb. 6 Das AEG/Telefunken-Trautonium von 1932. Das Bild wurde bei Salas Aufenthalt in Oslo zwischen 24. November und 3. Dezember 1932 aufgenommen.²²

¹⁷ Sala, Bericht, 1936, S. 7.

¹⁸ Siemens-Archiv, Signatur 35/43/II 760, S. 25.

¹⁹ <http://filmlexikon.uni-kiel.de/index.php?action=lexikon&tag=det&id=7896> (10.4.2021).

²⁰ Elektroakustik-Geschäft.

²¹ Trautwein, Gutachten, 1934.

²² Radiobladet Nr. 50, 9.12.1932, S. 3. Nach freundlicher Mitteilung von Frode Weium, Tekniskmuseum Oslo. Anlass waren die »Radiotage«, bei denen Theremin, Neo-Bechstein und das Trautonium vorgeführt wurden.

Aus den Laboratorien von Telefunken stammt auch der druckabhängige Widerstand unter der Spielschiene, der zur Lautstärkebeeinflussung diente. Die Erfindung geht auf Walter Germann und Oskar Sala zurück, die auch ein Patent dafür erhielten.²³ Die Vorrichtung enthält Kohlepulver, das seinen Widerstand bei mechanischem Druck verringert.

Über dieses Instrument ist bislang nicht viel bekannt. Es wurde bei der Berliner Funkausstellung 1932 verwendet und ist mehrfach abgebildet, vor allem in Rundfunkzeitungen. Es konnte jedoch kein erhaltenes Exemplar aufgefunden werden. Weder gibt es Informationen über Verkaufszahlen noch über irgendeine weitere Verwendung. Einige Informationen lassen sich zeitgenössischen Publikationen entnehmen, die sich jedoch teilweise widersprechen.

1932 publizierte Dipl.-Ing. A. Lion²⁴ in der Zeitschrift »Die Musik« einen Artikel über das Instrument.²⁵ Er merkt, dass das Instrument drei Röhren enthielt (eine Gleichrichterröhre, ein Thyatron und eine Verstärkerröhre). Die Anzahl Röhren deckt sich zwar mit der Schaltung in Abbildung 7, nicht jedoch ihre Verwendung: Eine Gleichrichterröhre weist auf Netzversorgung hin, was Sala auch bestätigt.²⁶ Lion irrte jedoch, als er das Trautonium 1932 als erstes serienmäßig hergestelltes elektrisches Musikinstrument vermutete. Zumindest der Neo-Bechstein-Flügel war in Deutschland ein Jahr zuvor auf den Markt gekommen. Vom Theremin ganz zu schweigen, das ja schon ab 1929 in den USA von RCA produziert wurde. Im Magazin »Radio Craft« (einer amerikanischen Bastlerzeitung)²⁷ findet sich 1933 ein weiterer, längerer Artikel des Musikwissenschaftlers Friedrich Noack über das Gerät.²⁸ Hier ist nicht nur eine Abbildung des Instruments, sondern auch ein Schaltplan (»as revised by Telefunken«) abgedruckt, der als frequenzbestimmendes Bauteil das besagte Thyatron aufweist (Abbildung 7), worüber später berichtet wird. Erwähnt ist auch schon der druckabhängige Widerstand unter dem Manual zur dynamischen Einblendung der Töne, der auf den Abbildungen jedoch nicht dargestellt ist. Nachdem die Schaltung gegenüber dem beschreibenden Text jedoch einige Ungereimtheiten aufweist – so gibt Noack an, dass Telefunken auf eine reine Netzversorgung übergegangen sei, wie auch im Artikel von Lion erwähnt, im Schaltbild finden sich aber einige Batterien – und sie überdies vereinfacht ist, wird sie hier nicht weiter diskutiert.

23 Als druckabhängiger Widerstand ausgebildete Lautstärkeregelanordnung für elektrische Musikinstrumente, Patent DE 628 687, 1936.

24 Lion (Berlin-Wilmersdorf) war Architekt und schrieb zahlreiche Beiträge über verschiedenste technische Themen, u. a. über das Theremin, aber auch über Architektur, Elektroinstallationen in Wohnhäusern, Grammophone und Kraftfahrzeuge, Geologie usw.

25 Lion, A.: Das Trautonium, in: Die Musik, XXIV. Jg, 1932, S. 833.

26 Sala, Bericht, 1936, S. 7.

27 Radio Craft, 1933 Heft 4, S. 591.

28 Noack, Information, 1933. Friedrich Noack, Musikwissenschaftler, Lehrer an diversen Instituten, Chorleiter in Darmstadt, Rezensent für verschiedene Zeitschriften. Biografie in Moser, Musiklexikon, 1955, Bd.2, S. 872.

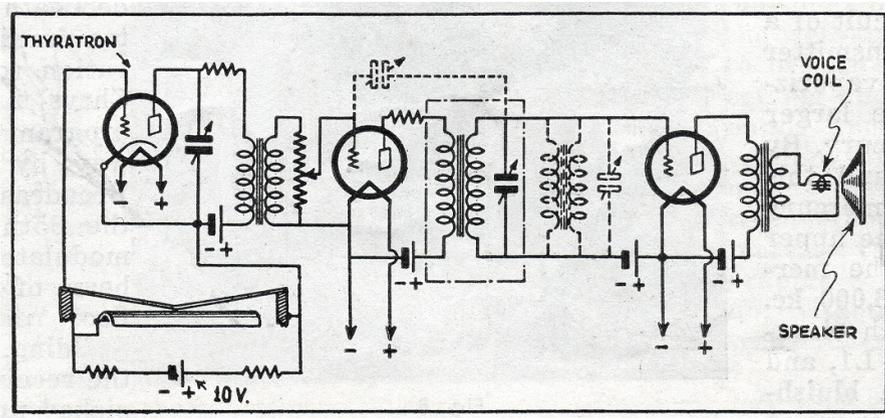


Abb. 7 Schaltung des Instruments aus dem Magazin »Radio Craft« 1933.

Schließlich gibt Fred Prieberg, Musikkritiker und Autor, – wesentlich später und ohne eine Quelle zu nennen – einen Hinweis auf die erste Serie dieser AEG/Telefunken-Trautonium. Nach seiner Aussage sei diese Ausführung mit »zwölf Drehknöpfen und Schaltern« [drei Kippschalter und neun Drehknöpfe] in einer Stückzahl von 50 zu einem Preis von 442 Reichsmark ohne Röhren hergestellt worden.²⁹ Telefunken hatte übrigens zur fraglichen Zeit auch seine Radioapparate ohne Röhren angeboten.

Das Trautonium hatte mittlerweile großes Interesse erweckt, beginnend mit einer Broschüre von Joachim Winkelmann noch aus dem Jahr 1931³⁰ über amerikanische³¹ und französische³² Radiozeitschriften bis zu 1933 im »Funkbastler«³³ veröffentlichten Artikeln. Den beiden Artikeln in der amerikanischen und französischen Zeitschrift ist gemeinsam, dass keineswegs ein »richtiges« Trautonium beschrieben wird, sondern eine in beiden Magazinen identische einfache Röhrenschialtung auf Rückkopplungsbasis, deren Frequenz über einen auf ein Rohr gewickelten Widerstandsdraht geregelt wird. »The name ‚Trautonium‘, however, has been retained to give credit to the original designer«, heißt es in der amerikanischen Zeitschrift.³⁴ Das Magazin versprach, bei ausreichendem Interesse ein »more elaborated design« zu veröffentlichen. Es kam jedoch nicht mehr dazu. Sehr an technischen Neuerungen interessiert war auch der Komponist Henry Cowell,³⁵ der mit Joseph Schillinger das Rhythmikon entwickelte, das dann von Lev

29 Prieberg, Musik, 1956, S. 83. Leider gibt Prieberg keine Quelle für die Preisangabe an.

30 Winkelmann, Trautonium, 1931.

31 Denton, Trautonium, 1933.

32 Marcus, Instrument, 1933.

33 Teucke, Entwicklung, 1933, S. 607.

34 Denton, Trautonium, 1933, S. 523.

35 Henry Cowell (1897, Menlo Park, Kalifornien – 1965, Shady, New York).

Termen gebaut wurde. Am 29.2.1932 schrieb Cowell an Rektor Schünemann, dass er gerne eine Demonstration des Trautoniums an der New School in Menlo Park, Kalifornien (seiner Geburtsstadt) veranstalten würde und ob er nicht ein Instrument bekommen könne. Er fragte auch nach dem Preis, denn »we are unfortunately not a wealthy organization!«³⁶ Schünemann antwortete am 17.3.1932 abschlägig, es gäbe noch kein Instrument im Handel, es wäre aber bald soweit. Auch sei noch kein Preis fixiert.³⁷

Das Trautonium wurde aber auch kritisch gesehen. So erschien 1937 eine angelsächsische Publikation, die die Bewertung des Instruments relativiert: »The general continental view is that the Trautonium is merely a musical curiosity. This view, however, is not held by Hindemith.«³⁸

Die Auswertung des Bildmaterials zeigt für die ersten drei Jahre Trautoniumentwicklung einen Bestand von fünf unterscheidbaren, nachweisbaren Erscheinungsformen der Instrumente (in der wahrscheinlichen Reihenfolge ihrer Entstehung):

- »RVS 1« auf einem Foto, das Gehäuse wurde für andere Zwecke verwendet, die Frontplatte geändert (siehe Abbildung 21, rechts),
- »RVS 2« aus dem Bestand des Deutschen Museums,
- die drei Instrumente der Vorführung bei »Neue Musik Berlin« 1930,
- das Instrument der Vorführung anlässlich der Funkausstellung 1931 (EMELKA Wochenschau, Aufnahme Tobis-Melofilm, Abbildung 5 rechts). Es handelt sich dabei nicht um »RVS 1« bzw. »RVS 2«, denn diese beiden haben an der rechten Seitenwand die Inventar-Aufschrift, die beim Instrument in der Wochenschau fehlt,
- das erste Serieninstrument von AEG/Telefunken aus dem Jahr 1932.

3.2 Das Telefunken-Trautonium Ela T 42 (»Volkstrautionium«)

Die Firma Telefunken reagierte auf die Nichtbeachtung ihres ersten Trautonium-Modells rasch. Schon ein Jahr später, 1933, wurde ein neues Modell in einem Holzgehäuse mit einer integrierten Spielschiene auf den Markt gebracht, rechtzeitig für die Präsentation auf der Berliner Funkausstellung 1933 durch Sala, wobei anlässlich einer Presseschau auch eine Schallplatte³⁹ mit einem Flötenkonzert Friedrichs des Großen, gespielt auf dem Trautonium, verteilt wurde.

Kurz nach seiner Markteinführung hatte sich für das Gerät der Spitzname »Volkstrautionium« eingebürgert.⁴⁰ Das Epitheton »Volk« findet sich nicht nur beim Trautonium, sondern auch beim Volksempfänger, dem Volkswagen, dem Volkskühlschrank, dem Volksklavier usw. und deutet darauf hin, dass es sich um einfache, billige und massenhaft

36 Brief Cowell an Schünemann, Archiv der Universität der Künste, Berlin, Signatur 1b/10, fol. 291.

37 Brief Schünemann an Cowell, ebd., fol. 290.

38 Illner, Music, 1937.

39 Zur Erinnerung an die Telefunken Presseschau am 2. August 1933, Telefunken T 5023.

40 Dazu Sala in einem Interview (RIAS 14.7.1980, DMA, NL187/69): »Wir haben es dann »Volkstrautionium« genannt.«

produzierte Objekte für die »Volksgemeinschaft« handeln sollte, denen der nationalsozialistische Staat einen gewissen Schutz verlieh.⁴¹

Das »Volkstrautionium« wies neben einer spartanischen Ausstattung (Sala meinte später, es sei um jedes Bauteil gerungen worden⁴²) bis auf eine verbesserte Formant-Einstellung keine wesentlichen neuen technischen Merkmale auf. Die Bedienelemente waren ergonomisch besser gestaltet, so waren die Regler für den Manualumfang, die Stimmtonhöhe und einige Klangfilter über dem Manual angeordnet, der Druckwiderstand aus dem Lautsprecherkreis in eine Serienschaltung mit dem Fußschweller verlegt und ein automatischer Ausschalter beim Schließen des Deckels eingebaut.

Die Bedeutung der Einstellvorrichtungen findet sich in einer Zeichnung in der »Trautoniumschule«⁴³ und ist in den Abbildungen 9 und 10 zu sehen.



Abb. 8 Das Telefunken-Trautonium Ela T 42 – »Volkstrautionium« (Deutsches Museum, Inv.-Nr. 1995-547 Teil 1).

41 König, Volkswagen, 2004, S. 9 und 234f.

42 Interview von Matthias Becker mit Oskar Sala aus dem Jahr 1992, www.originaltonwest.de, Audio-Mitschnitt beim Autor.

43 Deutsches Museum, Inv.-Nr. 66487Z2.

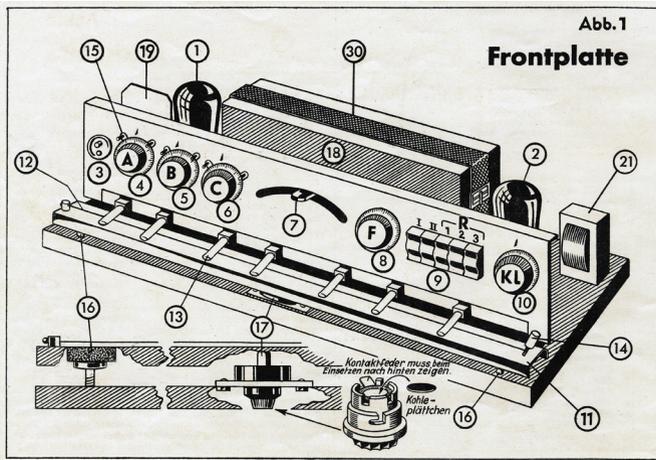


Abb. 9 Die Bedienelemente an der Vorderseite des »Volkstrautoniums«. 1: Thyatron RK 1; 2: Schwingröhre REN 904; 3: Netzschalter; 4, 5, 6: Regler für Manualumfang; 7: Position Hilfstasten; 8: Formantregler; 9: Schalter für Klangfarben; 10: Klangblende; 11: Spielschiene; 12: Saite; 13: Hilfstasten; 14: Wirbel zum Spannen der Saite; 15: Feststeller für Stimmung; 16: Manualfederung; 17: Druckwiderstand; 18: Anodenbatterie; 19: Netzspannung; 21: Formantrafo; 30: Gurt für die Anodenbatterie.

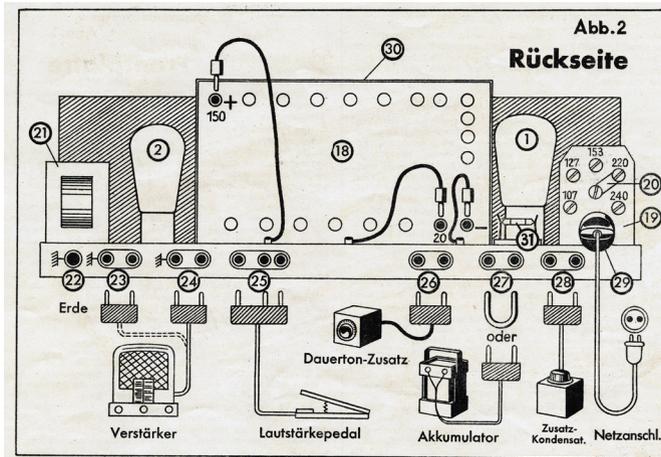


Abb. 10 Die Bedienelemente an der Rückseite des »Volkstrautoniums«. 18: Anodenbatterie; 20: Messingstreifen; 21: Formantrafo; 22: Erdungsanschluss; 23, 24: Verstärker-Anschluss; 25: Pedal-Anschluss; 26: Anschluss für Dauertonzusatz; 27: Anschluss für Heiz-Akku oder Kurzschluss bei Netzbetrieb; 28: Zusatzkondensator; 29: Netzanschluss; 30: Gurt für die Anodenbatterie; 31: Widerstand für die Schwingröhre.

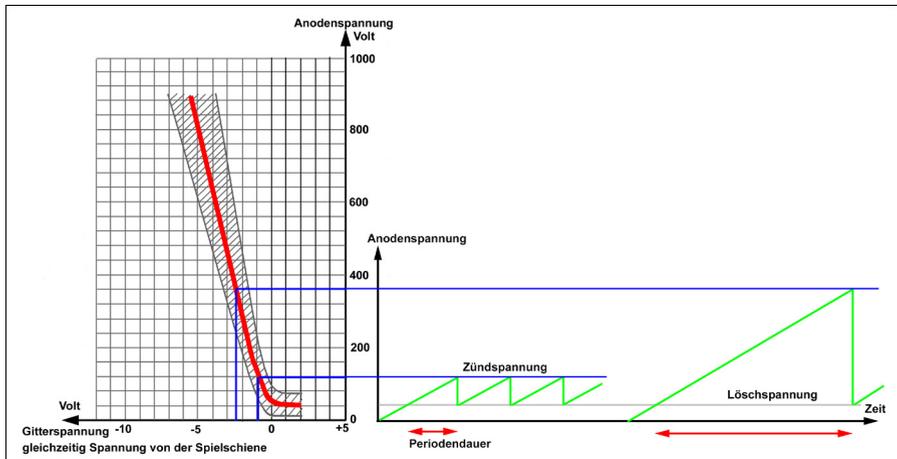


Abb. 11 Kennlinie des Thyratrons und die entstandene Schwingung in Abhängigkeit von der Gitterspannung.

Auch in diesem Gerät wird ein Thyatron verwendet. Es handelt sich dabei um eine gasgefüllte Röhre (ähnlich einer Glimmlampe), wobei jedoch die Spannung, die zur Zündung führt (die Röhre wird dabei sehr gut leitend), durch die Spannung an einem Gitter gesteuert werden kann. Bei ausreichend konstant gehaltener Betriebsspannung liegt der Vorteil gegenüber einer Glimmlampe darin, dass der Zündzeitpunkt und damit die Tonhöhe viel konstanter eingehalten werden kann. Die Veränderung der Frequenz der Sägezahnschwingung wird hier nicht über einen veränderbaren Ladewiderstand wie bei der Glimmlampe bewirkt, sondern bei konstantem Widerstand durch Abbruch des Ladevorgangs durch Zündung des Thyratrons. Die Konsequenz ist eine große Amplitude bei niedrigen Frequenzen und umgekehrt eine kleine bei hohen. Diese Amplitudenabhängigkeit sollte später zu einem schwierig zu lösenden Problem bei der Synchronisierung von subharmonischen Teilschwingungen werden. Für die Wahrnehmung der Töne bildet diese Amplitudenabhängigkeit jedoch einen Vorteil, da entsprechend der Hörkurve des Menschen tiefe Frequenzen leiser erscheinen.

Die Schaltung weist tatsächlich nur wenige Komponenten auf. Es sind nur zwei aktive Bauteile vorhanden, das Thyatron RK 1⁴⁴ und eine Verstärkerröhre REN 904. Die Anodengleichspannung musste (wie schon bei den früheren Instrumenten) mit einer

⁴⁴ Zur Röhre RK 1 gibt es eine umfangliche Diskussion im Internet, ob es sich um ein Thyatron oder eine Gleichrichter-Röhre handelt. Sie erscheint in kaum einer Röhrentabelle. Der Grund dafür ist, dass sie nur kurzfristig gebaut wurde. Die Diskussion ist obsolet: In Kotowski/Germann, Trautonium, 1934, ist sie eindeutig als »Kippschwingröhre« ausgewiesen, außerdem könnte mit einer Gleichrichterröhre keine Kippschwingung erzeugt werden.



Abb. 12 Das Innere des »Volkstrautoniums« mit der Seriennummer 267, Inv.-Nr. 1995-547 Teil 1.

Batterie bereitgestellt werden, lediglich die Heizspannung für die Röhren wurde mit einem Transformator dem Lichtnetz entnommen (bei einem Gleichstromnetz ist dies nicht möglich, man musste dann ebenfalls eine Batterie verwenden). Dies zeigt, dass das Problem der Stabilisierung der Spannung immer noch nicht gelöst war. Laut Schaltplan in Abbildung 13 musste die Batterie eine Anzapfung besitzen: Das Instrument mit der Seriennummer 267 aus der Objektsammlung des Deutschen Museums weist noch die drei Anschlusskabel für die 150-Volt-Batterie auf (Abbildung 12). Das mittlere ist der Masseanschluss, der die Gesamtspannung in 20 Volt für das Spielmanual und 130 Volt Anodenspannung für das Thyatron und die Verstärkerröhre teilt.⁴⁵

Wie ausgeklügelt die Schaltung war, kann man einem Artikel zweier Ingenieure der Firma Telefunken – Paul Kotowski und Walter Germann – aus dem Jahr 1934 entnehmen.⁴⁶ Erstmals wurden hier die elektrotechnischen Details eingehend dargestellt und mit Formeln belegt. Dies betrifft z.B. die Frage, wieso die Spielschiene gleich große Oktavabstände besitzt, obwohl sich die Frequenz exponentiell ändert. Die Erklärung liegt in der exponentiellen Ladekurve des frequenzbestimmenden Kondensators.⁴⁷ Das Widerstandsnetzwerk $R1 - P1 - P2$ (siehe Abbildung 13) zur Einstellung der Gitterspannung

⁴⁵ Ein weiteres Instrument aus der Objektsammlung des Deutschen Museums mit der Seriennummer 332 (Inv.-Nr. 66487) weist die gleichen Anschlüsse wie Nummer 267 (Inv.-Nr. 1995-547T1) auf. Das dritte »Volkstrautonium« aus der Objektsammlung mit Seriennummer 289 (Inv.-Nr. 1995-547T2) wurde nachträglich durch ein röhrenbestücktes Netzgerät als Ersatz für die Anodenbatterie ergänzt.

⁴⁶ Kotowski/Germann, Trautonium, 1934.

⁴⁷ Ebd., Formel auf S. 390.

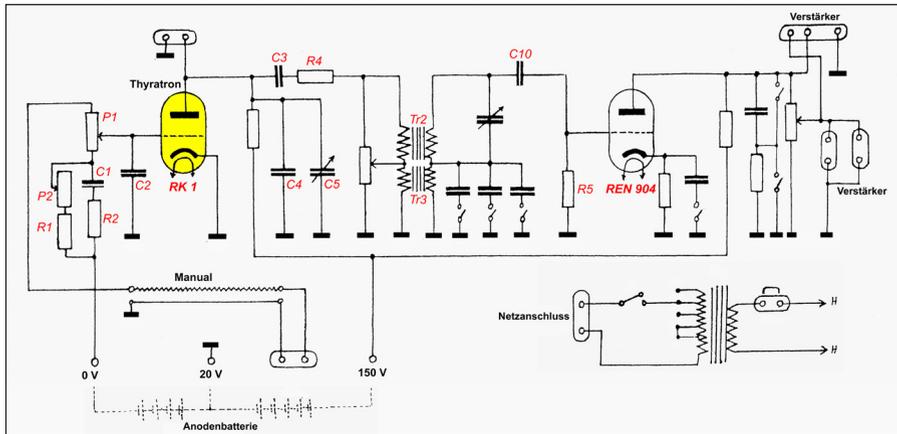


Abb. 13 Schaltplan des »Volkstrautoniums«.

am Thyatron dient zur weiteren Linearisierung der Messur, der Zweig mit Widerstand R2 und Kondensator C1 zur Vermeidung unschöner »Klicks« bei raschen Tonhöhenänderungen. Der Kondensator C2 erfüllt denselben Zweck. Aus dem Artikel geht auch hervor, dass das Thyatron eine Sonderentwicklung der AEG war, um die Frequenzkonstanz zu erhöhen (bei den sonst üblichen Röhren setzte die Entladung an nicht vorhersehbaren Stellen der Elektroden ein, zudem neigten die Elektroden zu mechanischen Schwingungen,⁴⁸ was zu einem rauen Ton führte). Bereits 1940 war diese Röhre nicht mehr erhältlich, sodass in einem Bauplan ein Ersatz (AEG T 166 ii) vorgeschlagen wurde.⁴⁹ Sala selbst musste später auf Philips-Röhren ausweichen. C4 und C5 sind die schon bekannten frequenzbestimmenden Kondensatoren.

Um eine Rückwirkung auf den Generatorteil zu verhindern (was unschöne »Wolftöne« zur Folge hätte), reicht eine Entkopplung des Klangformungsteils bei geeigneter Wahl durch den Kondensator C3 und den Widerstand R4. Dieselbe Funktion haben C10 und R5 zur Ankopplung der Ausgangsröhre. Dazwischen liegen (wie schon von früher bekannt) zwei mehrfach umschaltbare Resonanzkreise mit Tr2 und Tr3 zusammen mit einigen Kondensatoren und Schaltern. Durch die Teilung des Transformators in Tr2 und Tr3 ergeben sich zwei voneinander unabhängige Formanten. Kotowski und Germann geben die Werte 200 bis 2000 und 400 bis 4000 Hz als Frequenzbereiche an. Die Resonanzerscheinungen in den Formantkreisen haben zur Folge, dass die Tonspannung am Ausgang des Instruments sehr stark von der Tonhöhe abhängt, wie dies als Kurve im

⁴⁸ Siehe dazu Glimmlampe zur Erzeugung elektrischer Musik, Patent DE 568 180, 5.6.1931.

⁴⁹ Stephani, Trautonium, 1940.

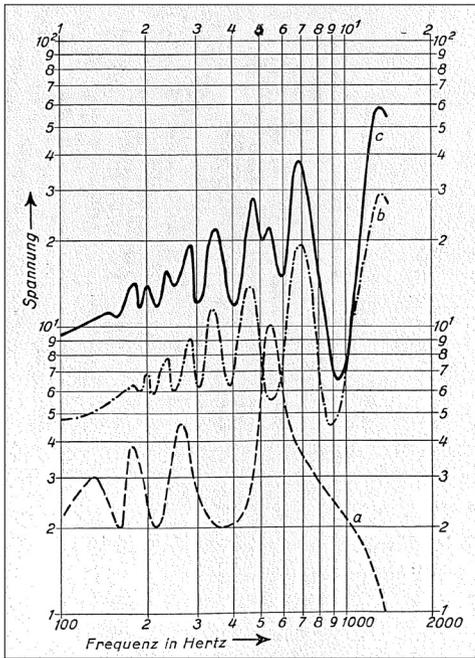


Abb. 14 Diagramm Ausgangsspannung gegen Frequenz: Abhängigkeit von der Einstellung der Formanten. a: mit Formant 1, b: mit Formant 2, c: mit beiden Formanten.

Artikel von Kotowski und Germann auch dargestellt ist (Abbildung 14). Die Kurven ähneln den Zeichnungen, die Oskar Sala nach Kriegsende als Vorbereitung verschiedener Artikel anfertigte (es wird später darauf eingegangen).

Um das Instrument für den praktischen Gebrauch tauglich zu machen, waren geeignete Musikstücke und vor allem Schulungsunterlagen notwendig. Bei Telefunken stellte man sich jedoch unbeholfen an, sodass Hindemith den Kontakt zwischen seinem Verleger Schott in Mainz und Trautwein herstellte und auch einige Übungsstücke schrieb. Der Verleger Willy Strecker meinte dazu, dass man dem Geschmack des Publikums Rechnung tragen müsse, etwa wie bei den Volksklavier- und Zitherschulen. Vielleicht könne man auch zwei Versionen planen, eine volkstümliche »Kitsch-Serie« und eine Sammlung auf künstlerischer musikalischer Grundlage: Wenn es ein Volks-Instrument werden solle, ließe sich das volkstümliche Niveau wohl nicht vermeiden.⁵⁰ Im März 1934 lagen dann 300 Exemplare der »Trautoniumschule« beim Verlag Schott vor, obwohl Trautwein das Vorwort auf Juli 1933 datierte. Als Herausgeber zeichnet Friedrich Trautwein. Laut Vorwort entstand die Schule unter maßgeblicher Mitwirkung Hindemiths und wurde von Sala ausgearbeitet.

⁵⁰ Schader, Hindemith, 2009, S. XXII.

Der Verkaufserfolg des Instruments blieb jedoch trotz der Präsentation des Instruments bei der Funkausstellung 1933 und der gedruckten »Trautoniumschule« weit hinter den Erwartungen zurück, obwohl Sala 1936 berichtete, dass er das Trautoniumspiel unterrichtete.⁵¹ 200 Instrumente wurden gebaut, nur wenige verkauft und einige verschenkt. Der Preis betrug inklusive der Batterie und der Röhren immerhin 431,25 Reichsmark, etwa das 5,5-fache eines »Volksempfängers«. Der Restbestand wurde im Jahr 1938 an Trautwein zur Verwertung übergeben, da sich das Projekt »Volkstrautionium« für Telefunken außerordentlich verlustreich gestaltet hatte.⁵² Daran hatte auch die Tatsache nichts geändert, dass das Instrument von Telefunken auch im Ausland beworben worden war: In der Zeitschrift »La Nature« war einen Monat vor der Pressepräsentation seitens Telefunken in Berlin ein längerer Artikel erschienen. Zu früh, da die Abbildungen noch das ältere AEG/Telefunken-Trautonium wiedergeben (»Les photographies montrent des instruments de ce genre fabriqués actuellement par Telefunken«). Der Verfasser zeigte sich jedenfalls von den Klangfarben begeistert, »supérieures à celles de tout autre instruments connu, sauf peut-être l'orgue«.⁵³ Sala trat mit dem Instrument wohl öfter auf, ohne entsprechendes Medienecho – anders die Auslandstourneen des als »world famous Bulgarian executant« bezeichneten Artisten Dorochoff,⁵⁴ eines angeblichen Wunderkinds, der 16 Instrumente gespielt haben soll. Sie dienten mehr Dorochoffs eigenem Ruhm als der Verbreitung des Trautoniums. Sieben Jahre lang soll er vier bis fünf Stunden pro Tag darauf verwendet haben, das Instrument zu beherrschen⁵⁵ (dies kann zu Recht als maßlose Übertreibung gelten, denn der Artikel erschien vier Jahre nach Vorstellung des »Volkstrautioniums«). 1935 trat Dorochoff in Dresden auf,⁵⁶ 1936 im Deutschen Theater in München im Rahmen des Weihnachts-Festprogramms »Die Weltsensation!«⁵⁷ und im selben Jahr im Berliner »Wintergarten«.⁵⁸ 1937 fand sich Dorochoff im Februar-Programm des Wiener Varieté Ronacher.⁵⁹ Eine Äußerung Salas über seinen Konkurrenten ist nicht bekannt. Karl Holl, Musikschriftleiter der »Frankfurter Zeitung«,⁶⁰ schrieb zu dem Thema 1936 in seinem Blatt: »Dorochoff [...] hat das Trautonium in Dänemark kennen gelernt. Das vorläufige Ausbleiben der künstlerischen Wirkung, die sich die Erfinder und Fabrikanten von dem neuen Instrument versprechen, hat ihn auf den Gedanken gebracht, es für artistische Zwecke auszunützen.«⁶¹

51 Sala, Bericht, 1936, S. 41.

52 Details dazu in Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 137.

53 Raven-Hart, Trautonium, 1933, S. 544.

54 Zu Dorochoff sind weder Vornamen noch biografische Daten bekannt. Ein Auftritt mit dem Trautonium in Holland im Casino Scheveningen, Mai 1938, ist belegt: Het Vaderland, 12.5.1938, S. 4.

55 Illner, Music, 1937, S.8.

56 Dresdner Neueste Nachrichten, 17.10.1935, S. 15.

57 Programmheft des Deutschen Theaters, 12.1936, S.3.

58 Programmheft des Berliner »Wintergartens« 1936. Archiv des Autors.

59 Sehen, hören und staunen, Der Morgen, Wiener Montagblatt, 28. Jg., 8. Februar 1937, Nr. 6, S. 8.

60 Biografie in Moser, Musiklexikon, 1935, S. 335.

61 Frankfurter Zeitung vom 24.5.1936, Universitätsbibliothek J.C. Senckenberg der Goethe Universität Frankfurt am Main, Musik- und Theaterabteilung, Nachlass Holl, Signatur: Nachl. K. Holl.



Abb. 15 Dorochoff am von ihm adaptierten »Volktrautonium« im Berliner »Wintergarten«, 1936.

Über die Verbreitung des Instruments über die Grenzen Deutschlands hinaus ist nur wenig bekannt. Abgesehen von einigen Exemplaren in europäischen Museen (Musée des instruments de musique, Brüssel und im Norsk Teknisk Museum, Oslo) fand sich noch ein Instrument im Besitz der Electronic Arts Foundation, USA, das aber bei einem Wohnungsbrand zerstört wurde.⁶² Ein weiteres fand sich in Uruguay:⁶³ Der Großvater des ehemaligen Besitzers hätte es bei einer Vorführung durch einen Künstler gesehen und ihm abgekauft.⁶⁴

62 Angaben von Tom Rhea an den Autor, E-Mail vom 31.5.2006.

63 Ankauf durch Technisches Museum Wien im Oktober 2008.

64 Eine Aufstellung der bisher bekannten Instrumente findet sich auf <http://www.oskar-sala.de/oskar-sala-fonds/trautonium/volktrautonium/erh-instrumente/index.html>.

3.3 Ergänzungen und Erweiterungen: die ersten subharmonischen Töne

Zwischen den Jahren 1933 und 1936 wurde es verhältnismäßig still um das Trautonium. Diese Zeit ist jedoch von vielen Experimenten und Klangerweiterungen, insbesondere der Hinzunahme von Subharmonischen gekennzeichnet. Sala erläuterte seine Motivation zur Weiterentwicklung des Trautoniums später in mehreren Interviews: Es sei zwar nun das »kleine Instrument« (gemeint ist das »Volkstrautionium«) da gewesen, für jene aber, die mehr machen wollten, sei das jedoch nicht ausreichend gewesen.⁶⁵ Er begann daher schon 1933, mit Zusätzen und Umbauten aus alten Trautoniumexemplaren und weiteren Manualen zu experimentieren.

Die Geschichte schildert Sala in einem handschriftlichen Bericht aus dem Jahr 1936, der sich in seinem Nachlass erhalten hat. In diesem gibt er einen groben Überblick über die Konstruktionsschritte und beschreibt teilweise die Funktion der Bedienelemente auf den Geräten.⁶⁶ In einer Vorrede stellt er fest, dass diese Entwicklungen fast ausschließlich von ihm geleistet wurden. Trautwein billigt er ideelle und technische Beratung zu. Hindemith, Schmidt und Genzmer dankt er für unermüdliche künstlerische Hilfe.

Grundlage für die Weiterarbeit waren zwei Patente Trautweins, die dieser 1931 eingereicht hatte und die die Herstellung und Verwendung von »streng harmonischen Tönen« durch Frequenzdivision beschreiben.⁶⁷ Im zweiten schlägt er sogar vor, dass Töne, die mittels Mikrofon von anderen Instrumenten (z. B. Klavier) aufgenommen wurden, zur Synchronisation von elektronischen Generatoren herangezogen werden könnten, um subharmonische Zusatztöne zu erzeugen. Unter »subharmonischen« Tönen versteht man Töne, deren Frequenz durch Teilung einer Mutterfrequenz entsteht, die Teilverhältnisse sind ganzzahlig. Die dadurch gebildete Frequenzreihe ist gleichsam das Spiegelbild der Obertonreihe (Vielfache der Mutterfrequenz). Die Wirkung der Obertöne bestimmt die Klangfarbe eines Tons, die der Subharmonischen wird als Akkord empfunden. Sala verwendet den Begriff auch synonym für »Untertöne«.

Ein drittes Patent aus dem Jahr 1937⁶⁸ betrifft Verbesserungen und eine stabilere Synchronisation und wurde höchstwahrscheinlich schon für das Rundfunktrautonium, sicher jedenfalls für das Konzerttrautonium verwendet, die Sala später entwickelte.

3.3.1 Das »Konzertinstrument«

Sala entwickelte das Instrument in mehreren Schritten weiter. Mehrere dieser Entwicklungsstufen sind auf Fotografien dokumentiert. Wesentliche klangliche Fortschritte waren allerdings mit den bestehenden Mitteln (Tonblenden und Resonanzfiltern) nicht zu erwarten. Ausgangspunkt war das von ihm so bezeichnete »Konzertinstrument«, ein durch

⁶⁵ Ein Alchemist der elektronischen Musik, NDR 1987.

⁶⁶ Sala, Bericht, 1936.

⁶⁷ Vorrichtung zur Erzeugung von streng harmonischen Tönen in elektrischen Musikinstrumenten, Patent DE 692 241, 1931; Mehrstimmiges elektrisches Musikinstrument mit synchronisierten Kipperschwingungen, Patent DE 693 319, 1931.

⁶⁸ Synchronisationsvorrichtung für elektrische Musikinstrumente, Patent DE 674 890, 1939.



Abb. 16 Das »Konzertinstrument«.

einen Unterbau erweitertes und geringfügig um eine Klangfarbeneinstellung und einen 7-Watt-Verstärker⁶⁹ ergänztes »Volkstrautionium«, zu datieren wahrscheinlich um den Jahresbeginn 1934. Dieses »Konzertinstrument« ist nicht mit dem später von Sala gebauten Konzerttrautionium zu verwechseln, das in Abschnitt 5 beschrieben wird.

3.3.2 Synchronisierte »Mehrfachtöne«

Eine lohnende Perspektive war daher die Erweiterung zur »Mehrstimmigkeit«. Experimente dazu gehen schon auf die Zeit unmittelbar nach 1930 an der Rundfunkversuchsstelle zurück. Der Einfachheit halber wurden mehrere Glimmlampengeneratoren benutzt, was jedoch zu wenig zufriedenstellenden Ergebnissen führte, wie Sala vermerkt.⁷⁰

In einem weiteren Schritt versuchte Sala, zwei bereits existierende Trautionium-Modelle mit verschiedener Tonhöhe (unsynchronisiert) parallel mit einer gemeinsamen Spielschiene zu betreiben, um Mehrfachtöne zu erzeugen. Der technische Aufwand wäre jedoch im Vergleich zum Effekt zu groß gewesen.⁷¹

⁶⁹ Radio für Alle, 1933, S. 420.

⁷⁰ Sala, Bericht, 1936, S. 15.

⁷¹ Ebd.

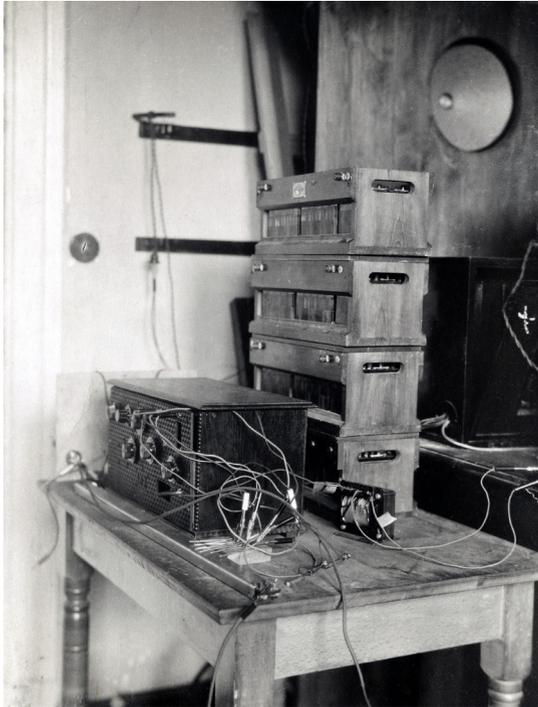


Abb. 17 Tisch mit dem Versuchsinstrument und Batterien, Dezember 1930.

Den entscheidenden Schritt bildete daher die Synchronisation zweier Generatoren für zwei Frequenzen, was die Verwendung von Thyatron-Röhren voraussetzt. Der Grund dafür ist, dass sich der Zündzeitpunkt von Glimmlampen durch angelegte Tenspannungen nicht ausreichend beeinflussen lässt. Eine entsprechende Schaltung teilte Sala nicht mit. Er nutzte in der Folge unterschiedliche Begriffe für die zusätzlichen Töne, meint aber (nachträglich gesehen) meist »Untertöne«.⁷² Unter »Mehrstimmigkeit« versteht er jedenfalls die Verwendung zweier Manuale, »Mehrfachöne« betreffen Untertöne (Subharmonische). Sala sieht die Methode der Synchronisation als am Beginn der Weiterentwicklung stehend.⁷³ Versucht wurde vor allem, die Kopplung zweier Generatoren über drei Oktaven aufrecht zu erhalten, um den Effekt für künstlerische Zwecke nutzbar zu machen. Auf dem Manual wird die Frequenz der Steuer-Röhre (die beabsichtigte Tonhöhe) eingestellt, die synchronisierte (abhängige) Röhre erzeugt den Unterton. Ergebnis der Bemühungen war ein Synchronisationszusatz für das »Konzertinstrument«, montiert im Untergestell auf der linken Seite.

⁷² Mit »Untertönen« sind subharmonische Töne gemeint.

⁷³ Sala, Bericht, 1936, S. 9.

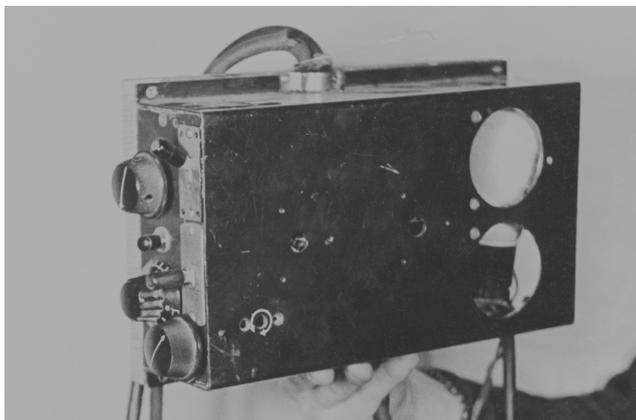


Abb. 18 Der Synchronisationszusatz.



Abb. 19 Das »Konzertinstrument« mit dem Synchronisationszusatz und zweitem Manual.

In einem nächsten Schritt berichtet Sala von der Bildung von Mehrfachtönen durch Hinzunahme mehrerer Untertöne zur Mutterfrequenz. Steigerungen entstehen durch weitere synchronisierter Töne zu Tripel- und Quadrupeltönen. Später nannte er diese Frequenzmischungen »Mixturen« (daher der Name »Mixturtrautonium«) in Anlehnung an die Orgel, obwohl er dies 1936 noch als grundsätzlich verschiedenes Konzept bezeichnet. Er stellt dabei richtigerweise fest, dass diese »Mehrfachtöne« (deren Frequenzen unter der Mutterfrequenz liegen) als Intervalle wahrgenommen werden. Bei den Mixturen der Orgel sei das nicht der Fall, hier entstünden dadurch neue Klangfarben. Die Erklärung dafür: Klangfarben entstehen durch Obertöne mit ganzzahligen Frequenzvielfachen oberhalb des Grundtons. Zugeschaltete Mehrfachtöne bei der Orgel heißen »Register« (ebenfalls mit ganzzahligen Frequenzvielfachen), sie verstärken daher bereits vorhandene Obertöne und beeinflussen somit die Klangfarbe. Sala konstatiert weiter, dass bei den Mehrfachtönen durch Differenztonbildung sogenannte Kombinationstöne entstehen, die das Klangbild ebenfalls beeinflussen. Der Effekt ist auch bei der Orgel bekannt, verstärkt in bestimmten Fällen akustisch tiefer liegende Töne und wird gelegentlich auch verwendet, um teure Basspfeifen einzusparen.

Paul Hindemith, mit dem Sala weiter in regem Kontakt stand, nimmt in seiner 1937 in erster Auflage erschienenen »Unterweisung im Tonsatz« mehrfach Bezug auf Untertöne, Kombinationstöne und das Trautonium. Er bedankt sich sogar in einer Hommage bei Trautwein und Sala für die Erkenntnisse, die ihm durch dieses Instrument vermittelt wurden.⁷⁴ Bei seinen Ausführungen über Kombinationstöne bezeichnet er das Trautonium als Versuchsapparat für akustische Erscheinungen⁷⁵ (in der nächsten Auflage spricht er nur mehr von »elektrischen Tonerzeugern«,⁷⁶ nicht mehr vom Trautonium). Über die Untertonreihe schreibt er in der ersten Auflage: »Die Untertonreihe hat in der praktischen Musik noch nie eine Rolle gespielt, sie ist mit unseren Musikinstrumenten nicht darstellbar. In der Elektroakustik ist sie heute allerdings eine alltägliche Erscheinung, insbesondere ist sie durch das schon wiederholt erwähnte Trautonium auffallend deutlich wahrnehmbar zu machen.« Er spricht ihr aber jene Bedeutung für die Musik ab, die die Obertonreihe habe.⁷⁷ Die Passage lautet in der drei Jahre später erschienenen zweiten Auflage anders: »Ich halte es für widersinnig, eine Kraft anzunehmen, welche die spiegelbildhafte Anordnung einer Obertonreihe zu erzeugen imstande wäre. Eine solche Kraft würde die in der Obertonreihe sich ausdrückende Wirksamkeit der Schwerkraft aufheben – für ihre Tätigkeit liegen keinerlei Beweise vor. In der Elektroakustik ist ein der Untertonreihe zum Verwechseln ähnliches Gebilde heute allerdings eine alltägliche Erscheinung. Elektrische Tonerzeuger können durch bestimmte Schaltungen dazu gebracht werden, zu einem gespielten Tone Kombinationsklänge ertönen zu lassen, die dem zwei-, drei-, vier- ... fachen seiner Wellenlänge (also der Hälfte, einem Drittel, Viertel ... seiner

74 Hindemith, *Unterweisung*, 1937, S. 11.

75 Ebd., S. 78.

76 Hindemith, *Unterweisung*, 1940, S. 84 und 100.

77 Hindemith, *Unterweisung*, 1937, S. 78 und 93.

Schwingungszahl) entsprechen. Diese verwunderliche, auf dem Zusammentreffen der Schnittpunkte der durch die elektrischen Wellen erzeugten Luftschwingungen beruhende Erscheinung kann für die Musik niemals die Bedeutung bekommen, welche die Obertonreihe hat. Sie tritt nur unter besonderen Bedingungen auf, die dem Ton außerhalb der Elektroakustik bis heute nicht geboten wurden«. ⁷⁸

Salas Nomenklatur der Untertöne bezieht sich aus Bequemlichkeit nicht auf Frequenzen (hier müsste es 1 : 1/n lauten), sondern auf Saitenlängen eines fiktiven Monochords (also 1 : n). Oft schreibt er nur mehr die Untertonverhältnisse (n1 : n2), ohne den »Mutterton« zu erwähnen (siehe Abbildung 27). Elektronisch lässt sich das leicht realisieren, wenn man den Muttergenerator von der Tonsumme wegschaltet. Bei der Klanganalyse von Hindemiths »Langsames Stück und Rondo« (Abschnitt 3.4) wird genauer darauf eingegangen.

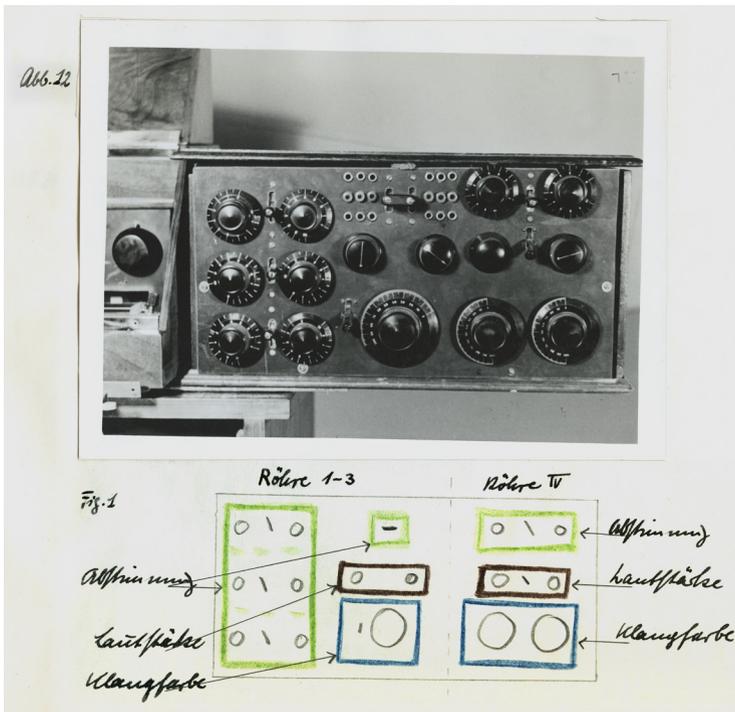


Abb. 20 Das erste Zusatzgerät zum »Konzertinstrument« im Gehäuse des ausgeschlachteten »RVS I«. Grün: Abstimmung, rot: Lautstärke, blau: Klangfarbe. Der Skizze ist zu entnehmen, dass es in dem Zusatzgerät vier Thyatronen für vier Mehrfachtöne gegeben hat.

78 Hindemith, Unterweisung, 1940, S. 101.

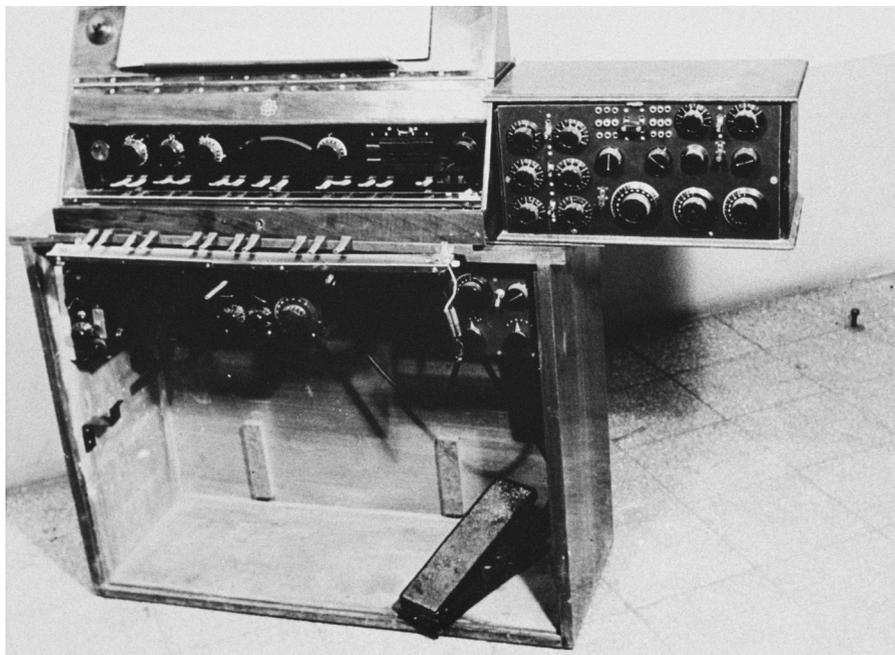


Abb. 21 Das zweimanualige, weiter entwickelte »Konzertinstrument« mit Zusatz.

In dem Instrument konnte man die zweite (synchronisierte) Röhre vom Synchronisationszwang abschalten und dem zweiten Manual zuordnen, was eine autonome zweite Stimme ermöglichte. Beim späteren Rundfunktrautonium wird dies durch erheblich gesteigerten technischen Aufwand obligatorisch sein.

3.3.3 Eine Präsentation für Propagandaminister Goebbels

Trotz Salas Eifer, das Instrument in eine konzerttaugliche Form zu bringen, und Telefunken anfänglichem Enthusiasmus folgte aufgrund des geringen Interesses der Musikerschaft und des Staates eine gewisse Passivität, wie Trautwein feststellte.⁷⁹ Der schleppende Verkauf des »Volkstrautionms« und die geringe öffentliche Präsenz des Instruments veranlassten ihn daher, sich (wie dies auch andere taten)⁸⁰ an Propagandaminister Joseph Goebbels zu wenden: »Die Zukunft der Elektromusik liegt ganz in der Hand des Staates. Dabei kommt es in erster Linie auf die ideelle Förderung durch positive Einstellung der

⁷⁹ Trautwein, Gutachten, 1934.

⁸⁰ Es handelt sich um Bruno Helberger: Richter, Jana (Bearb.), Die Tagebücher von Joseph Goebbels, Band 3/II. München 2001, Eintrag zum 30. April 1936, S. 71.

maßgeblichen Staats- und Parteistellen zur Elektromusik an.«⁸¹ Dazu kam, dass sich Kritik am Instrument regte: Sala nennt in einem Interview Paul Graener von der Fachschaft Komposition der Reichsmusikkammer.⁸² Dagegen musste etwas unternommen werden: Dass Trautwein von sich aus den Kontakt zur Regierung suchte, liegt wohl auch an seiner Nähe zur NSDAP.⁸³ Seine Initiative, für die er seinen Nachbarn, den preußischen Finanzminister,⁸⁴ zu Goebbels vorschickte,⁸⁵ führte schließlich dazu, dass der Propagandaminister das Trautonium besichtigte. Am 13. April 1935 vermerkt er in seinem Tagebuch: »Donnerstag: ich schaue ein neues Instrument, Trautonium, an. Beruht auf elektrischen Strömen. Und hat ungeahnte Möglichkeiten. Ordne an, daß es Musikern vorgeführt wird.«⁸⁶ Diese Ankündigung fand einen Niederschlag in der Presse: »Das Instrument soll demnächst im Kreise berufener Künstler vorgeführt werden.«⁸⁷ Diese Präsentation fand am 28. Mai 1935⁸⁸ im Propagandaministerium vor einer Expertenkommission statt, wie eine Aussendung des Deutschen Nachrichtenbüros lautete.⁸⁹ Den Vorsitz führte Staatssekretär Funk, Sala spielte eine Bach-Sonate, ein Beethoven-Trio und einen Satz aus einer Sonate Max Regers, wobei Rudolf Schmidt und der Cellist Lehmann mitwirkten.⁹⁰ Sala teilt dazu mit,⁹¹ dass das »Konzertinstrument« (wie in Abbildung 21 zu sehen) zum Einsatz kam. Es muss daher zu diesem Zeitpunkt dem neuesten Stand der Entwicklung entsprochen haben. Goebbels hätte zu Ende der Vorführung mit einem lakonischen »Machen Sie mal weiter« reagiert und gefragt, ob das Instrument nicht für Großveranstaltungen zu brauchen wäre. Sala berichtet: Man hätte das mit dem Argument abgewehrt, dass das Instrument noch im Laborzustand sei, was man ja sehen könne.⁹² Es fanden sich nur noch zwei weitere zeitgenössische Notizen über dieses Ereignis: in der »Zeitschrift für Musik«⁹³ und in einer nicht näher bezeichneten Königsberger Zei-

81 Trautwein, Gutachten, 1934.

82 Paul Graener (1872–1944), Komponist und Dirigent, übernahm 1933 die Führung der Fachschaft »Komposition« der Reichsmusikkammer, ab 1934 war er deren Vizepräsident. <http://www.klangspiegel.de/trautonium/trautonium-nach-1933>. Dort nennt ihn Sala den »Meckerer«.

83 Siehe dazu die Einträge in den entsprechenden Karteiblättern, Bundesarchiv Berlin: ZA I, 4741, fol. 69 (Eintritt in die SA als Rottführer am 2.11.1933). Ferner 31xx/R0157, Bild 182 (Zentralkartei). NSDAP Mitglied Nr. 1774684, Beitritt am 01.04.1933); 3200/x0031, Bild 2180 (detto, Ortskartei) und PK/R0058, Bild 568-571 (Personenkartei. SA-Beitritt als Scharführer am 01.11.1937 [sic!]).

84 Der Name wurde von Sala nicht genannt, es muss sich aber um Johannes Popitz gehandelt haben.

85 Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 139.

86 Hermann, Goebbels, Band 3/I: April 1934 – Februar 1936, Tagebucheintrag vom 13. April 1935.

87 Ankündigung in St. Pöltner Bote, 9.5.1935, S. 149.

88 Datum nach Salzburger Chronik für Stadt und Land, Nr. 124 vom 29. Mai 1935, S. 3.

89 Das Deutsche Nachrichtenbüro war die offizielle Presseagentur des Deutschen Reichs im Nationalsozialismus.

90 Salzburger Chronik für Stadt und Land, Nr. 124 vom 29. Mai 1935, S. 3.

91 Sala, Bericht, 1936, S. 16.

92 Fischer-Defoy, Kunst, 1988, S. 43.

93 ZsFM, 102. Jg., Heft 7 vom Juli 1935, S. 830.

tung im Nachlass Salas.⁹⁴ Goebbels selbst schreibt in seinen Tagebüchern nichts mehr darüber. Erst am 14. Januar 1943 liest man wieder über eine Vorführung: »Der Diplomingenieur Traut [sic!] führt mir sein Instrument ‚Trautonium‘ vor, das ich vor einigen Jahren schon einmal besichtigt habe. Es hat eine sehr ansprechende weitere Entwicklung nach der künstlerischen Seite hin gemacht. Es ist jetzt nicht nur ein technisches, sondern auch vor allem ein musikalisches Wunder. Es wird meisterhaft von dem einzigen ‚Pianisten‘, wenn man so sagen darf, der es heute beherrscht, vorgeführt. Ich verspreche mir von der Entwicklung dieser Instruments für unsere große Festgestaltung noch einiges Wesentliche.«⁹⁵

3.3.4 Erweiterungen bis zum »Neuen Trautonium«

Die Weiterentwicklung ging nun zielstrebig voran. Das umgebaute »Volkstrautionium« mit dem »RVS 1« als Zusatz war offenbar nicht präsentabel genug: Sala meinte im Zusammenhang mit dem Auftritt bei Goebbels, es hätte schlimmer ausgesehen.⁹⁶ Trotzdem präsentierte Trautwein das Instrument im Oktober 1935 geladenen Gästen und Fachleuten auf der Dietrich-Eckart-Bühne (einer riesigen »Thingstätte« in Berlin), um die Tauglichkeit für Massenveranstaltungen zu erproben. Sala spielte zusammen mit Musikern des Reichsheeres eigens für das Trautonium geschriebene Stücke.⁹⁷

Unbeirrt davon entschied sich Sala dafür, das Trautonium weiter zu verbessern. Dazu verwendete er noch vorhandene AEG/Telefunken-Trautoniumen, die umgebaut wurden. Ein Pressebild aus dem Jahr 1936 zeigt eine solche Zwischenstufe (Abbildung 22): Ein erweitertes AEG/Telefunken-Trautonium steht links neben einem stark veränderten »Volkstrautionium«, das Instrument ist zweimanualig und scheint in dieser Form in keinem anderen Foto auf.⁹⁸ Das Bild wurde in der Zeitschrift »Funkecho« vom 9.8.1936 zur Reichssendung »Jetzt wird's lustig« vom 13.8.1936 abgedruckt. Das Notenblatt zeigt links oben die Begleitung von Bachs Choral »Erbarm dich mein« (BWV 721), jedoch ohne die Basslinie. Das weist darauf hin, dass Sala mit anderen Instrumenten (vor allem für die Chormelodie) zusammenspielte.

Der letzte Schritt zur Erweiterung des »Konzertinstruments« führte zu einem Exemplar mit drei Manualen durch Hinznahme zweier umgebaute AEG/Telefunken-Trautoniumen. Technisch sind keine neuen Eigenschaften auszumachen, da die Synchronisation subharmonischer Töne ja bereits in den Vorgängerversionen implementiert war. Eine neue und für die »Kunsthfähigkeit« essentielle Funktion dieses Instruments stellte jedoch

94 DMA, NL218/0115. Der Erscheinungstermin lässt sich auf die Zeit zwischen dem 29.5. und 7.6.1935 aufgrund eines weiteren Artikels auf demselben Zeitungsblatt eingrenzen.

95 Hermann, Goebbels, Teil II, Band 7: Januar – März 1943, Tagebucheintrag vom 14.1.1943.

96 Fischer-Defoy, Kunst, 1988, S. 43.

97 Elektrische Musik auf der Thingstätte, Radio-Helios, 12. Jg. 1935, Nr. 22 vom 27.11., S. 1294.

98 Belegt durch ein Pressefoto mit Vermerk »Das Bild zeigt das neue zweistimmige Trautonium«, Archiv des Technischen Museums Wien, Signatur BPA-16155. Siehe dazu auch: Pressedienst des Deutschlandsenders, Bundesarchiv Berlin, R78/798, Band 8, Juli–August 1936.

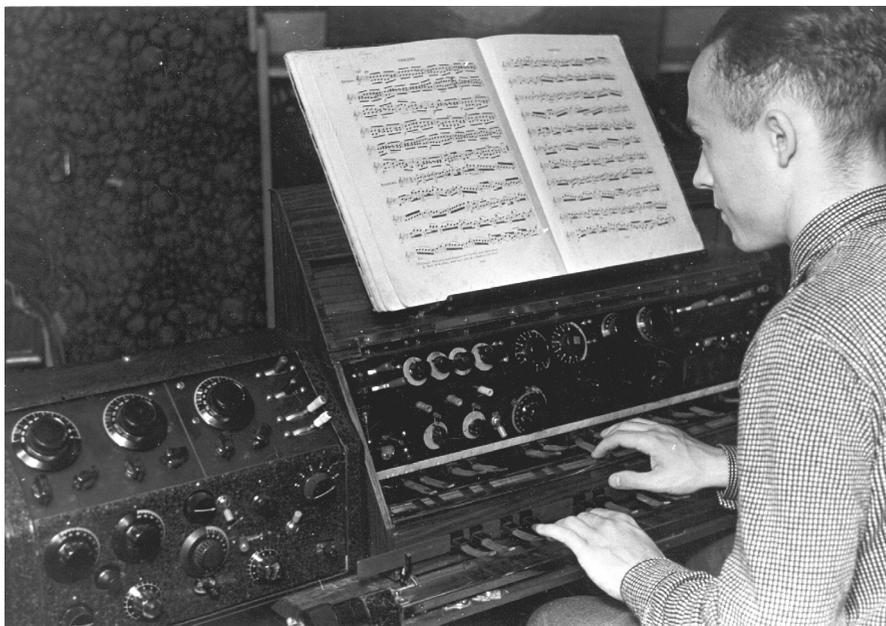


Abb. 22 Sala an einem erweiterten zweimanualigen Instrument, 1936. Die Aufnahme wurde im Unterrichtsraum der Fachgruppe »Musik und Technik« an der Hochschule für Musik in Berlin gemacht.⁹⁹

das »Klangfarbenpedal« dar. Sala schreibt, dass dadurch »eine große Zahl verschiedener Klangfarben zu einer einzigen von höherem Ausdrucksgehalt zusammengefaßt wird. Das heißt aber, daß eine Steigerung der Intensität des Ausdrucks notwendigerweise auf Kosten der Zahl der verschiedenen Klangfarben erfolgen muß. Damit aber wird endlich der unnatürliche Zustand beendet werden können, der bisher darin bestand, daß das Trautonium zwar ein Instrument mit sehr vielen, aber keiner »richtigen« Klangfarbe war.«¹⁰⁰

Sala nennt dieses Instrument »Neues Trautonium« und teilt sogar die Bedeutung der Regler und Schalter in einer Skizze mit.¹⁰¹ Es ist dies das letzte Instrument, das Sala in seinem Bericht beschreibt. Es stellte sichtlich für ihn einen gewissen Abschluss der Entwicklung dar, den er 1936 in seinem Bericht dokumentierte. Die Dreimanualigkeit hat sich jedoch offenbar nicht bewährt, da sie in den nachfolgenden Konstruktionen Salas nicht mehr vorkommt. Sala selbst gab später zu, dass ein drittes Manual das Instrument unspielbar mache.¹⁰²

⁹⁹ Zu erkennen am Tapetenmuster, siehe dazu Zeitschrift für Musik, Jg. 103 (1936), Heft 6, bei S. 704.

¹⁰⁰ Sala, Bericht, 1936, S. 25.

¹⁰¹ Ebd., S. 19.

¹⁰² Sala, Mixturtrautonium, 1954, S.1.



Abb. 23 Das dreimanualige »Neue Trautonium«.

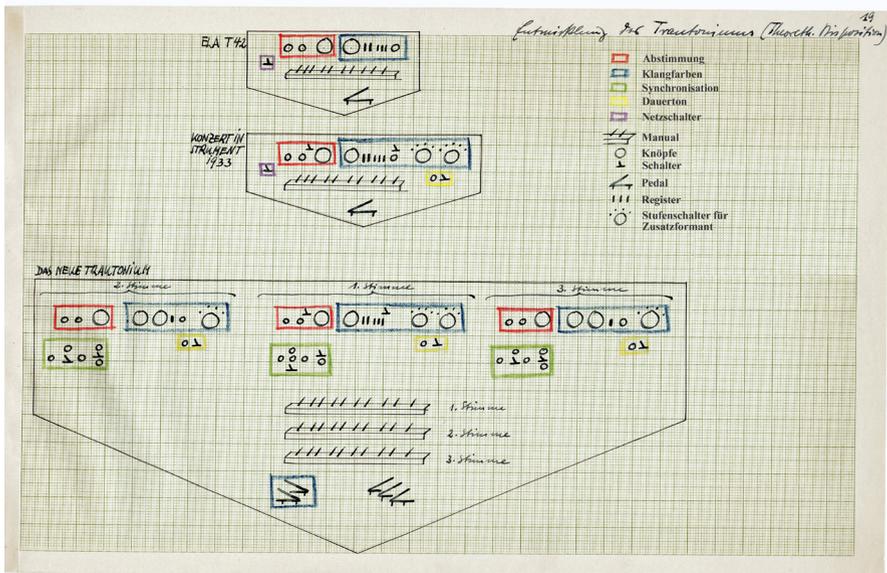


Abb. 24 Die Zuordnung der Bedienelemente bei den bisher beschriebenen Instrumenten: Oben das »Volkstrautionium«, darunter das »Konzertinstrument« von 1933 und schließlich das dreimanualige »Neue Trautonium«.

Eine technische Beschreibung der Funktionalität des Klangfarbenpedals gibt Sala zu dem Zeitpunkt nicht. Die erste genauere Erwähnung findet sich erst in einem Artikel aus dem Jahr 1948¹⁰³ und dem Patent DE 1 017 448¹⁰⁴ aus dem Jahr 1952 (siehe dazu Abschnitt 5).

Einigen Aufschluss über die praktische Verwendung von »Doppeltönen« und »Mehrfach-tönen« geben Abbildungen in Salas Bericht.¹⁰⁵ Was damit gemeint ist, zeigt Abbildung 25. Es handelt sich um die Sarabande aus Bachs Gambensonate BWV 1012. Salas Version zeigt die Hinzunahme zahlreicher Doppeltöne. Der Nutzen einer Zuschaltung (namentlich der Doppeloktave 1:4) sei, so Sala, der Eindruck einer orgelmäßigen Klangfülle. Seine Bearbeitung weist essentielle Abweichungen gegenüber den Noten von Bach auf: Keiner der Töne aus Bachs Partitur erscheint in Salas Version in der originalen Lage. Voraussetzung für seine Version ist die dreimanualige Version des »Konzertinstruments«. Die Melodiestimme mit Subharmonischen 1:4 ist rot markiert. Die weiteren Akkordtöne der Originalpartitur notiert Sala für ein zweites Manual (mit Unterton 1:4, grün markiert) und Zusatztöne für ein drittes Manual (ebenfalls mit Unterton 1:4, blau markiert). Die spieltechnische Schwierigkeit ist die Notwendigkeit, mit einer Hand zwei Manuale gleichzeitig anzuschlagen. Dies ist mit einiger Geschicklichkeit möglich, da für die unterste Stimme (blau) nur einzelne Töne in Abständen ohne Läufe etc. vorgesehen sind (Abbildung 26).

Abb. 25 Salas Version von Bachs Sarabande aus der Gambensonate Nr. 6, BWV 1012. Obere Zeile: Original. Untere Zeile links: Abschrift durch Sala, rechts: gespielte Töne.

103 Sala, Grundlagen, 1948, S. 320.

104 Amplitudenregler für elektrische Musikinstrumente, Patent DE 1 017 448, 18.1.1952.

105 Sala, Bericht, 1936, S. 27.



Abb. 26 Gleichzeitiges Spielen auf zwei Manualen mit je einer Hand.

Sala verwendete die letzte Ausprägung des erweiterten »Konzertinstrument« 1936 höchstwahrscheinlich auch bei der Uraufführung der ersten Version von Harald Genzmers erstem Trautoniumkonzert bei der 67. Tonkünstlerversammlung des Allgemeinen Deutschen Musikvereins (ADMV) in Weimar, 17. Juni 1936, 20:00 Uhr. Das Konzert wurde am 26. Oktober 1936 in Duisburg ein zweites Mal aufgeführt,¹⁰⁶ begleitet von einem langen Zeitungsartikel Trautweins, der mit den Worten schloss: »[...] Man muß bedenken, daß die rücksichtslose Ausnutzung der technischen Musikverbreitungsarten in einer Zeit des individualistischen Kapitalismus sich vollzog. Heute sind die technischen Musikverbreitungsarten wie jede Technik und wie jede Kunst in den Dienst des Volksganzen gestellt.«¹⁰⁷ Der Artikel sollte wohl möglicher Kritik den Wind aus den Segeln nehmen und gleichzeitig betonen, dass das Trautonium ideologiekonform wäre. Sechs Jahre später wurde es sogar »Instrument der stählernen Romantik« genannt¹⁰⁸ in Anlehnung an eine Rede Goebbels', die dieser 1933 in der Berliner Philharmonie gehalten hatte.¹⁰⁹

¹⁰⁶ Konzertprogramm im Nachlass Trautweins, DMA, NL 187/fol. 118.

¹⁰⁷ Trautwein, F.: Trautonium-Elektromusik. In: Duisburger General-Anzeiger Nr. 249 vom 25.10.1936.

¹⁰⁸ U. a. Hambach, W.: Das Instrument der stählernen Romantik, in: Mitteldeutsche Nationalzeitung Halle, 17.1.1942, DMA NL 218 / 0201.

¹⁰⁹ Rede zur Eröffnung der Reichskulturkammer am 15.11.1933 in der Berliner Philharmonie. Mehrfach publiziert, u. a. in: Heiber, H.: Goebbels-Reden, Düsseldorf 1971, S. 137.

3.4 Klanganalyse der Einspielung von Hindemiths »Langsames Stück und Rondo«

Hindemith komponierte 1935 sein »Langsames Stück und Rondo für Trautonium« für das zweimanualige Trautonium (höchstwahrscheinlich dasselbe Instrument wie bei der Vorführung bei Goebbels). Das Stück nimmt, wie in Hindemiths Kompositionsverzeichnis nachzulesen, genau Bezug auf die Möglichkeiten dieses Instruments.¹¹⁰ Die Zuordnung zu einem der experimentellen Instrumente stützt sich auf das Datum 1935 und auf Hindemiths Angaben zur Disposition, ferner auf Angaben von Sala selbst¹¹¹ und einen späteren Brief Salas an Hindemith, in dem er schreibt, dass jener das Rundfunktrautonium nicht mehr kennengelernt habe¹¹² (dieses scheidet also für die Überlegungen um das verwendete Instrument aus). Eine Äußerung Hindemiths in seinem Kompositionsverzeichnis bestätigt, dass dieses Instrumentenkonglomerat je Manual eine subharmonische Stufe besaß. Sala teilte 1993 zu diesem Thema mit, es sei je Manual eine Subquinte 1:3 (beide Füße auf den Pedalen außen) bzw. eine Subdezime 1:5 (beide Füße innen) eingestimmt gewesen, in der Mittelstellung seien die Subteiler abgeschaltet und man könne nur die Oberstimme allein hören.¹¹³

Zur Vermeidung von Unklarheiten ist es angebracht, die Frage der Mehrstimmigkeit zu klären. Hindemith erwähnte in seinem Werkverzeichnis, dass das Trautonium nun »vierstimmig behandelt werden könne«. Dies könnte zur Annahme führen, dass das Instrument polyphon angelegt gewesen wäre. Tatsächlich waren die beiden Manuale jeweils einstimmig (= homophon. Sala nannte sie später »Monochord«).¹¹⁴ Die Hinzunahme von subharmonischen Stimmen, die in fixen Abständen parallel, streng abhängig und schwebungsfrei verlaufen, bedeutet keine Polyphonie im Sinn von unabhängigen Stimmen. An sich entstehen dadurch nur akkordähnliche Gebilde.

Sala spielte die Komposition am 16. November 1935 anlässlich Hindemiths 40. Geburtstag auf zwei Selbstschnitt-Platten ein.¹¹⁵ Es war daher naheliegend, die Originalaufnahme mit der Aufschrift »Als erster Versuch« mittels Frequenzanalyse zu untersuchen.¹¹⁶ Dabei stellte sich heraus, dass die Angaben Salas (»Registrieranweisungen«, siehe Abbildung 27, unterer Teil) missverständlich sind. Der Grund dafür liegt darin, dass Sala die Intervalle ungenau bezeichnet: Die Subquinte ist eigentlich eine Quinte unter der

110 »1935 Anfang August. Langsames Stück und Rondo für Trautonium. Für Sala geschrieben. Interessante Aufgabe, da das Trautonium neuerdings vierstimmig behandelt werden kann, jedoch nur so, daß je zwei Stimmen gekoppelt werden mit den Tönen 2, 3, 4 oder 5 der Untertonreihe (Oktav, Duodezime, zweite Oktav und Terz unter dieser), wodurch zwar starke Beschränkungen fürs Setzen, aber durch das Durcheinanderlaufen beider Kopplungsreihen (die unabhängig und verschieden voneinander laufen können) seltsame Möglichkeiten sich ergeben.« Paul-Hindemith-Institut, Frankfurt/Main (Hrsg.): Hindemith-Jahrbuch 1982/XI, S. 96.

111 Sala, Instrument, 1993, S. 80.

112 Sala, I. Brief, 1947.

113 Sala, Fascinating Instrument, 1993, S. 80.

114 Sala, Das Mixtur-Trautonium, 1950, S. 248.

115 Die Platten befinden sich heute im Hindemith-Institut Frankfurt.

116 Die Aufnahme wurde dem Autor im Jahr 2005 vom Deutschen Rundfunkarchiv zur Verfügung gestellt.

Abb. 27 Oberes System: Klingende Töne. Unteres System: die gegriffenen Töne mit Registrieranweisung (Zeichnung: Sala).

Suboktave. Er bezeichnet das in seinen Partituren mit ⑤ für »quinta« (eigentlich fünf weiße Tasten unter dem Grundton). Gleiches gilt für die Subdezime: Es ist eine Dezime unter der Suboktave oder sogar unter der Doppeloktave. Sala bezeichnet das dann mit ⑩ für »decima« (eigentlich zehn weiße Tasten unter dem Grundton). Dies erinnert entfernt an die Registerbezeichnung in historischen italienischen Orgeln nach Anzahl der Untertasten im Intervall Ton – Grundton.

Zwei Klänge (der Beginn des Stücks und der Beginn des Rondos) wurden mit Spektralanalyse untersucht und die gefundenen Frequenzen Tönen zugeordnet. Die Stimmtönhöhe der Aufnahme konnte mit verschiedenen Verfahren auf $a_1 = 454$ Hz eingegrenzt werden.¹¹⁷ Ob dies die tatsächliche Stimmung des Instruments war oder ob die Umdrehungszahl der Platte bei der Aufnahme oder der Wiedergabe nicht genau genug war, lässt sich im Nachhinein nicht mehr feststellen. Jedenfalls ist die gesamte Aufnahme mit einem leisen Brummton von 50 und 100 Hz überlagert, eventuell eine Motoreinstreuung des Plattenspielers oder eine mangelhafte Siebung des Aufsprechverstärkers. Hilfreich für die Analyse ist, dass Sala selbst die ersten Takte des Rondos als Beispiel für die Verwendung von Mehrfachtönen verwendet hat (Abbildung 27).¹¹⁸

3.4.1 Rondo (zweiter Teil)

Der erste Schritt der Untersuchung war die Spektralanalyse des Signals zur Identifikation der zwei angespielten Töne (das Instrument hat ja nur zwei monophone Manuale). Die Schwierigkeit dabei ist die Überlagerung der Harmonischen beider Töne und der einge-

¹¹⁷ Automatische Stimmttonanalyse durch Capella wave Kit 2.0 und Mittelwertbildung verschiedener Frequenzmessungen von Tönen »a 1« im Tonfile mit Werten zwischen 448 und 457 Hz. Die Töne wurden bei der Aufnahme nicht exakt gegriffen, was die Frequenzunterschiede erklärt.

¹¹⁸ Sala, Bericht, 1936, S. 27.

schalteten Subharmonischen. Das Abhören des Tones ergab jedoch eindeutig die zwei Töne c und e2. Beim Vergleich mit dem Notenbild zeigte sich, dass der Melodieton der notierten Note entsprach, der Basston subjektiv jedoch dem Unterton. Sala hat dieses Phänomen später auch in einem Artikel in der Zeitschrift »Melos« beschrieben¹¹⁹ und in der Zeitschrift »Frequenz« untersucht.¹²⁰

Zur besseren Trennung der Teilfrequenzen beider Töne wurden sie synthetisch rekonstruiert. Dadurch ließen sich zahlreiche weitere Frequenzen zuordnen: Im Spektrum in Abbildung 29 für die rechte Hand, der als Subharmonische der vierte Unterton zugeordnet ist, und im Spektrum in Abbildung 30 für die linke Hand mit dem zweiten Unterton. Der Unterschied der Amplituden zwischen Original und Synthese erklärt sich durch den Frequenzgang des Aufprechverstärkers und der Abspielvorrichtung und einer möglichen Filtereinstellung bei der Aufnahme. Die jeweils den Generatoren zugeordneten Obertöne sind mit einer grünen Linie und Punkten gekennzeichnet.

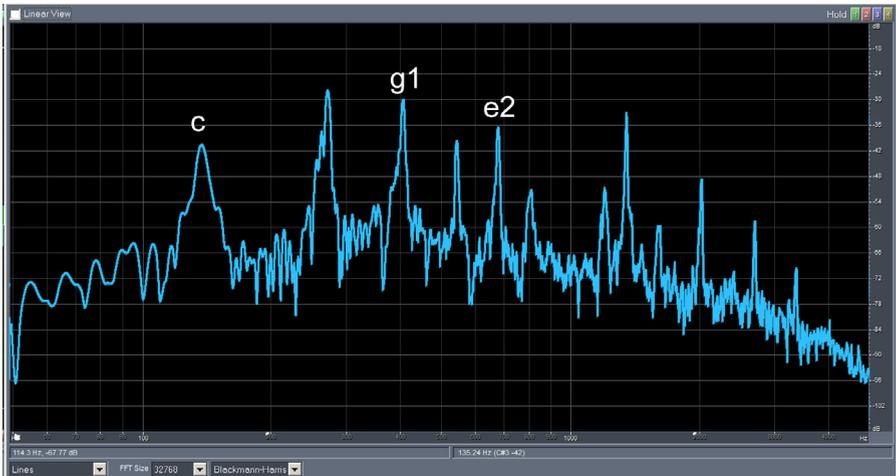


Abb. 28 Spektrum des fraglichen ersten Tons aus der Einspielung Salas aus dem Jahr 1935.

119 Sala, Das Mixtur-Trautonium, 1950.

120 Sala, Konsequenzen, 1951, S. 20.



Abb. 29 Spektrum des Parts der rechten Hand (rote Kurve) über dem Originalspektrum.



Abb. 30 Spektrum des Parts der linken Hand (gelbe Kurve) über dem Originalspektrum.

3.4.2 Langsames Stück (erster Teil)

Für die Untersuchung des ersten Tons des »Langsamen Stücks« lag kein Notenbeispiel von Sala vor. Es ergab sich eine andere Situation als beim »Rondo«. Im Diskant erscheint der Ton $c\#2$ ohne Unterton, im Bass der Spielton $g\#1$ mit dem 2. Unterton $c\#$ (in Salas Nomenklatur ⑤), der akustisch als Basston erscheint. In Abbildung 31 sind die Zusammenhänge zwischen den angespielten Tönen und den mit entstandenen Obertönen markiert.

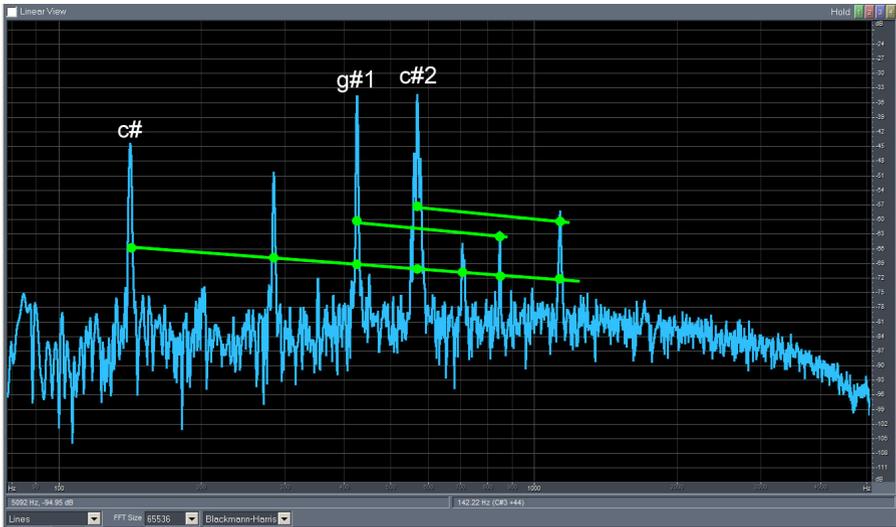


Abb. 31 Der gespielte erste Ton des »langsamen Stücks«. Die Zuordnung der entsprechenden Obertöne ist grün markiert.

Nach Salas Angaben galt die originale Partitur des Stücks als Kriegsverlust. Er hat es 50 Jahre nach der Komposition durch Abhören einer alten Tonbandkopie des Originals rekonstruiert und nochmals am Mixurtrautonium eingespielt.¹²¹ Da durch seine patentierte Synchronschaltung nun bis zu 20 Subharmonische möglich waren, musste der Mutterton höher gelegt werden (viergestrichene Oktave), damit der letzte Unterton noch im Hörbereich lag. Das hatte zur Folge, dass der Spielton nun auf die vierte Subharmonische (zwei Oktaven darunter) zu liegen kam, die Quinte auf die 12. und die Dezime auf die 20. verlegt wurden (es wurde hier Salas Zählweise verwendet, nach der der Grundton die Nummer 1 trägt).¹²² Klangmäßig hat das keinen Einfluss, was durch Analyse der Einspielung bestätigt wurde (Abbildung 32). Die Unterschiede in den Amplituden der Frequenzen im Spektrum erklären sich daraus, dass im Original (gelb) der Frequenzgang der Einspielung unter 200 Hz und über 1000 Hz deutliche Abfälle zeigt. Die neue Einspielung (blau) erweist ab 1000 Hz viele Obertöne, was sich in einem helleren Klangbild auswirkt.

¹²¹ Oskar Sala und sein Mixurtrautonium, Grünwald 1985.

¹²² Zu den Angaben siehe das Booklet zur CD Oskar Sala. Subharmonische Mixturen, Track 1. Erdenklang 70962, 1997.

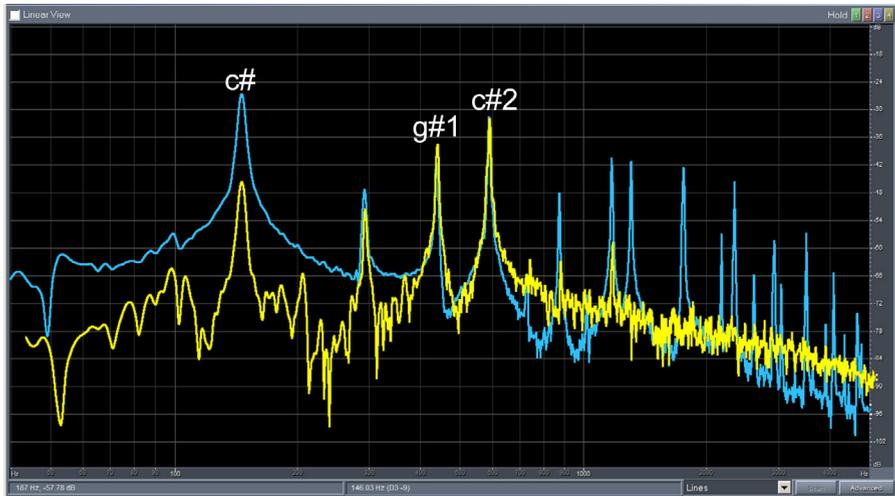


Abb. 32 Vergleich »Langsames Stück« Takt 1: Neue Einspielung (1985) blau, Ersteinspielung (1935) gelb.

4. Das Rundfunktrautonium

Wie bereits erwähnt, förderte die Präsentation im Propagandaministerium und die wohlwollende Äußerung von Goebbels die Bestrebungen um das Trautonium. Der Reichsrundfunk bestellte bei Telefunken – wahrscheinlich 1935 oder 1936 – ein neues Instrument, später von Sala als »Rundfunktrautonium« bezeichnet, das letztendlich er allein konstruierte und in den Labors von Telefunken baute.

Die Entstehungszeit des Rundfunktrautoniums wird in der Literatur unterschiedlich angegeben. Die gelegentliche Vordatierung in das Jahr 1934¹²³ oder 1935¹²⁴ ist mit Sicherheit falsch. Salas eigene Angaben schwanken, sodass zur Datierung eigentlich nur ein Quellenvergleich herangezogen werden kann.

Sicher belegt ist die Existenz des Rundfunktrautoniums mit dem Beginn der Rundfunkübertragungen Anfang 1938 und durch eine Fotografie anlässlich einer Rundfunksendung im Deutschlandsender, datiert auf den 27. Juni 1938 (siehe Abbildung 33). Die von Sala in Interviews und Veröffentlichungen oft erwähnte Serie von Sendungen »Musik auf dem Trautonium« begann am 17. Januar 1938 im Deutschlandsender. Zu diesem Zeitpunkt war das Instrument offenbar voll einsatzfähig, obwohl Sala drei Monate später in einem Artikel darüber sprach, dass das Instrument noch in Entwicklung begriffen

¹²³ U. a. bei Spix, *Trautonium*, 1995, S. 11, und im Booklet zur CD Harald Genzmer. *Trautoniumkonzerte*, Verigo WER 6266-2, S. 3.

¹²⁴ Tetzlaff, *Trautonium* 1997, S. 294.

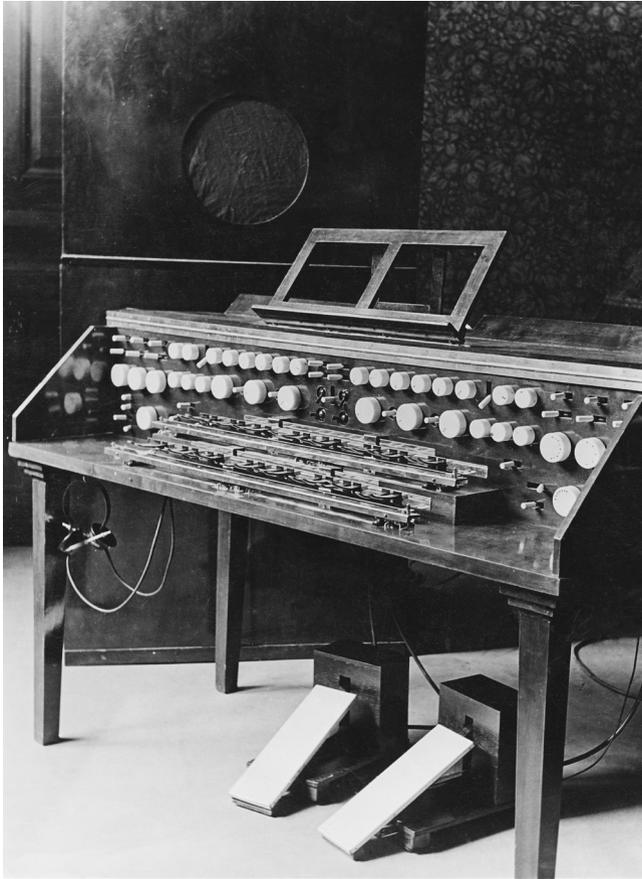


Abb. 33 Das Rundfunktrautonium.

sei.¹²⁵ Der wahrscheinlichste Zeitpunkt der Fertigstellung ist demzufolge das Jahr 1937. Diesen Zeitpunkt nennt Sala selbst auch in einem Brief an Paul Hindemith,¹²⁶ in seinem Artikel in der Zeitschrift »Frequenz«¹²⁷ und in einem Typoskript aus dem Jahr 1954.¹²⁸ Endgültig bestätigt wird dies durch einen Schaltplan, der sich im Nachlass Salas befindet und mit »Trautonium-Schaltung RRG« betitelt ist und aus dem Jahr 1937 stammt. Er ist im Anhang A5 wiedergegeben.

125 Sala, Soloinstrument, 1938.

126 Sala, 1. Brief, 1947.

127 Sala, Grundlagen, 1948, S. 315.

128 Sala, Mixturtrautonium, 1954, S. 2.

Einem Zeitungsbericht zufolge hätte die Reichsrundfunkgesellschaft 1937 Sala den Auftrag erteilt, das Instrument neu zu konstruieren.¹²⁹ Der Auftrag wäre großzügig gewesen und hätte zum ersten wirklich diskussionsfähigen Instrument geführt (das bestätigt Sala in einem Brief an Hindemith).¹³⁰

Geht man also davon aus, dass das Instrument spätestens Ende 1937 fertiggestellt war, so ist 1937 als Datum der Beauftragung sicherlich zu spät angesetzt, da nicht anzunehmen ist, dass Sala die Konstruktion samt Materialbeschaffung und Aufbau innerhalb eines Jahres zustande bringen konnte: »Ein Jahr hat es allein gedauert, bis ich die Sachen zusammenhatte, ich musste ja auch Entwürfe machen und das ganze Gehäuse. Aber es war keine Plage. Im Gegenteil, es hat mir Spaß gemacht, nun einmal endlich all meine Ideen ohne materielle Einschränkungen in einem Instrument verwirklichen zu können.«¹³¹ Wahrscheinlich erfolgte der Auftrag also 1936 oder kurz davor. Sala erzählte später, dass der Rundfunkauftrag zuerst an Telefunken erging, von dort weiter an Trautwein, der dann Sala mit der Ausführung mit der Bemerkung betraute: »Sie müssen es ja doch spielen.«¹³² Dies wird durch einen Vertrag erhärtet, der sich im Telefunken-Nachlass fand. Darin wird Trautwein am 24. Juli 1936 mit der Entwicklung eines »Künstler-Instruments« beauftragt. Eine Serienproduktion wird dabei nicht ausgeschlossen, auch die Herstellung einer einmanualigen Variante. Trautwein wird zugestanden, das Instrument auch von einer Drittfirma produzieren zu lassen. Regelmäßige Honorarzahungen wurden vereinbart, ebenso die kostenlose Lieferung von Material bis zu einem Wert von 3000 Reichsmark.¹³³ Die Bereitschaft Telefunken, in ein weiteres Trautoniummodell zu investieren, verwundert, da bis zum 30. November 1937 bereits 301 900 Reichsmark in Honorare für Trautwein und das »Volkstrautionium« investiert worden waren.¹³⁴ In der Folge wollte man sich aber doch von Trautwein trennen und mit Sala selbst verhandeln.¹³⁵ Es ist jedenfalls anzunehmen, dass Telefunken bei der Erstellung des Rundfunktrautioniums wesentlich beteiligt war.¹³⁶

Im Rundfunktrautionium fasste Sala seine bisher gemachten Erfahrungen mit Klangerweiterungen und Spielhilfen zusammen. Das Instrument, das er entwickelte, besaß zwei Manuale, auf beiden jeweils zwei subharmonische Teilerstufen mit zwei, mittels Umschalter wählbaren Teilungsstufen, nämlich Subquinte und Subdezime.¹³⁷ Trautwein hatte für die Synchronisation dieser subharmonischen Generatoren mit dem Hauptgene-

129 Jung, Wilhelm: Ein neues Musikinstrument: Das Trautionium. In: Leipziger Neueste Nachrichten Nr. 242 vom 28.08.1940. 1937 als Auftragsvergabe anzugeben, erscheint unwahrscheinlich. Es mag sich um eine Verwechslung seitens des Journalisten mit dem Fertigstellungstermin handeln.

130 Sala, l. Brief, 1947.

131 Interview von Matthias Becker, a.a.O.

132 Oskar Sala und sein Mixturtrautionium, Grünwald 1985 und Frieb/Krumbacher/Seydel, Oskar Sala im Gespräch, 1995, S. 226.

133 Archiv des Deutschen Technikmuseums Berlin, Signatur I.2.60 C 1783, fol. 12–25.

134 Ebd., fol. 93.

135 Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 142.

136 Siehe dazu Stange-Elbe, Bedeutung der elektroakustischen Medien, 1989, S. 116.

137 Sala, Fascinating Instrument, 1993, S. 80.

rator eine neue Schaltung entwickelt, die er 1936 zum Patent anmeldete.¹³⁸ Der Anteil Trautweins an der Weiterentwicklung des Trautoniums war demzufolge größer, als Sala später erwähnte. Beide hatten sich offenbar im Lauf der Trautoniumentwicklung entzweit: Sala verlangte sogar in einer Eingabe an Telefunken, seine eigene Arbeit entsprechend zu würdigen.¹³⁹ Das mag daran gelegen haben, dass Trautwein für seine theoretischen Beiträge aus den Verträgen mit Telefunken laufend verhältnismäßig hohe Beträge bezog, er Sala aber die praktische Arbeit überließ, die schließlich zum Erfolg führte. Trautwein ließ keine Gelegenheit vergehen, sich mit dem Trautonium zu präsentieren. Sala musste natürlich spielen, hatte aber kaum Gelegenheit, sich zu äußern. So im Streifen »Filmarchiv der Persönlichkeiten«, in dem Trautwein auch betont, dass der Nationalsozialismus seine Bestrebungen gefördert und ihm zu mancherlei Erfolgen verholfen hätte.¹⁴⁰ Er spricht auch immer von »seinem Instrument«, obwohl er zu dessen Konzertsfähigkeit nichts mehr beigetragen hatte. Sala selbst hätte sparsam leben müssen, wie Harald Genzmer in Gesprächen mit dem Autor öfter betonte.¹⁴¹ Sala einigte sich erst 1953 mit Trautwein hinsichtlich der Nutzung der Patentansprüche¹⁴² und »versöhnte sich« – wie er sich ausdrückte – wieder mit ihm.¹⁴³

Trautweins Schaltung zur Synchronisation von Subharmonischen aus dessen Patent war nur über vier Oktaven des Muttergenerators bis zur vierten Subharmonischen stabil. Die Einstellung der Synchronisation musste bei in der Mitte gedrückten Spielschiene erfolgen, um über den restlichen Bereich erhalten zu bleiben.

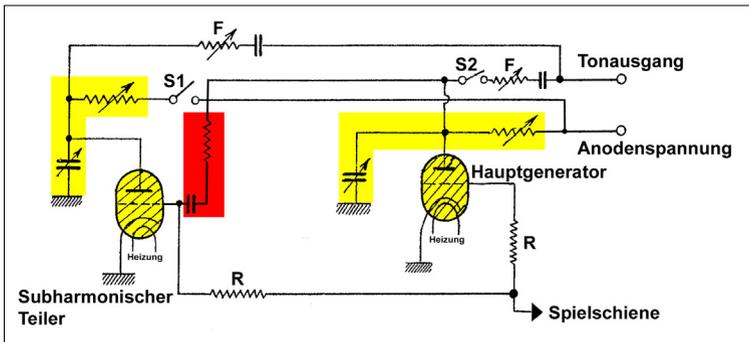


Abb. 34 Synchronschaltung aus dem Patent Trautweins (vereinfacht) nach dem Patent DE 674 890 vom 26.3.1937. Die gelb markierten Teile dienen zur Frequenzeinstellung, die rot markierten zur Synchronisation. Die Widerstände R entkoppeln die beiden Stufen. Die Filter F dienen zur Einstellung der Klangwirkung, der Schalter S1 zur Inbetriebnahme der Teilerstufen, S2 zur Zuschaltung des Hauptgenerators zum Ausgang.

138 Synchronisationsvorrichtung für elektrische Musikinstrumente, Patent DE 674 890, 1937.

139 Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 143.

140 Filmarchiv der Persönlichkeiten: Prof. Dr. Friedrich Trautwein. Produktion 1942, Bundesarchiv Sign. 28044.

141 Donhauser, Musikmaschinen, 2019, S. 166ff., Interview mit Harald Genzmer.

142 Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 226.

143 Interview von Matthias Becker, a.a.O.

Mit dem Instrument war auch der Grundstein zum Konzept der Seitenbewegung der Pedale zur Umschaltung der Haupt- und Teilerstufen gelegt worden. Sala gibt an, dass die Idee zur Pedalumschaltung erstmals anlässlich von Paganinis »Caprice E-Dur« entstand, um Oktavsprünge leichter umsetzen zu können. Aus der Handbewegung beim Violinspiel wurden also Fußbewegungen.¹⁴⁴ Wie in Abbildung 35 zu sehen, erfolgt die Umschaltung über Schalter rechts und links der Pedale, die mehrere Relais betätigen. Sie sind mit »h« [hoch], »m« [mittel], »t« [tief] und »tt« [sehr tief] bezeichnet. Ihre Wirkung wurde zusätzlich durch »Kellogsschalter« (vielpolige Umschalter, im Schaltbild mit »KS« bezeichnet) bestimmt: Nur in einer Schalterstellung sind die Pedale wirksam, in den übrigen sind fixe Relaisstellungen festgelegt. Dieses Schaltungsdetail findet sich in mehreren Varianten in unterschiedlichen Schaltplänen, die sich im Nachlass erhalten haben.¹⁴⁵ Die Relaiskontakte schalteten ihrerseits die frequenzbestimmenden Elemente der Thyatron-Röhren um. Der Tonhöhenschritt betraf jeweils eine Oktave. Zusätzliche Kellogsschalter erlaubten es, die Wirkung der Seitwärtsbewegung der Pedale festzulegen: Oktavumschaltung oder Teilerumschaltung.¹⁴⁶ Nachdem die Pedale nur drei Stellungen erlaubten, jedoch vier Stufen gewünscht waren, mussten auch hier Kellogsschalter zur Bereichsumschaltung verwendet werden.

Sala beschreibt die Einstellarbeit der Subharmonischen als mühsam, da der zweite Generator durch die bereits früher erwähnte Frequenzabhängigkeit der Sägezahnspannung nur schlecht synchronisierte. Die Auf- und Abwärtsbewegung der Pedale regelte (wie schon bei den früheren Modellen) die Lautstärke. Das linke Pedal war dem oberen Manual (der rechten Hand) zugeordnet, das rechte der linken Hand. Sala war der Meinung, dadurch eine unwillkürliche Verkopplung rechte Hand – rechter Fuß zu verhindern. Dies wurde bis zum mikroelektronischen »Mixertrautonium nach Oskar Sala« unverändert beibehalten.¹⁴⁷ Das Rundfunktrautonium verfügte zudem über zahlreiche Klangfilter, von Sala als »Register« bezeichnet.

Die in den Abbildungen 36 und 37 auszugsweise wiedergegebenen Schaltplanteile verraten noch mehr über das Rundfunktrautonium. Erstmals finden sich hier die Flüssigkeitswiderstände zur Lautstärkeregelung, auf die im Abschnitt 5 über das Konzerttrautonium näher eingegangen wird. Sala meldete sie erst 15 Jahre später zum Patent an.¹⁴⁸ Sie sollten Knack- und Kratzgeräusche vermeiden, die bei Potentiometern aufgrund von Staubpartikeln auf den Widerstandsbahnen kaum vermeidbar sind. Da es sich dabei um ein nicht genormtes Bauteil handelte, ließ sich Sala für deren Darstellung ein eigenes Schaltsymbol einfallen.

144 Sala, *Fascinating Instrument*, 1993, S. 78. Siehe dazu auch den Abschnitt über die Klangformung.

145 DMA, NL 218/2457, 2451, 2456 und 2449.

146 Siehe Schaltplan in DMA, NL218/2449.

147 Freundliche Mitteilung von Dietmar Rudolph. E-Mail vom 8.1.2011.

148 Amplitudenregler für elektrische Musikinstrumente, Patent DE 1 017 448, 18.1.1952.

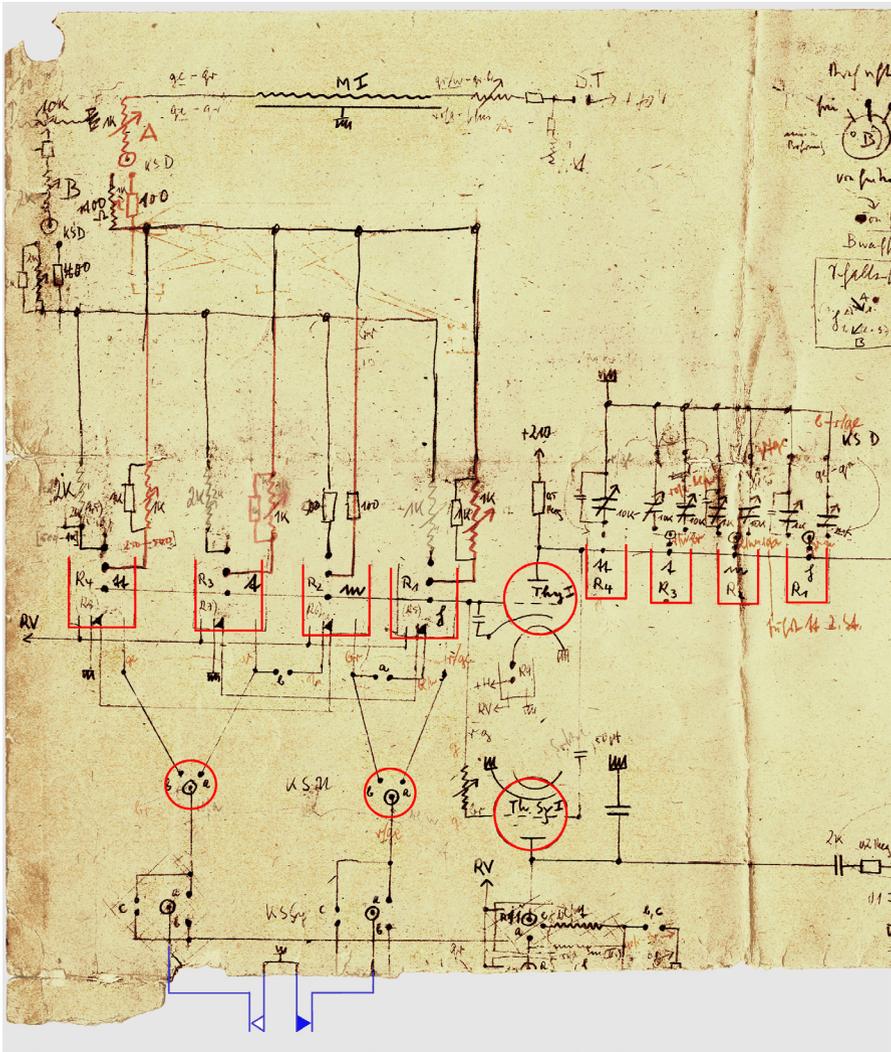


Abb. 35 Schaltplan der Thyatron-Beschaltung mit Umschaltern für das Rundfunktrautonium (Ausschnitt). R1... R4 (hoch, mittel, tief, sehr tief) sind die zugehörigen Relais; sie sind rot gekennzeichnet. Die Thyatronen und die Umschalter in der Ansteuerung der Relais sind ebenfalls rot markiert. Die Pedalschaltung auf dem nicht mehr vorhandenen Teil des Blattes wurde nach Vorlagen anderer Schaltpläne ergänzt. (Deutsches Museum Archiv, NL218/2449)

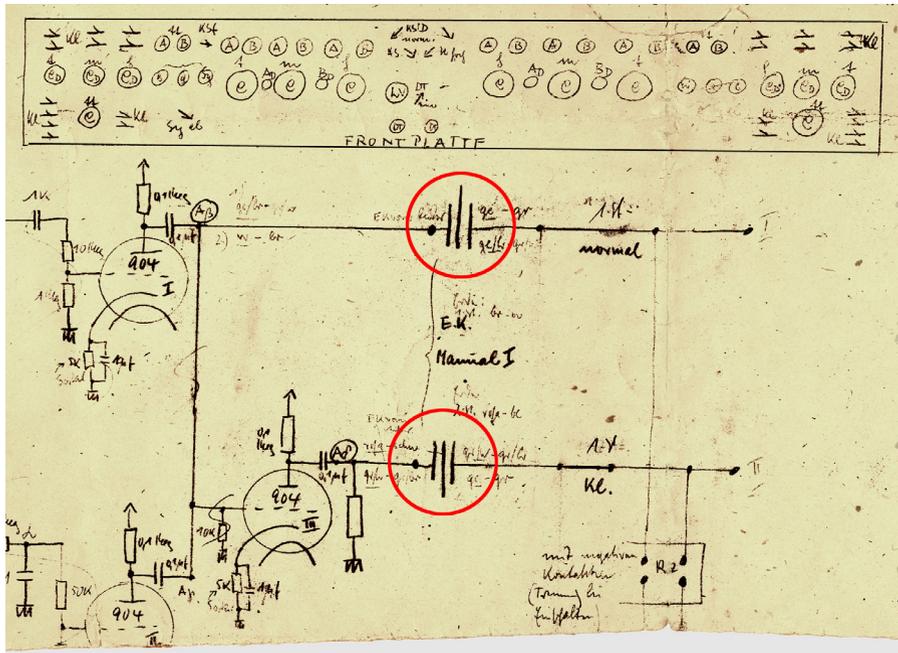


Abb. 36 Schaltplanausschnitt mit den beiden Flüssigkeitswiderständen (gekennzeichnet) und dem Layout der Frontplatte des Rundfunktrautoniums (Ausschnitt). Die Röhre I dient zur Entkopplung der Grundschwingung, Röhre II der Subharmonischen. Röhre III invertiert die Subharmonische, die über einen eigenen Regler an den Ausgang gelangt.

In dem Schaltplan taucht zum erstem Mal auch die Gruppierung der Klangfilter auf, die in den späteren Schaltplänen immer wieder zu finden und folgendermaßen bezeichnet sind: S[ordun], V[ioline], Ob[oe], F[löte] und eine zweite Gruppe für Formanten, die Sala mit »FF, FT, T und TT« bezeichnete. Zu diesen Filtergruppen werden alle Tonspannungen zusammengeführt, auch die »freien Stimmen« (regelbare Dauertöne) einer Art Schlagwerk. Schaltpläne, die später zu datieren und teils keinem Instrument eindeutig zuordenbar sind, sehen für jeden der Filterzweige einen eigenen Flüssigkeitsregler zur Einblendung vor. Über diesen Aspekt wird im Abschnitt 7 gesondert berichtet.

Sala beschrieb das Rundfunktrautonium 1938 in einem Artikel im »Neuen Musikblatt«. ¹⁴⁹ Er hätte die »starrten« Klangfarben überwunden, indem beiden Pedalen die Funktion von Farbmischungen zugeordnet wurden: dem rechten Pedal die dunklen, weichen und dem linken die hohen, hellen Klangfarben. Nur so könne durch Kombination ein »seelenvoller« Ton erzeugt werden. Die Funktion des Klangfarbenpedals wird im Mixturtrautonium nochmals aufscheinen.

149 Sala, Soloinstrument, 1938, S. 5f.

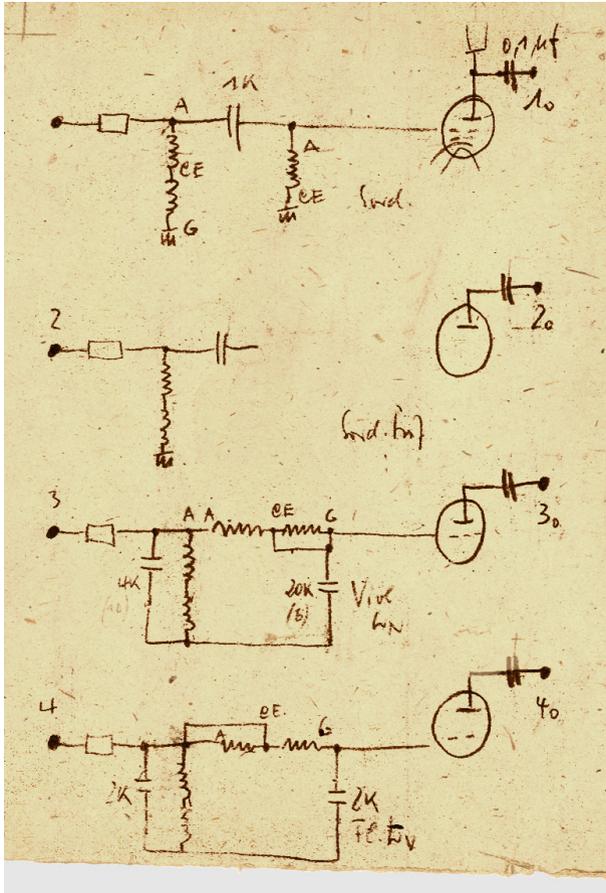


Abb. 37 Die Filter des Rundfunktrautoniums (Schaltplanausschnitt).

Bis zum Beginn des Zweiten Weltkriegs sind insgesamt 54 Sendungen »Musik auf dem Trautonium« nachgewiesen, meist zwischen 18:25 und 18:45 Uhr mit einer Sendedauer von 15 bis 25 Minuten.¹⁵⁰ Gespielt wurde live im Funkhaus, das Repertoire umfasste Bearbeitungen von Violin- und Flötenwerken, Originalkompositionen von Genzmer, Fröbe und Ingenbrand. Geübt werden musste in der Nacht, da die Räume tagsüber laufend belegt waren. Das Instrument blieb aber fix beim Rundfunk stehen. Ausnahme war noch eine Aufführung außerhalb Berlins in Cottbus, wo am 20. April 1939 Genzmers

¹⁵⁰ Die Sendungen sind in den Programmzeitschriften »Funkstunde« und »N.S. Funk« aufgeführt. Der Autor hat für die fragliche Zeit sämtliche in Programmzeitschriften genannten Sendungen mit dem Trautonium erhoben.

erstes Trautoniumkonzert gespielt wurde.¹⁵¹ Den Aufschwung durch Aufführungen und Rundfunksendungen erklärte Trautwein bereits früher im Jahr 1936 folgendermaßen: »Diese und andere Veranstaltungen sind Ausführung einer Anordnung des Herrn Reichsministers Dr. Goebbels«. ¹⁵²

Das Rundfunktrautonium hat das Kriegsende überlebt. Es fand sich unbeschadet im Funkhaus in der Masurenallee in Berlin. Es war auch im Rundfunk mehrfach zu hören, erstmals am 1. Januar 1947 um 18.45 Uhr.¹⁵³ Obwohl das Berliner Funkhaus nach Kriegsende in der Hand der russischen Besatzung war, die eine Reihe von Anlagen als Reparationszahlung demontierte, konnte sich Sala nach eigenen Angaben frei im Haus bewegen, bekam einen Platz zur Arbeit zugewiesen und erhielt den Auftrag, ein Quartetrautonium zu bauen (Abschnitt 6). In diese Zeit fällt auch die Entwicklung der Synchronisationsschaltung für das Mixturtrautonium, über die später berichtet wird und für die Sala zwei Mitarbeiter zur Verfügung standen.¹⁵⁴ Am 9. Juni 1952 mussten alle dort Tätigen das Funkhaus verlassen, darunter auch Sala. Er klagte später, er habe alles zurücklassen müssen, auch sein Doppeloszilloskop;¹⁵⁵ nur das Konzerttrautonium¹⁵⁶ mit Zubehör und den Rohaufbau der neuen Schaltung für die Synchronisation der Subharmonischen habe er gerade noch retten können.¹⁵⁷ Die Programmproduktion der DDR wurde in das neue Funkhaus in der Nalepastraße (Ostberlin) übersiedelt. Bis 1956 blieb das Funkhaus in der Masurenallee eine russische Enklave im britischen Sektor Berlins. 1955 fand sich das Quartetrautonium, das Sala in der Masurenallee zu bauen begonnen hatte, in einem unfertigen Zustand im Haus Nalepastraße wieder, das Rundfunktrautonium jedoch nicht.¹⁵⁸ Sala teilte später mit, dass das Rundfunktrautonium »als zu westlich« zerstört worden wäre, was sich in den ostzonalen Berichten als »verschrottet« wiedergefunden hätte.¹⁵⁹ Nach derzeitigem Kenntnisstand muss das Rundfunktrautonium jedenfalls als verloren gelten, da das Funkhaus in der Masurenallee laut Auskunft des Deutschen Rundfunkarchivs im Jahr 1956 »besenrein« an den Berliner Senat übergeben wurde; dies steht allerdings im Widerspruch zu Fotos vom 12. Juli 1956, die zahlreiche Trümmerhaufen erkennen lassen.¹⁶⁰

151 Cottbuser Anzeiger vom 18.4.1939 mit einem Foto des Rundfunktrautoniums.

152 Trautwein, Wesen und Ziele der Elektromusik, 1936, S. 695.

153 Fischer-Defoy, Kunst, 1988, S. 45, und Sala, 2. Brief, 12.1947.

154 Booklet zur CD Oskar Sala. Subharmonische Mixturen, Erdenklang Musikverlag, Eslohe 1997.

155 Interview von Matthias Becker, a.a.O.

156 Sala hatte es wahrscheinlich nach der Aufnahme von Genzmers erstem Trautoniumkonzert in Leipzig im Jahr 1951 nach Berlin verbracht.

157 Booklet Subharmonische Mixturen, a.a.O.

158 Telefonische Auskunft von Gerhard Steinke, 4.1.2011.

159 Booklet Subharmonische Mixturen, a.a.O.

160 Rennefeld, Poelzig. Haus des Rundfunks, 1994, S. 50.

5. Das Konzertrautonium

Das Rundfunktrautonium erwies sich für Salas beginnende Konzerttätigkeit als nicht ausreichend geeignet, da es nicht auf Reisen eingesetzt werden konnte. Die Lösung war die Konstruktion eines neuen zerlegbaren und für Konzertreisen konzipierten Instruments. Die Reichsmusikkammer sagte eine finanzielle Unterstützung zu.¹⁶¹ 1940 war das neue Instrument, das Konzertrautonium, fertiggestellt.¹⁶² Eine wesentliche technische Weiterentwicklung gegenüber dem Rundfunktrautonium ist nicht festzustellen: Wie dieses besitzt es zwei Manuale, Pedale mit Umschaltfunktionen, Register (Umschalter für Klangfarben) und je Manual einige Subharmonische. Harald Genzmers erstes Trautoniumkonzert wurde auf diesem Instrument in der Berliner Philharmonie am 28. Oktober 1940 aufgeführt, der erste Einsatz dieses Instruments.¹⁶³ Sala unternahm mit dem »Konzertinstrument« bis 1944 zahlreiche Konzertreisen. Zwischen 1940 und 1944 sind knapp 50 Auftritte nachzuweisen.¹⁶⁴ Bei Kriegsende stand das Instrument kurze Zeit in Salas Heimatort Greiz, danach im Landessender Weimar¹⁶⁵ und wurde anschließend nach Berlin zurückgeführt.



Abb. 38 Sala am Konzertrautonium, am Flügel begleitet von Harald Genzmer. Neben dem Trautonium stehen das Netzteil (rechts) und ein Lautsprecher (links). Die Aufnahme entstand beim Konzert im Wiener Konzerthaus/Mozartsaal im Jahr 1942.

161 Friß/Krumbacher/Seydel, Oskar Sala im Gespräch, 1995, S. 227.

162 Sala, Grundlagen, 1948, S. 315.

163 Sala, Mixtur-Trautonium, 1950, S. 248.

164 Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 256–261.

165 Sala, l. Brief, 1947.



Abb. 39 Sala am Konzerttrautonium anlässlich der Aufführung von Genzmers erstem Trautoniumkonzert in Leipzig, 1951. Das Netzteil steht rechts unten am Bildrand.

Sala veränderte das Instrument laufend durch Einbau einiger Drehregler, 1949 waren es sechs,¹⁶⁶ 1951 schon 13, die in zwei Reihen angeordnet sind, wie am Instrument im Deutschen Museum festzustellen ist. Der wahrscheinlich letzte Einsatz des Konzerttrautoniums ist durch Fotografien im Deutschen Rundfunkarchiv belegt. Sie zeigen die Einspielung von Genzmers erstem Konzert am 10. Juni 1951 mit dem Rundfunk-Sinfonieorchester Leipzig unter Gerhard Pflüger.¹⁶⁷ Genzmers zweites Trautoniumkonzert aus dem Jahr 1952 ist bereits für das Mixturtrautonium konzipiert.

Sala hat sich zur Technik des Konzerttrautoniums nur am Rande geäußert. Es wurde nach seiner Aussage von Kupferdieben geplündert,¹⁶⁸ sodass es seine Aussagekraft teils verloren hat. Im Archiv des Deutschen Museums sind jedoch mehrere Schaltpläne erhalten,¹⁶⁹ die (neben einigen Varianten eines Schlagwerks) verschiedene Entwicklungsstufen

166 Vgl. Wochenschaubericht »Der Augenzeuge«, Nr. 47, 1949.

167 Deutsches Rundfunkarchiv Potsdam-Babelsberg, Signaturen Oskar-Sala-001, Oskar-Sala-002, Oskar-Sala-003.

168 Ein Alchemist der elektronischen Musik, NDR 1987.

169 DMA, NL218/2451 und 2449.



Abb. 40 Das Konzertrautonium in seiner ursprünglichen Form. In der Mitte der Registertafel ist die Reihe von Schaltsteckern zu sehen.

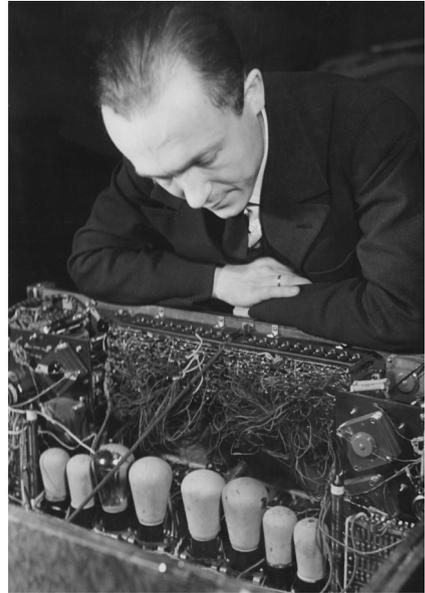


Abb. 41 Sala vor dem geöffneten Konzertrautonium. Der Teil vor seiner Hand enthält die zahlreichen Schaltbuchsen.

des Konzertrautoniums zeigen. Einer der Pläne ist im Anhang A2 wiedergegeben. Hier finden sich vor allem drei subharmonische Teilerstufen, zudem Pedalschalter für die Oktavauswahl respektive die Teilerstufe eines der Thyratrons, ferner eine Umschaltung des Hauptgenerators zwischen den Basistönen C, D und G mittels Kellogschaltern. Die auf zahlreichen Fotos erkennbaren weißen Stifte in fünf Reihen erweisen sich als Schaltbuchsen (ähnlich den heute üblichen Klinkenbuchsen mit Schaltfunktion, hier aktiviert beim Einstecken eines Bananensteckers), die insbesondere Filtereinstellungen für beide Manuale ermöglichten.

Auf den Schaltplänen finden sich auch die Klangfarben-Gruppen S, O, V, F und FF, FT, T und TT wieder, wie sie beim Rundfunktrautonium schon erwähnt wurden. Sie lassen sich zusätzlich noch durch zahlreiche Schaltbuchsen fein abtufen. Wie heute noch feststellbar, findet sich auch hier die Verwendung von Flüssigkeitswiderständen zur Lautstärkeregelung jeder Filtergruppe.

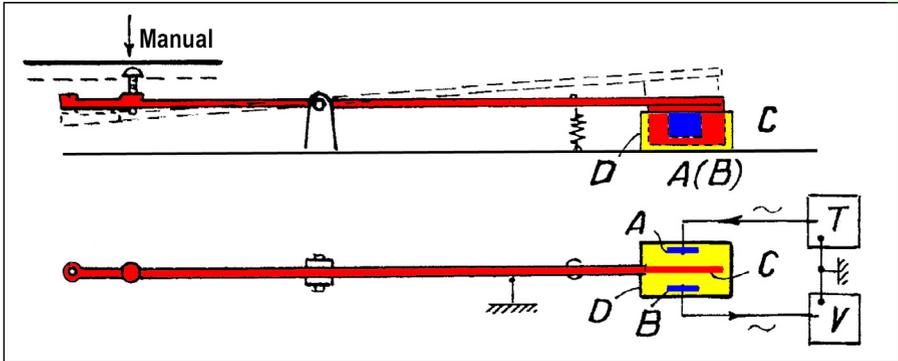


Abb. 43 Zeichnung der Flüssigkeitsregler aus Salas Patent »Amplitudenregler für elektrische Musikinstrumente«. ¹⁷⁰

anderen der Endverstärker (V). Da Glycerin kein Isolator ist, fließt ein Strom von A nach B. Schiebt sich die mit der Masseleitung des Verstärkers verbundene Fahne C dazwischen, verringert sich der Strom und reißt schließlich ab. Sala nutzte diese Regler nicht nur für die Manuale, sondern auch für die Pedale. Dabei fällt auf, dass hier mehrere Regler vorhanden sind, die wegen der langen Wege, die das Pedal zurücklegt, über verlängerte Hebelstangen und Schnurzüge betätigt werden. Dies entspricht auch den späteren Zeichnungen im Patent. ¹⁷¹

Die Erklärung für die zusätzlichen Regler gab Sala 1948 in der Zeitschrift »Frequenz«. ¹⁷² Nach seinen Aussagen hätten ihn die Defizite der älteren Trautoniums zu einer Erweiterung veranlasst: Da er häufig Violinliteratur spielte, empfand er das »beglückend helle Aufleuchten« in den Schlusstakten der Violinsonate in G-Dur von Johannes Brahms auf den älteren Modellen als nicht realisierbar. Daher ergänzte er die Pedalschaltung dahingehend, dass sich auf Druck mehrere Flüssigkeitswiderstände progressiv dazuschalteten, um die Intensität einzelner Formantfilter zu regeln. Das linke Pedal blendet die Filter für hohe Frequenzen ein, das rechte für tiefe (wie dies bereits in der Beschreibung des Rundfunktrautoniums zu lesen war). Dadurch lässt sich beispielsweise in Paganinis Caprice E-Dur die Passage »imitando il Flauto« und »imitando il Cornu« nicht nur lagenmäßig, sondern gleichzeitig auch klangfarbenmäßig umschalten. Das Ergebnis ist nicht mehr ein einfacher Lautstärkeschweller, sondern das bereits früher angesprochene Klangfarbenpedal: »Dadurch ist der Spieler in der Lage, das Mischungsverhältnis jederzeit, insbesondere während des Spiels und selbst auf einem Ton gleitend zu verändern.« Die Pedale schalteten demzufolge nicht nur über Relais verschiedene Funktionen um (digital,

¹⁷⁰ Amplitudenregler für elektrische Musikinstrumente, Patent DE 1 017 448, 18.1.1952.

¹⁷¹ Ebd.

¹⁷² Sala, Grundlagen, 1948, S. 320.

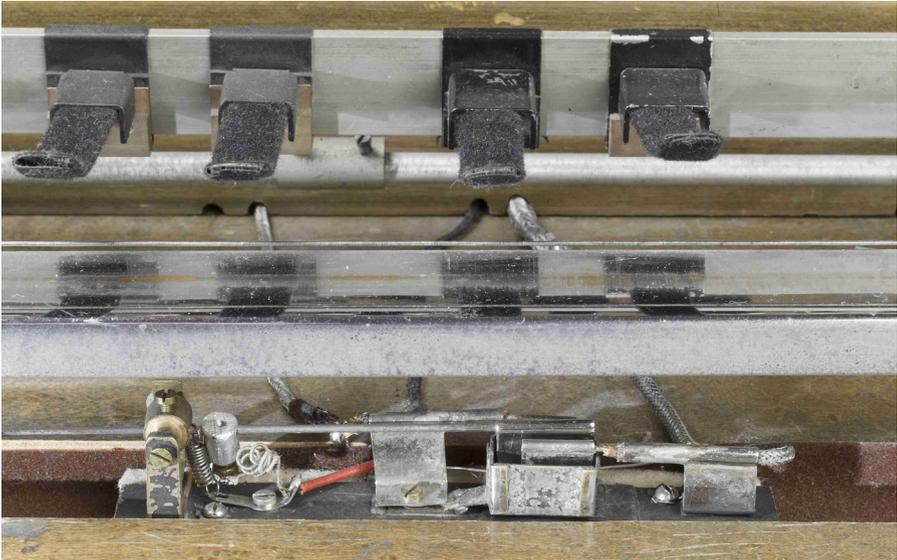


Abb. 44 Flüssigkeitsregler unter der Manualschiene des Konzerttrautoniums.

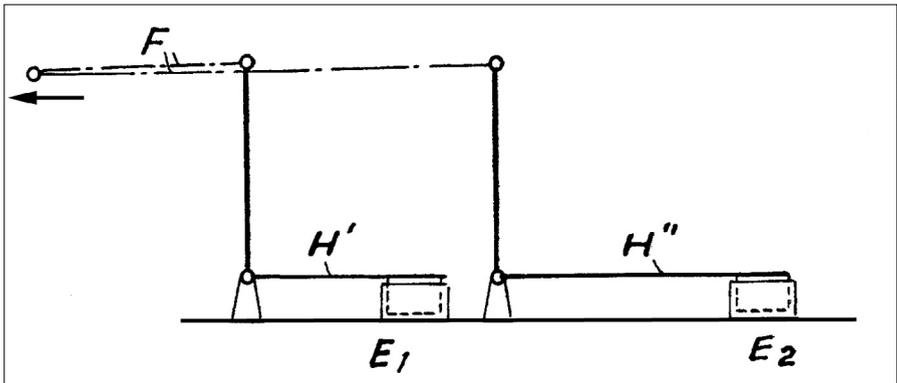


Abb. 45 Kombinierte Flüssigkeitsregler.

also ein/aus), sondern hatten auch eine kombinierte kontinuierliche (analoge) Lautstärken-/Klangfarbenfunktion. Im späteren mikroelektronischen Mixturtrautonium, bei dem die Pedalbewegung nur einen einfachen Fotowiderstand mit einer kontinuierlichen Blende enthält, wird der Effekt anders gelöst: Mit einem Zusatzgerät werden bei zunehmender Lautstärke obertonreiche Verzerrungen zugemischt (siehe dazu weiter unten).¹⁷³

¹⁷³ Klangdemonstration im Interview von Matthias Becker, a.a.O.



Abb. 46 Die kombinierten Regler der Pedale des Konzerttrautoniums.

Sala hatte das Konzerttrautonium, das nach seinen Angaben von Kupferdieben bei einem Einbruch devastiert worden war, 1995 dem Musikinstrumentenmuseum in Paris leihweise überlassen. Nach Salas Tod forderte das Deutsche Museum das Instrument jedoch zurück. Es befindet sich seit 2008 nun als Teil des Sala-Nachlasses im Deutschen Museum.¹⁷⁴

6. Das Quartetttrautonium

Sala erhielt von der Generalintendanz des Rundfunks der Deutschen Demokratischen Republik mit Vertrag vom 6. August 1948 den Auftrag, ein Quartetttrautonium zu bauen.¹⁷⁵ Das Instrument hatte vier einmanualige Spieltische und eine Ausstattung, die technisch dem Rundfunktrautonium ähnelte. Technische Details dazu finden sich im Anhang A4.

Sala war zu der Zeit bereits wieder mit Rundfunksendungen beschäftigt, spielte am Deutschen Theater und arbeitete an der Vorbereitung seines Patents zur Synchronisation von subharmonischen Schwingungen. Er geriet daher mit den Arbeiten in Verzug und

¹⁷⁴ Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2009-20.

¹⁷⁵ Das Datum geht aus einem Brief der Generalintendanz der Rundfunksender der Deutschen Demokratischen Republik an Sala vom 28.1.1950 hervor. Privatbesitz Gerhard Steinke.

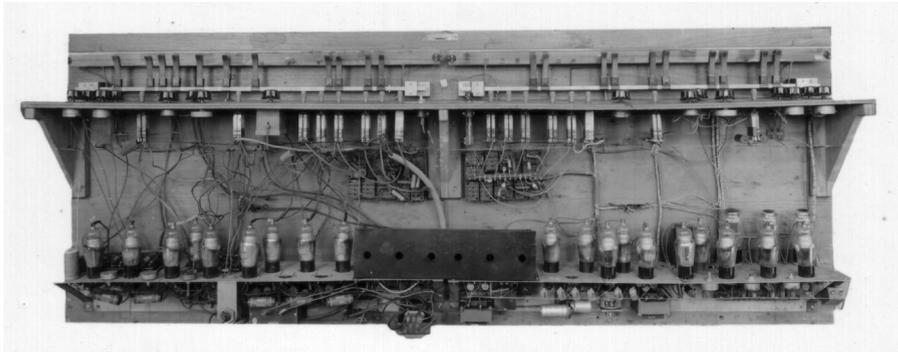


Abb. 47 Reste eines der beim Ostberliner Rundfunk verbliebenen Spieltische des Quartetttrautoniums.

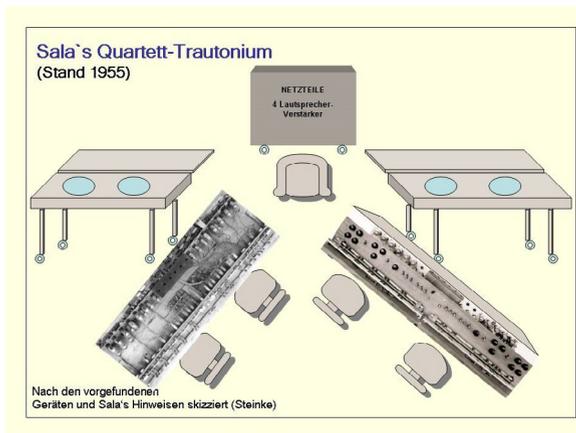


Abb. 48 Skizze der beabsichtigten Anordnung des Quartetttrautoniums.

wurde mehrfach, auch unter Zuhilfenahme von Rechtsanwälten, zur Lieferung gedrängt und ein Liefertermin 1950 vereinbart.¹⁷⁶ Man war allerdings mit dem Ergebnis nicht zufrieden, das Instrument funktionierte Anfang 1957 immer noch nicht zufriedenstellend. Nach Versuchen der Rundfunktechniker, die Schaltungen zum Laufen zu bringen (es wurde sogar davon ein Schaltplan gezeichnet, siehe Anhang A4), wurde das Projekt fallen gelassen und Überlegungen zur Konstruktion eigener elektronischer Instrumente angestellt (so sollte z.B. in den 1960er Jahren eine große elektronische Orgel »Toccata« entstehen).¹⁷⁷ Aufgrund einer Initiative von Gerhard Steinke¹⁷⁸ entwickelte ein Team um Ernst Schreiber ein eigenes Instrument, das das Konzept der subharmonischen Mixturen ent-

¹⁷⁶ Siehe dazu Donhauser, Klangmaschinen, 2007, S. 228f.

¹⁷⁷ Sitzungsprotokolle aus den Jahr 1959 und 1960. Elektronisches Studio der Technischen Universität Berlin/ Folkmar Hein. Kopien im Archiv des Autors.

¹⁷⁸ Dipl. Ing. Gerhard Steinke war zwischen 1956 und 1970 Leiter des »Labors für Akustisch-Musikalische Grenzprobleme« am Ostberliner Rundfunk.

halten sollte: das Subharchord.¹⁷⁹ Sala beschuldigte die Techniker später, das Quartettrinstrument durch Fehlschaltung zerstört und die Reste »als zu westlich« vernichtet zu haben.¹⁸⁰ Einen Beweis für Salas Sichtweise gibt es nicht. Wahrscheinlich hatte man die Einschaltreihenfolge, die Sala bei seinen Netzteilen vorgab (siehe Abschnitt A2.2), nicht beachtet: Das große Netzteil brannte bei einem Einschaltversuch ab.

7. Das Mixturtrautonium

Der endgültige Durchbruch gelang Sala erst nach Kriegsende. Er entwickelte von 1948 bis 1952 das letzte von ihm selbst gebaute Instrument, das Mixturtrautonium.¹⁸¹ Die auch im Konzertrautonium noch nicht gelöste Frage der uneingeschränkten Verwendbarkeit von Untertönen (Subharmonischen) verlangte nach einer über mehrere Oktaven stabilen Synchronisation zwischen der Grundfrequenz und den geteilten Schwingungen. Dem stand seit der Verwendung des Thyratrons im Wege, dass die Amplituden der Sägezahn-schwingungen mit zunehmender Tonhöhe abnahmen und damit die Stabilität der Synchronisation verloren ging. Die Lösung musste demzufolge darin bestehen, den Pegel der Synchronisationsspannung frequenzabhängig anzupassen. Dazu war eine eigene Verstärkerröhre notwendig. Die Schaltung meldete Sala in mehreren Staaten zum Patent an, zuerst 1952 in Deutschland und den USA, 1954 in Frankreich.¹⁸²

Die Schaltung ist nicht einfach zu verstehen, da einige Komponenten mehrere Funktionen erfüllen. Links in Abbildung 50 der schon bekannte Hauptgenerator mit dem Thyatron 1 und der Spielschiene 4 in einem Widerstandsnetzwerk 2, 3, 8 und 9 zur Anpassung der Mensur des Manuals. Die Komponenten 5 und 6 bestimmen die Frequenz. Soweit ist nichts Ungewöhnliches an der Schaltung zu entdecken. Nun folgt aber eine Verstärkerröhre 12, an die über 10 und 11 nicht nur das Sägezahnsignal des Thyratrons angeschlossen ist, sondern auch die negative Spannung aus der Spielschiene über den Zweig 13 (violett dargestellt). Diese Spannung ändert sich je nach Position der gedrückten Saite, also mit der Tonhöhe, und bestimmt die Lage des Arbeitspunktes der Röhre 12. Dieser liegt im gekrümmten Bereich der Kennlinie (Abbildung 51). Die Folge dieser Maßnahme ist eine Arbeitspunktverschiebung und damit eine Änderung der Verstärkung je nach Tonhöhe. Das heißt, je nach gespielterm Ton verstärkt die Röhre mehr oder weniger stark. Damit lässt sich der oben erwähnte Ausgleich herstellen: Tiefe Töne mit hohen Amplituden werden wenig verstärkt, hohe mit kleinen Amplituden stark (zum besseren Verständnis legte Sala dem Patent ein handgezeichnetes Oszillogramm bei;

¹⁷⁹ Steinke, Hörerlebnis, 2010, S. 285–298.

¹⁸⁰ Interview von Matthias Becker, a.a.O., und Interview von Peter Pichler, a.a.O.

¹⁸¹ Die Zeitangaben stammen aus verschiedenen Äußerungen Salas, die sich in Interviews und Beiheften von CDs finden (z.B. Erdenklang 90340: Oskar Sala – My Fascinating Instrument). In Melos, 1950, S. 249, gibt er an, das Instrument schon 1949 fertiggestellt zu haben.

¹⁸² Synchronisationsvorrichtung für elektrische Musikinstrumente, Patente DE 917 470, 15.2.1952; FR 1 074 838, 74.1954; US 2 740 892, 22.6.1952.



Abb. 49 Das Mixturtrautonium.¹⁸³

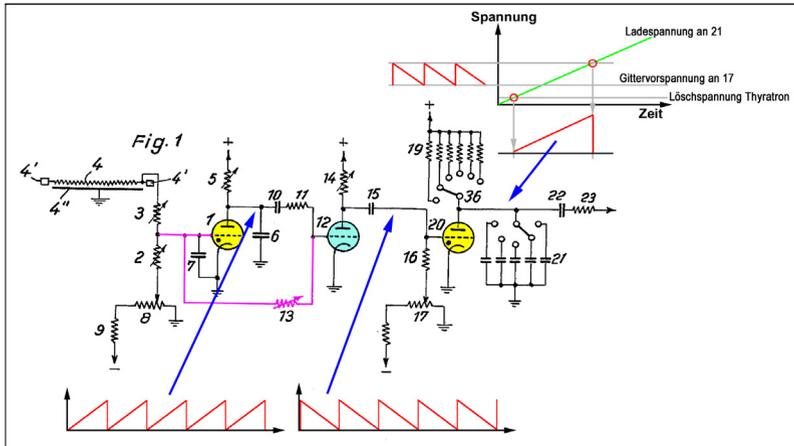


Abb. 50 Die vollständige Schaltung des Haupt- und Nebengenerators nach Fig. 1 des amerikanischen Patents.

¹⁸³ Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2004-385.

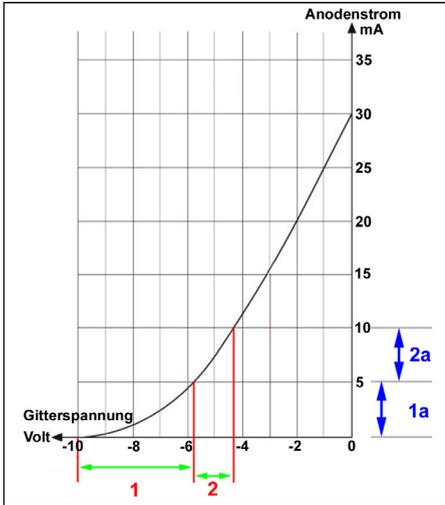


Abb. 51 Kennlinie einer Verstärkerröhre.

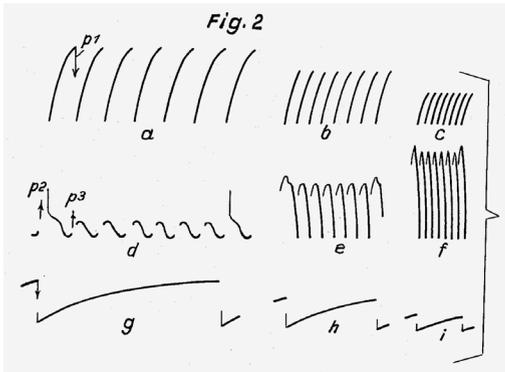


Abb. 52 Handgezeichnetes Oszillogramm aus dem Patent US 2 740 892; a, b und c: Schwingungen aus dem Hauptgenerator; d, e und f: Ergebnis nach der Röhre 12; g, h und i: Ergebnis nach dem Thyatron 20. Gezeichnet ist eine Teilung 1:7. Die Bauteilnummern beziehen sich auf Abbildung 50.

siehe Abbildung 52). Außerdem kehrt die Röhre automatisch die Polarität des Signals um; es beginnt daher mit einem abrupten Spannungsanstieg je Periode, was die Synchronisation präzise macht. Der nachfolgende Nebengenerator mit dem Thyatron 20 zündet daher bei Erreichen des Arbeitspunktes, der sich einerseits aus der negativen Spannung an Einstellwiderstand 17 plus dem verstärkten Sägezahnsignal am Gitter und andererseits aus der am Kondensator 21 angewachsenen Anodenspannung ergibt. Die Röhre zündet also, wenn aufgrund der angewachsenen Anodenspannung die Sägezahnspitzen die Zündspannung gemäß Kennlinie (Abbildung 11) erreichen. Die Schwingung ist damit stabil synchronisiert; es muss nur die Steilheit der Ladekurve mit den Komponenten 19 und 21 mittels der Mehrfachschalter 36 und 37 voreingestellt werden. Davon hängt ab, ab welcher Spannungsspitze der Schwingung des Hauptgenerators die Zündbedingung erreicht wird und damit welche Teilerstufe der Subharmonischen entsteht.

	L ₂	h	m	t
Nebengenerator 1	f	2	4	8
Nebengenerator 2	p	5	5	5
Nebengenerator 3	p	7	7	7
Nebengenerator 4	p	8	8	8

Abb. 53 Zwei Takte der Solostimme aus Salas »Concertino für Mixtur-Trautonium und elektrisches Orchester« (1953). Oberstes System: klingende Töne, darunter die gegriffenen Töne. Registrierungstabelle. L₂: Lautstärke, h – m – t bezeichnen Pedalstellungen. Zahlen in der Tabelle: Teilerstufen. Die klingenden Töne von Nebengenerator 1 sind im obersten System rot markiert. Zu beachten: In der Stellung »t« liegen 2 Töne über dem Nebengenerator 1 und es klingen nur 3 Töne (NG 1 und 4 sind gleich hoch).

Neben dem Hauptgenerator waren im Mixturtrautonium vier subharmonische Nebengeneratoren je Manual eingebaut. Sie konnten mittels Reglern in ihrer Intensität beeinflusst werden. Die Pedale erhielten wieder die Umschaltung der Einstellungen der Nebengeneratoren; der Hauptgenerator wird nun nicht mehr – wie noch beim Konzerttrautonium – umgeschaltet,¹⁸⁴ er läuft im Tonbereich g₂ bis g₅. Jetzt standen je Manual drei voneinander unabhängige Sätze von Einstellungen für die Subharmonischen zur Verfügung (Pedal Kippbewegung links – Mitte – rechts). Sala gibt als Beispiel die Griffschrift, klingende Töne und die zugehörige Einstellung der Subharmonischen (Abbildung 53).¹⁸⁵

Um eine bequeme Oktavumschaltung (die er häufig verwendete) durchführen zu können, ohne die drei Mixtureinstellungen abändern zu müssen, waren Sonderschalter eingebaut, die die Thyratrons auf die subharmonischen Werte 1, 2, 4 respektive 2, 4, 8 und 4, 8, 16 einstellten.¹⁸⁶ Die Funktion der Pedale entspricht der bereits früher beschriebenen Zuordnung: Das linke Pedal korrespondiert mit der rechten Hand und dem oberen Manual, das rechte mit der linken Hand und dem unteren Manual. Die Funktionalität des Klangfarbenpedals des Konzerttrautoniums wurde beibehalten.

184 Siehe das Typoskript Sala, Mixturtrautonium, 1954; mündlich bestätigt durch Hans-Jörg Borowicz, Januar 2011.

185 Sala, Klangsynthesen, 1955, S. 93f.

186 Sala, Mixturtrautonium, 1954.



Abb. 54 Die Rückseite der Pedale mit den Flüssigkeitsreglern beim Mixturtrautonium. Die Flüssigkeitswiderstände sind deutlich zu sehen (fünf für den rechten und vier für den linken Fuß), in Gruppen zusammengeschaltet und je Pedal mit zwei Hebeln und Schnurzug betätigt.

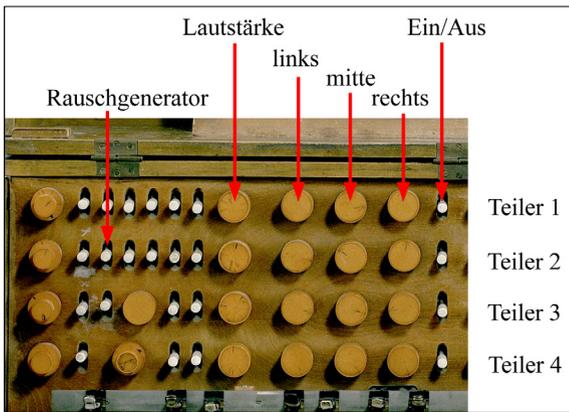


Abb. 55 Die Zuordnung der Schalter im Mixturtrautonium zu den Pedalstellungen im linken Feld (unteres Manual).

Sala bemühte sich laufend um eine Deutung (Interpretation) der subharmonischen Tonmischungen. So lässt sich der [reingestimmte] Akkord g_2 , d_2 und b_1 (mit einem Frequenzverhältnis von 20:15:12, das sind die Subteilerstufen 1:3, 1:4 und 1:5 des Tones d_4) als Obertöne des (fiktiven) Grundtons Contra-Es auffassen (das Verhältnis g_2 :Es entspricht dem Frequenzverhältnis 20:1 usw.).¹⁸⁷

¹⁸⁷ Sala, Mixtur-Trautonium, 1950, S. 392.

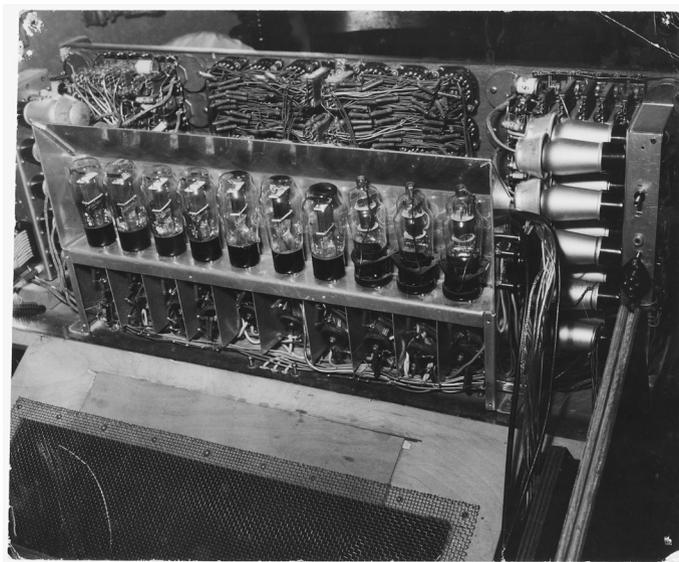


Abb. 56 Ansicht des Inneren des Mixturtrautoniums.

Einen bislang kaum bekannten Kunstgriff hatte Sala bereits 1950 publiziert. Wird der Synchronisationszwang aufgehoben, entstehen nichtharmonische, aperiodische Summenschwingungen, die bei gleitenden Frequenzvariationen Übergänge zwischen Klängen und Geräuschen und im Endeffekt Klangkulissen ergeben.¹⁸⁸ Eine Verwandtschaft von Trautonium und Synthesizer, die man dadurch vermuten könnte, hat Sala aber immer strikt abgelehnt, mit einer gewissen Berechtigung. Man kann zum Vergleich wohl nur die Synthesizer-Konstruktionen der 1960er Jahre heranziehen. Die einzige Parallele wäre die Verwendung eines VCO (Voltage Controlled Oscillator), eines spannungsgesteuerten Oszillators. Hüllkurven, spannungsgesteuerte Filter und Verstärker gibt es im Trautonium nicht. Alle Funktionen sind mit manuell geregelten Schaltkreisen realisiert. Sala gehörte zudem einer Generation an, die (wie er sich ausdrückte) »alle Effekte auf interpretatorischem Weg« herstellen musste.¹⁸⁹ Er grenzte sich damit mehrfach gegen die elektronische Musik ab, die mit Tonband, Schallplatte, Generatoren, Vocodern etc. teils mit Lochkartensteuerung ohne Interpreten ab den 1950er Jahren in den damals neuen elektronischen Studios, beispielsweise in Köln, München, Berlin und Paris, produziert wurde. Trotz allem sollte nicht übersehen werden, dass im Mixturtrautonium sowohl additive Synthese (mittels Subharmonischen) als auch subtraktive Synthese (mittels Filtern) zu finden sind.

¹⁸⁸ Ebd., S. 393.

¹⁸⁹ Mixturen. Filmportrait des Mixturtrautoniums, NDR, 1966.

8. Klangmodule und Zusatzgeräte für Salas Instrumente

Sala hatte lange auf empirischer Basis die Entwicklung der verschiedenen Trautonium-Modelle vorangetrieben. Diese Vorgangsweise trifft früher oder später an Grenzen. Sala begann daher systematisch die Wirkungen seiner Klangfilter zu untersuchen. Er benutzte dazu ein Oszilloskop und zeichnete die Kurven am Bildschirm nach. Eines der Ziele war eine beabsichtigte Dissertation, die jedoch nicht zustande kam. Darüber später mehr.

8.1 Experimente an Klangfiltern

Seit dem ersten Trautonium war der Resonanzkreis das wichtigste Mittel zur Klangformung. Bei seinen zahlreichen Interviews, die auch in Filmen¹⁹⁰ wiedergegeben wurden, verwendete Sala gerne ein externes Gerät¹⁹¹ mit Resonanzfiltern zur Demonstration vokalähnlicher Klänge. Sala hatte schon vor Kriegsende begonnen, sich experimentell und theoretisch mit der Wirkung verschiedener Filterkombinationen auseinanderzusetzen,¹⁹² setzte dies auch nach Kriegsende fort und legte zu diesem Zweck eine umfangreiche Sammlung von Zeichnungen an, die er durch Abzeichnen¹⁹³ (eventuell Abpausen) der Kurven auf einem Oszilloskopschirm gewann. Sie sind im Archiv des Deutschen Museums überliefert.¹⁹⁴ Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Aufzeichnungen auch

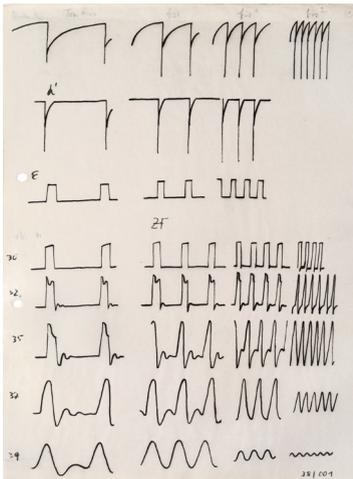


Abb. 57 Sägezahnsignal der Töne Fis, fis, fis1 und fis2 (erste Reihe). In der zweiten Reihe das differenzierte Signal, das einen Rechteckimpuls auslöst (dritte Reihe). Dieses Signal wird durch verschiedene Filter behandelt: Tiefpass (vierte Reihe), Parallelresonanzkreis (ab fünfter Reihe).

¹⁹⁰ Zum Beispiel Ein Alchimist der elektronischen Musik, NDR 1987.

¹⁹¹ Das »Spezial-Klangfarbengerät«. Siehe dazu Abschnitt 8.3.

¹⁹² Er berichtet auch von besonderem Interesse seitens Erwin Meyers (ehemals Heinrich-Hertz-Institut), besonders für seine gegen Helmholtz gerichteten Vorstellungen. Sala, I. Brief, 1947.

¹⁹³ Siehe dazu Sala, Konsequenzen, 1951, S. 13.

¹⁹⁴ DMA, NL218/2250, 2253, 1484, 2256, 1489.

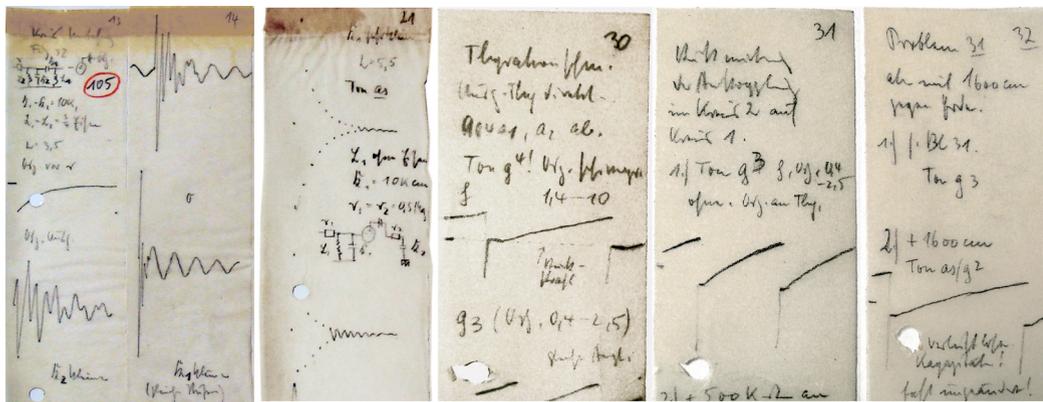


Abb. 58 Salas Zeichnungen auf Pergamentstreifen. Streifen 13,14: Zusammenwirkung zweier Filter nach der Schaltung links oben; Streifen 21: Gedämpfte Schwingung im Gitterkreis einer Röhre; Streifen 30: »Thyatronschwingung. Ausgang Thyatron Widerstand« – markierte Stufe bis zur Löschung des Thyatrons [Anm.: aufgrund der anliegenden Steuerspannung]; Streifen 31: »Rückwirkung der Ankopplung im Kreis 2 auf Kreis 1«; Streifen 32: »Problem 31 aber mit 1600 cm gegen Erde«.

als Vorarbeiten zum Mixturtrautonium, vor allem aber zur Vorbereitung von Publikationen Salas zwischen 1948 und 1951 entstanden.¹⁹⁵ Die Beispiele in den Abbildungen 58 und 59 zeigen verschiedene Filterschaltungen mit den damit erzielbaren Schwingungen und den Einflüssen angekoppelter Kreise auf die Kurvenformen.

8.2 Theoretische Abhandlungen Salas

1948 und 1949 publizierte Sala zwei ausführliche Artikel zu elektroakustischen Experimenten am Trautonium in der Zeitschrift »Frequenz«. Sala führte im ersten Artikel an,¹⁹⁶ dass in der »neuen Form des Trautoniums« (gemeint ist das Konzertrautonium) meist eine Kombination von zwei Kondensatoren und Spulen verwendet wird, die zwei verschiedene Eigenfrequenzen haben sollten, wobei die höhere weniger gedämpft sein sollte. Siehe dazu die Schaltung in Abbildung 59.

In Salas Nachlass finden sich auch Vorstudien für die Oszillogramme im amerikanischen Patent¹⁹⁷ und für Salas Publikationen, insbesondere die Artikel in der Zeitschrift »Frequenz«. Durch das Zusammenwirken der Sägezahnsschwingungen (gespielter Ton) und den dadurch angestoßenen Resonanzen in den Resonanzfilter-Kreisen entstehen Interferenzen. Sala entdeckte, dass die Amplituden der Töne hinter den Resonanzfiltern deswegen schwanken, da sich beide Schwingungen teilweise auslöschen können. Er führ-

¹⁹⁵ Sala, Grundlagen, 1948 und 1949, sowie Konsequenzen, 1951, und Resonanzeffekte, 1951.

¹⁹⁶ Sala, Grundlagen, 1948, S. 320.

¹⁹⁷ Synchronizing system for electrical musical instruments, Patent US 2 740 892, 22.6.1952.

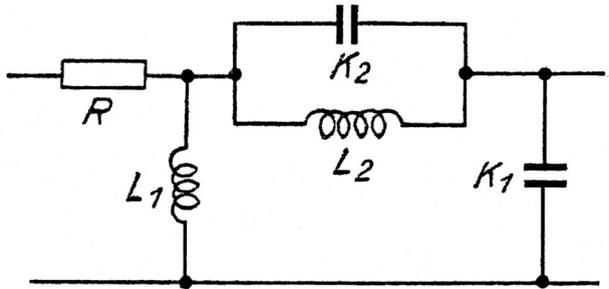


Abb. 59 Filterschaltung aus Salas Artikel in der Zeitschrift »Frequenz«.

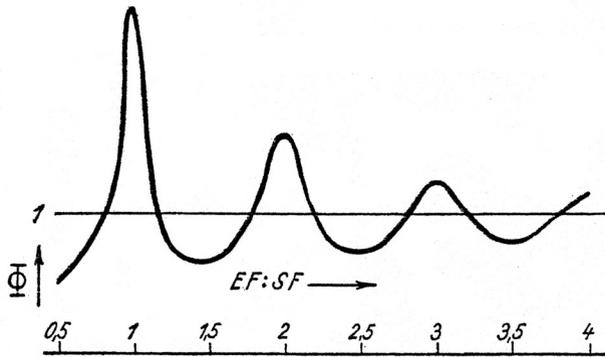


Abb. 60 Der Gewichtsfaktor Φ für die Tonamplituden am Filterausgang in Abhängigkeit vom Verhältnis $EF : SF$. Für die Verhältnisse 1, 2, 3 ... ist die Interferenz konstruktiv, für 1,5, 2,5 usw. destruktiv.

te zu diesem Zweck das Verhältnis Eigenfrequenz : Stoßfrequenz ($EF : SF$) ein, um eine einfachere Darstellung zu ermöglichen. Abbildung 60 zeigt die Schwankung der Amplituden mittels eines Amplitudenfaktors Φ .

Weitere Untersuchungen betrafen die Klangwirkung der Eigenfrequenzen der Filter auch im Vergleich mit Ergebnissen anderer Autoren, die in der Literatur veröffentlicht worden waren.¹⁹⁸ Zu diesem Zweck untersuchte Sala die Wirkung der Resonanzkreise auf die Obertöne der Grundschwingungen, die ebenfalls den oben erwähnten Gewichtsfaktoren unterlagen. Sala stellte zudem experimentell fest, was Hermann bereits mit wesentlich einfacheren Mitteln herausgefunden hatte,¹⁹⁹ dass nämlich Formanten verschwinden, sobald die Stoßfrequenz die Eigenfrequenz der Resonanzkreise (= die Frequenz des Formanten) übersteigt.

¹⁹⁸ Sala, Grundlagen, 1948, Literaturangaben auf S. 318.

¹⁹⁹ Hermann, Synthese, S. 11–18.

Der zweite Teil von Salas Publikation in der Zeitschrift »Frequenz«²⁰⁰ betraf vor allem die Analyse von Rechteckschwingungen, die ähnliche Klangeigenschaften haben wie gedeckte Orgelpfeifen oder – mit entsprechenden Filtern – auch Klarinetten. Sie konnten aus den Kippschwingungen des Trautoniums mittels übersteuerter Röhren erzeugt werden. Sala beschrieb (wie im ersten Teil seines Aufsatzes) die Wirkung der Resonanzfilter und kam ausführlich auf die physiologischen Vorgänge im Gehör zu sprechen, wobei er in einer Tabelle physikalische Klangparameter physiologischen und psychologischen gegenüberstellte. Ein Beispiel: Die Variation der Eigenfrequenz des Filters bedeutet physiologisch die Verlagerung des Frequenzgemisches auf der Basilarmembran bzw. psychologisch den Wechsel der Klangfarbe. Im Zuge der Diskussion der Rolle der Resonanzerscheinungen bezüglich der Obertöne einer Stoßfrequenz führt Sala den Begriff des »Farbgeräuschs« ein, ein oberhalb des Grundtones an den Erregungsstellen auf der Basilarmembran des Ohres entstehendes Frequenzgemisch. Dieses könne nur als Geräusch aufgefasst werden, als »Farbe«, die sich zum Grundton gesellt.²⁰¹ Seine Schlussfolgerung war, dass Hörempfindungen nicht wie eine *physikalische* Frequenzanalyse funktionieren, wie sie Helmholtz mit seinen Resonatoren anstellte, sondern auf diesen Erregungszonen beruhen, deren physiologische Wirkung das Farbgeräusch sei. Dennoch ließe sich »analytisches« Hören erzeugen: »Hält man die Stoßfrequenz konstant und variiert gleitend der Eigenfrequenz, so verschwindet die Klangfarbenempfindung, und es erscheinen der Reihe nach alle Obertöne des Grundtones«.²⁰² Einen ähnlichen Effekt erzielt man, wenn man bei einem Synthesizer im Tiefpass die Resonanz entsprechend hoch einstellt und die Grenzfrequenz langsam erhöht. Dann erscheint ein Oberton des gespielten Tons nach dem anderen (Sägezahn vorausgesetzt).

Ähnliche Effekte behandelte der Komponist Henry Cowell am Beispiel des Klaviers in Teil III seines Buchs »New musical resources«, nämlich Akkordbildungen und Toncluster.²⁰³ Im Detail geht es um Cluster aus großen und kleinen Sekunden, die er mit Dreiklängen aus großen und kleinen Terzen vergleicht. Die Sekunden stammten aus einem hochliegenden Teil des Spektrums und besäßen daher einen Grundton. Cowell will diese Töne als Einheit verstanden wissen, als ob sie ein einziger Ton wären. Ein musikalisches Gehör sei bereits an diesen Klang gewöhnt und höre ihn als Obertöne vertrauter Akkorde.²⁰⁴

Diese Cluster sind Übergänge zwischen Klang und Geräusch. In der elektronischen Musik werden sie durch die beliebige Variabilität der Intervalle und die Dichte der Frequenzen im Cluster zu den erwähnten Farbgeräuschen bis hin zum weißen Rauschen (mit theoretisch unendlich vielen Frequenzen). Auch Orchester und Chöre können sich dem Phänomen annähern, da sie beliebig enge Intervalle erzeugen können.

200 Sala, Grundlagen, 1949.

201 Ebd., S. 16.

202 Ebd.

203 Cowell, Resources, 1930, S. 117ff.

204 Ebd., S. 119.

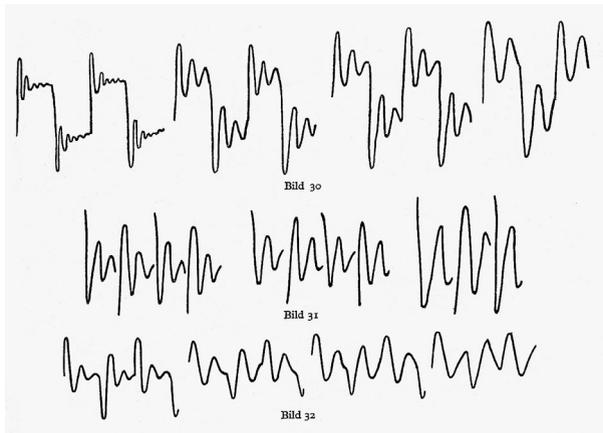


Abb. 61 Oszillogramme zu Filterwirkungen auf Rechteckschwingungen.

Ernst Schreiber, der Konstrukteur des Subharchords (Abschnitt 10.1) äußerte sich ebenfalls über das von Sala so bezeichnete Farbgeräusch: »Mit dieser von Fourier aufgestellten Definition [Zusammensetzung eines Klanges aus harmonischen Obertönen] wird jedoch nur der äußere, physikalische Vorgang, der beim Hören eine Klangempfindung hervorruft, erfaßt. Untersuchungen haben ergeben, daß die Hörempfindung nicht nach Art einer Obertonanalyse erfolgt, sondern an deren Stelle eine diffuse Erregungszone tritt, deren Wirkung als psycho-physisches Farbgeräusch bezeichnet wird. Dabei verbreitert sich jede Spektrallinie zu einer Resonanzkurve, die nach Hermann mit Formanten bezeichnet werden.«²⁰⁵ So weit die theoretischen Überlegungen Salas zu der für sein Instrument bedeutenden Frage der Klangfarben und deren Eigenschaften. Sie sind Ergebnisse zahlreicher Experimente an verschiedenen Ausformungen von Resonanzfiltern und ihrer subjektiven Beurteilung beim Abhören des Ergebnisses. Abbildung 61 zeigt Beispiele der Wirkung solcher Resonanzfilter: Sala geht bei seinen Überlegungen ja immer von der Wirkung der EF (Eigenfrequenz der Filter) auf das Klangbild aus. In dem Zusammenhang sei auf die Ausführungen zur Theorie der Hallformanten erinnert.

Die Verwendung von Resonanzfiltern für die Klangformung von Mischungen von Sägezahn-schwingungen verursachte zum Teil unerwartete akustische Effekte, denen Sala auf den Grund gehen wollte: Zwei Jahre nach den zuvor betrachteten Texten zu den Grundlagen des Trautoniums erschienen in der Zeitschrift »Frequenz« zwei weitere Artikel, die sich vor allem mit subjektiven Hörempfindungen beschäftigten. Der erste Artikel behandelt hörphysiologische Erscheinungen, die sich bei Salas Instrumenten einstellen.²⁰⁶ Sala entwickelte zu dem Zweck eine Testschaltung, die er in dem Artikel be-

²⁰⁵ Schreiber, Klang- und Geräuscherzeuger, 1964.

²⁰⁶ Sala, Konsequenzen, 1951.

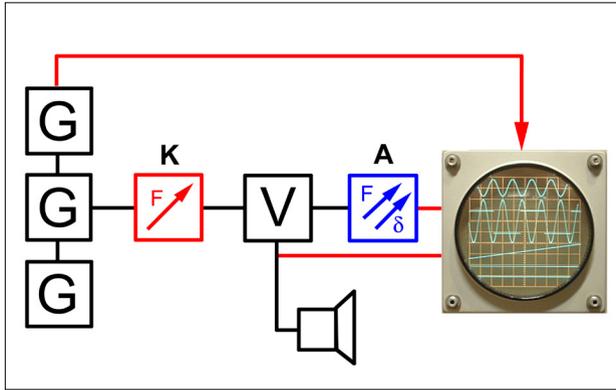


Abb. 62 Experimentieranordnung Salas zur Analyse synthetischer Klangmischungen.

schrrieb und die in Abbildung 62 (zum einfacheren Verständnis umgezeichnet) wiedergegeben wird.

Im Bild links finden sich mehrere Sägezahn-Generatoren G mit frei einstellbaren Frequenzen, daneben der Resonanzkreis zur Klangformung K, eine Verstärkerstufe V zur Entkopplung mit einem Ausgang zur akustischen Beurteilung des Ergebnisses und der »Analysator« A (ebenfalls ein Resonanzkreis mit einstellbarer Frequenz F und Dämpfung δ). Sowohl der akustische Signalweg als auch der Analysator konnten auf einem Zweistrahl-Oszilloskop beobachtet werden. Die Vermutung liegt nahe, dass das Klangfarbengerät, das in Abschnitt 8.3 kurz beschrieben wird, für diese Untersuchungen verwendet wurde (dafür spricht z. B. die handschriftliche Bezeichnung einer der Spulen mit »EF 1« – gemeint ist damit die Eigenfrequenz eines der Resonanzkreise).

Der Zweck der Versuchsanordnung war, die subjektiv empfundenen Klangeindrücke einer Mischung von Sägezahn-schwingungen verschiedener Tonhöhe mithilfe eines selbstgebauten Analysators insofern mit technisch ermittelbaren Parametern zu vergleichen, da eine Analogie zum präsumtiven Verhalten des Innenohrs angenommen wurde. Sala bezieht sich dabei vor allem auf einen im Jahr 1943 erschienenen Artikel des Physiologen Georg von Békésy.²⁰⁷ Dieser beschreibt darin eine Methode, die Schwingungen der Schnecken-trennwand, die die Cochlea (Hörschnecke) in zwei Teile unterteilt, zu messen. Er ermittelte Resonanzstellen für verschiedene Frequenzen, die jedoch nicht scharf begrenzt, sondern mit einem logarithmischen Dämpfungsdekrement zwischen 1,4 und 1,8 behaftet sind. Das bedeutet, dass auch benachbarte Stellen der Resonanzmaxima mehr oder weniger stark mitterregt werden, die Resonanzkurven sich also überlappen. Salas Interesse galt – dem Artikel Békésys folgend – dem Einfluss der anatomischen Gegeben-

207 Békésy: Über die Resonanzkurve, 1943, S. 66–76.

heiten (Analogie: der Resonanzfrequenz und der Dämpfung des elektronischen Analysators) auf die Klangempfindung. Ganz im Sinn des Titels des Artikels »Psycho-physische Konsequenzen« versuchte Sala also, durch einen Analogieschluss aus einer subjektiven Hörempfindung die physiologischen Verhältnisse in der Cochlea nachzuvollziehen. Es ist davon auszugehen, dass Sala seine Erkenntnisse auf die Einstellungen der klangbildenden Elemente des Mixturtrautoniums anwendete.

Mit der Experimentieranordnung (Abbildung 62) wurden jene Dämpfungswerte des Analysators beobachtet, die zu einer der Hörempfindungen führten, die möglichst ähnlich zur Beobachtung am Bildschirm des Oszilloskops waren. Die Untersuchung, so betonte Sala in seinem Artikel, unterschied sich von einer Fourier-Analyse dadurch, dass nicht eine mathematische Theorie, sondern das Hörempfinden die Vergleichswerte lieferte. Die im Artikel beschriebenen acht Experimente mit unterschiedlichen Ausgangsfrequenzen und Tonkombinationen sollten erklären, warum in bestimmten Situationen mehrere Töne nicht getrennt wahrgenommen, manche Kombinationen nur als Klangfarben-Geräusche empfunden und warum Mixtur-Klangfarben unterhalb einer bestimmten Frequenz nur als Akkorde wahrgenommen werden.

Eines der Experimente²⁰⁸ betrifft die seit Beginn der Trautoniumentwicklung immer wieder angesprochenen Frage der Vokale. Sala legte an die Vorrichtung laut Abbildung 62 abwechselnd die Töne Contra H, C und Cis (62, 66 und 69 Hz) an und variierte die Eigenfrequenz des Klangfarben-Resonanzkreises K auf Werte zwischen cis^2 und d^2 bzw. b^1 . Er stellte fest, dass man im ersten Fall die drei Töne mit der Vokal-Klangfarbe »AO«, im zweiten mit »O« hört. Die Prägnanz der Klangfarbenempfindung wächst, je kürzer die Tonerregung dauert. Bei hoher Dämpfung ($\delta=1,75$) seien drei Töne nicht mehr als Dreiklang, sondern nur als »Farbgeräusch« erfassbar. Dies könnte eine Erklärung dafür sein, warum »Amusische« das Nachsingen von Tönen mit einer Nachahmung ihrer Klangfarbe verwechseln. Ähnliches ist auch bei Tieren festzustellen, Hunde reagieren z.B. nicht auf angelernete Fresstöne, wenn sie in einer anderen Klangfarbe dargeboten werden. Die dabei maßgeblichen Dämpfungsfaktoren δ finden sich auch in Abbildung 63, die im Artikel zwar nicht veröffentlicht wurde, aber als Vorstudie zu gelten hat.

Der zweite Artikel aus dem Jahr 1951²⁰⁹ beschäftigt sich mit Effekten in den Resonanzfiltern bei kurzdauernden Impulsfolgen, wie sie beispielsweise vom »elektronischen Schlagwerk« Abschnitt 8.3) erzeugt wurden. Sala hatte bereits im ersten Beitrag einen der Effekte vorweggenommen, dass nämlich bei nichtperiodischen, kurzzeitigen Schwingungsvorgängen – abhängig von der Dämpfung δ – eine Tonerkennung möglich ist oder nur ein Klopf- oder Knallgeräusch gehört wird.²¹⁰ Eine eigens dazu entwickelte Schaltung gestattete es, ein, zwei oder mehrere Sägezahnimpulse beliebiger Periodenlänge in Abständen von einer Sekunde bis zu einer Millisekunde zu erzeugen und hinter einem Resonanzfilter zu untersuchen.

208 Sala, Konsequenzen, 1951, S. 18f.

209 Sala, Resonanzeffekte, 1951.

210 Sala, Konsequenzen, 1951, S. 16.

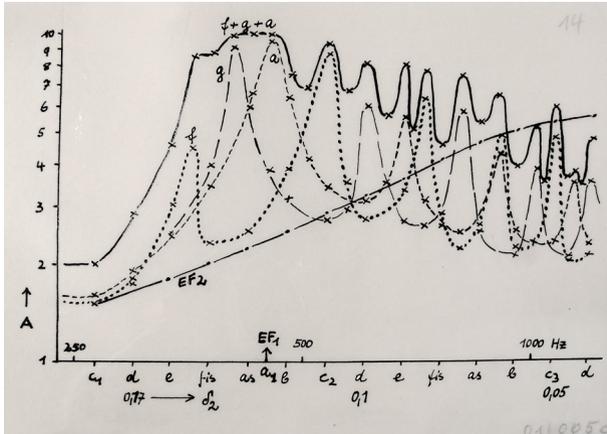


Abb. 63 Summenverlauf der Lautstärken von Tönen als Ergebnis hinter einem Resonanzfilter EF1 und der Einstellung eines Filters EF2 mit Dämpfung δ als Analysator.

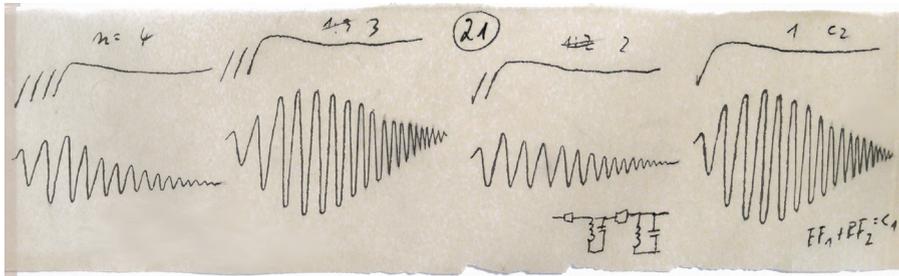


Abb. 64 Erzwungene Schwingungen im Resonanzkreis in Abhängigkeit von der angelegten Folge von ein, zwei, drei und vier Impulsen.

Eines der verblüffendsten Ergebnisse war, dass beim Wechseln der Anzahl der Sägezahnimpulse scheinbar tiefe Tonfrequenzen gehört werden, die wieder verschwinden, wenn die Pulszahl konstant bleibt, aber wieder auftreten, wenn sie geändert wird. Diese Tonempfindungen hätten nach Meinung Salas eine subharmonische Struktur.²¹¹

Die Ergebnisse Salas, die er – teils etwas verklausuliert – in seinen Artikeln in der Zeitschrift »Frequenz« publizierte, reichen weit in das Gebiet der Psychoakustik hinein, in das er sich durch Studium verschiedener Publikationen eingelese hatte. Seine Methoden beschränkten sich im Wesentlichen auf das Abhören von Schallereignissen, die er mit Sägezahn- (Stoßfrequenz-) Generatoren erzeugte, über Resonanzfilter laufen ließ

211 Sala, Resonanzeffekte, 1951, S. 254.

und mittels eines Oszilloskops zu kontrollieren suchte. Seine Experimente zeigten, was spätere psychoakustische Tests ergaben: Das menschliche Gehör lässt sich (grob gesagt) durch eine Reihe Bandpassfilter simulieren. Die Ausgänge dieser Filter sind miteinander in einer komplexen Matrix verschaltet. Dieser Aufbau ist ähnlich dem Analyseteil eines Vocoders zu verstehen. Wie bei Letzterem ist die Bandbreite kritisch für die Qualität der Unterscheidbarkeit verschiedener Frequenzen (Sala experimentierte daher laufend mit verschiedenen Werten δ). Fallen nun zwei Töne in eines dieser Bänder, so hört man nur einen Ton, der mehr oder weniger rau oder pulsierend ist. Wird der Frequenzabstand der beiden Töne größer, so fallen sie in zwei getrennte Filterkanäle und werden demnach auch als zwei Töne empfunden. In seiner Abhandlung über die kurzzeitigen Impulsfolgen²¹² handelt Sala das Umschlagen von Rhythmus in Tonempfindung ab. Bei Erhöhung der Impulsrate kann das System der Bandpässe den Einzelpulsen nicht mehr folgen; es ergibt sich der Eindruck eines Dauertons. Ermüdungs- und Memoryeffekte spielen dabei ebenfalls eine Rolle.

Die ausführliche Beschreibung der Filterschaltungen in Salas Artikeln verwundert insofern, als vor Kriegsausbruch jede kleine technische Variante patentrechtlich geschützt wurde, um Plagiate zu verhindern. Eine Erklärung könnte sein, dass Sala ursprünglich eine Dissertation geplant hatte. In einem undatierten Brief an Hindemith schrieb Sala: »Das bisherige mehrhundertseitige Manuskript muss noch veröffentlichbar – ev. als Dissertation – gemacht werden.«²¹³ Er hat dann aber das Manuskript nicht mehr eingereicht und das Material schließlich in mehreren Zeitschriftenartikeln publiziert.

8.3. Das elektronische Schlagwerk

Um mit dem Mixturtrautonium jene Effekte zu erzeugen, die man von den Tondokumenten Salas kennt, war eine Reihe von Zusatzeinrichtungen nötig. Abgesehen vom Tonbandgerät, das u. a. für mehrstimmige Stücke im Playbackverfahren notwendig war, nutzte Sala Frequenzumsetzer, Formantfilter und in den letzten Jahrzehnten auch moderne Effektgeräte wie Ibanez HD 1000 (Harmonic Delay), Ibanez DMD 2000 (digitales Delay), VestaFire RVD 901 (digitaler Hall).

Zum Mixturtrautonium gehörte schon zu Beginn ein von Sala selbstgebautes »Schlagwerk«. Sala hatte ja schon in die früheren Instrumente schlagwerkartige Effekte eingebaut. Er gab darüber erstmals 1955 Auskunft: ²¹⁴ Es enthielt ein Metronom, ein Abklinggerät und einen Rauschgenerator.²¹⁵ Ersteres geht auf ein Patent Trautweins zurück,²¹⁶ in dem dieser eine Schaltung beschrieb, die schlagzeugartige Effekte durch Unterbrechung des Anodenstroms einer Verstärkerröhre hervorbringen sollte. Sala benutzte für das Me-

²¹² Sala, Resonanzeffekte, 1951.

²¹³ Sala, 2. Brief, 12.1947.

²¹⁴ Sala, Klangsynthesen, 1955, S. 99.

²¹⁵ Von den drei, auf historischen Abbildungen zu sehenden Schlagwerksmodulen sind im Deutschen Museum nur zwei erhalten: Inv.-Nr. 2007-874, Teil 7.

²¹⁶ Elektrisches Musikinstrument für schlagzeugartige Klangwirkungen, Patent DE 682 314, 25.3.1930.

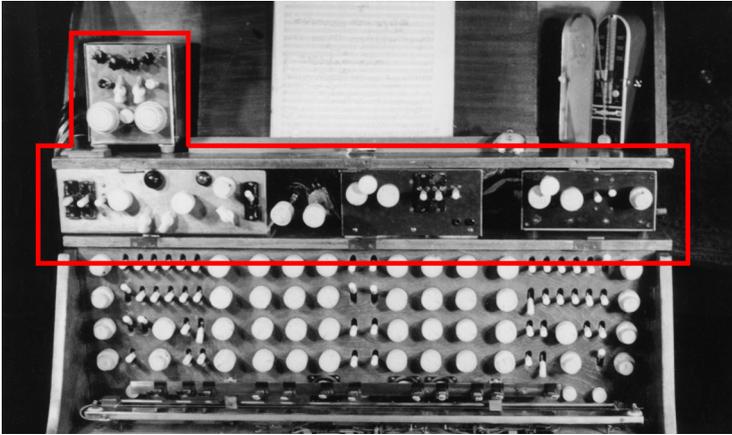


Abb. 65 Das Schlagwerk, auf dem Mixturtrautonium angebracht. Das Gerät im Bild links oben diente zum Zuschalten eines Tonbands.

tronom eine einfache Relaisschaltung, im Prinzip ein periodischer Unterbrecher (Abbildung 66). Der Kondensator C lädt sich über den Widerstand R so lange auf, bis das Relais anzieht und mit dem Kontakt S den Kondensator wieder entlädt und das Spiel sich wiederholt. Das Metronom hat jedoch eine Reihe weiterer Funktionen: Es schaltet die Tonfrequenz periodisch auf eine Teilerstufe, triggert periodisch die Abklingschaltung und schaltet periodisch den Ausgang auf Masse, was einen mandolinenartigen Effekt erzeugt. Alles lässt sich mit Schaltbuchsen ein- und ausschalten. Die Anwendung ist z. B. in einer Sequenz im Film »Mixturen« zu sehen.²¹⁷

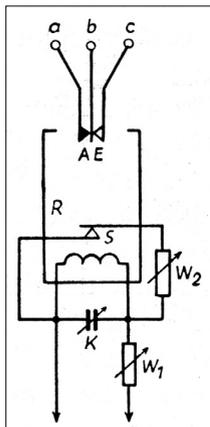


Abb. 66 Grundsaltung des Metronoms.

217 Mixturen, Filmporträt des Mixturtrautoniums, NDR 1966.



Abb. 67 Foto des Metronoms samt Abklingschaltung, Außenansicht (Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2007-874, Teil 7).

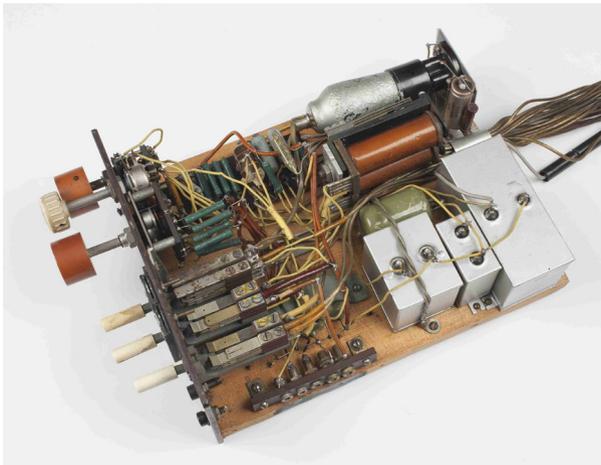


Abb. 68 Foto des Metronoms samt Abklingschaltung, Innenansicht.

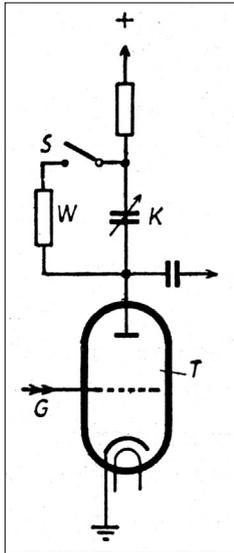


Abb. 70 Die Abklingschaltung.

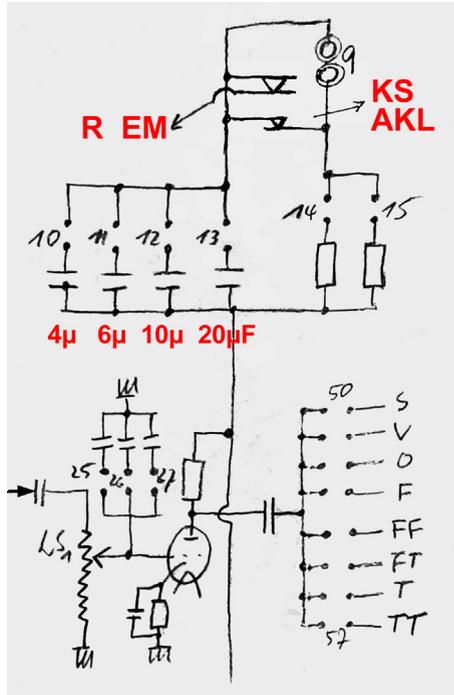


Abb. 71 Die Abklingschaltung aus dem Schaltplan des Konzerttrautoniums (Ausschnitt). KS AKL: Kellogg-Schalter Abklingschaltung, R EM: Relais elektronisches Metronom (Anmerkungen vom Autor).

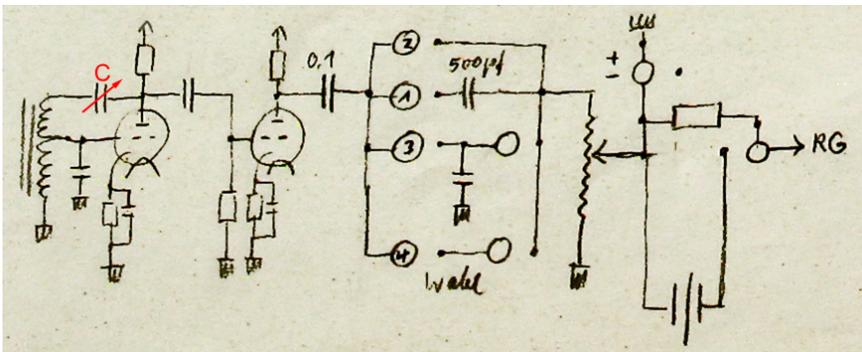


Abb. 72 Schaltung des Rauschgenerators mit Verstärker und umschaltbarem Filter aus einem Schaltplan im Nachlass Salas (Ausschnitt).

8.4 Das Spezial-Klangfarbengerät

Das »Spezial-Klangfarbengerät« scheint in zahlreichen Bildern und Filmausschnitten auf, wobei in Letzteren auch die Handhabung teilweise ersichtlich ist.²²⁰ Nach eingehender Analyse der in Abbildung 74 dargestellten Innenansicht handelt es sich dabei um eine von Sala selbst gebaute, verhältnismäßig einfache Konstruktion. Sie umfasst eine Zusammenstellung von vier ähnlich aufgebauten Kanälen mit getrennten Ein- und Ausgangsbuchsen und Resonanzkreisen, bestehend aus Spulen und Kondensatoren, wie sie bereits 1930 in den ersten Trautonien vorhanden waren. Der Unterschied besteht lediglich in der erweiterten Veränderbarkeit der Resonanzfrequenzen: Es lassen sich mittels Drehschaltern sowohl die aktiven Spulenteile als auch die Kondensatoren der Resonanzkreise umschalten. Vor- und nachgeschaltete Verstärkerröhren entkoppeln die Kreise und sorgen für eine Pegelanpassung für den Ausgang.

Aufgrund der Aufschrift »E1« auf einem der Transformatoren und der nicht benutzten Röhrenpositionen liegt die Vermutung nahe, dass das Gerät auch für die Untersuchungen der psychoakustischen Phänomene diente, die Sala in der Zeitschrift »Frequenz«²²¹ beschrieb (siehe oben), und es daher schon um 1950 entstand. Später wurden die Röhren dreier Kanäle entfernt, der verbliebene Kanal des Gerätes diente nur mehr der Einstellung vokalähnlicher Formanten.²²²

8.5 Der Frequenzumsetzer

Ein für die weitere klangliche Entfaltung des Mixturtrautoniums maßgebliches Gerät ist der Frequenzumsetzer (auch Klangwandler, Tonumsetzer). Sala verwendete ihn bis zum Schluss, er stand auch immer neben seinen Instrumenten.²²³ Das Gerät geht auf eine professionelle Entwicklung von Bruno Heck und Fred Bürck, Ingenieure des SWF, aus dem Jahr 1953 zurück.²²⁴ Ein dem Exemplar Salas ähnliches Gerät befindet sich in der Sammlung des Deutschen Museums im Bestand des »Siemens-Studios für elektronische Musik«.²²⁵

Das Funktionsprinzip, das 1956 in der »Elektronischen Rundschau«²²⁶ und den »Gravesaner Blättern« dargestellt wurde,²²⁷ beruht im Wesentlichen auf der Modulation eines Tonsignals mit einer sogenannten »Trägerfrequenz« (die Bezeichnung stammt aus der Kommunikationstechnik) und der Rekonstruktion des ursprünglichen Signals mittels einer anderen, wählbaren Frequenz. Das Ergebnis (»frequency shifting« im angelsächsischen Sprachgebrauch) unterscheidet sich grundsätzlich vom Effekt, der z. B. durch Än-

²²⁰ Ebd. und Ein Alchemist der elektronischen Musik, NDR 1987.

²²¹ Sala, Konsequenzen, 1951.

²²² Deutsches Museum Inv.-Nr. 2003-36, Teil 9.

²²³ Deutsches Museum Inv.-Nr. 2007-873, Teil 24.

²²⁴ Neue Zeitschrift für Musik 156, 1995, H. 5, S. 59.

²²⁵ Informationen zum Studio finden sich in Schenk, Siemens-Studio, 2014.

²²⁶ Heck/Bürck, Klangumformung, 1956, S. 1–7.

²²⁷ Heck/Bürck, Klangumwandlungen, 1956.



Abb. 73 Frontseite des Spezial-Klangfarbengeräts, Inv.-Nr. 2003-36, Teil 9.



Abb. 74 Innenansicht des Spezial-Klangfarbengeräts.

derung der Bandgeschwindigkeit eines Tonbandgerätes (»pitch shifting«, Transponierung) entsteht: Es ändert sich nicht nur die Tonhöhe des Signals, sondern vor allem die Klangfarbe. Bleiben beim »pitch shifting« die Relationen der Obertonfrequenzen erhalten, so werden beim »frequency shifting« zu den Teilfrequenzen gleiche Beträge addiert. So entsteht beispielsweise aus dem Klanggemisch zweier Tönen der Frequenzen 200 und 400 Hz (im Oktavverhältnis stehend) durch Umsetzen mit 400 Hz ein Resultat bestehend aus 600 und 800 Hz (eine Terz). Daraus ergibt sich, dass beim Umsetzen in eine neue Tonlage in einem Spektrum wohl die Reihenfolge der Harmonischen gewahrt bleibt, ihr Intervallabstand sich aber verändert. Die Methode stellte eine neue, mit anderen damals bekannten Mitteln nicht erzielbare Klangmanipulation dar, die Sala als willkommenen Effekt nutzte. Er hatte davon wahrscheinlich aus den erwähnten »Gravesaner Blättern« erfahren, denen eine Schallplatte mit Klangbeispielen beigelegt war. Sala bestellte sein Exemplar bei der Berliner Firma Dr. Kamphausen GmbH, die auf Hochfrequenztechnik spezialisiert war.²²⁸ Es ist eine 1965 entstandene Sonderanfertigung zum Preis von DM 3.300²²⁹ und damit ein Unikat. Die für das Gerät erforderlichen Quarzfilter wurden von Rohde & Schwarz gefertigt und mussten von Sala bestellt werden.²³⁰ Aufgrund der Entwicklung elektronischer Klangmanipulationsgeräte ist eine terminologische Präzisierung notwendig: Heute ist das Gerät als »Frequenzshifter« zu bezeichnen, im Schaltplan findet sich die Bezeichnung »Tonumsetzer TU1«. Die genauen Funktionen der Bedienelemente und der Schaltung sind im Anhang A1.1 beschrieben.

Über ein weiteres Zusatzgerät aus dem Nachlass Salas, das von einem Mitarbeiter des Deutschen Museums nach einmaliger Inbetriebnahme als »Schussgenerator« bezeichnet wurde,²³¹ gibt es nur dessen Aussage, dass das Gerät nach Betätigung des Hebels an der kurzen Seite ein knallartiges Geräusch erzeugt hätte. Weitere Informationen gibt es nicht, es ist daher der Vollständigkeit halber abgebildet, wird hier aber nicht weiter behandelt.

²²⁸ Eine Aufstellung der Zusatzgeräte findet sich auf <http://www.oskar-sala.de/oskar-sala-fonds/nachlass/studio-ausstattung/index.html>. Schaltpläne des Frequenzumsetzers befinden sich im Archiv des Deutschen Museums, Signatur NL218/2445 GF. Nach freundlichen Hinweisen von Jürgen Hiller.

²²⁹ Angebot Kamphausen an Sala. DMA, NL218/0076_c. Dies entspricht heute ca. € 7.500.

²³⁰ Schreiben Kamphausen an Sala. DMA, NL218/0076_a.

²³¹ Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2003-36Z18 2003-36 Teil 18.



Abb. 75 Salas Frequenzumsetzer (Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2007-873, Teil 24).

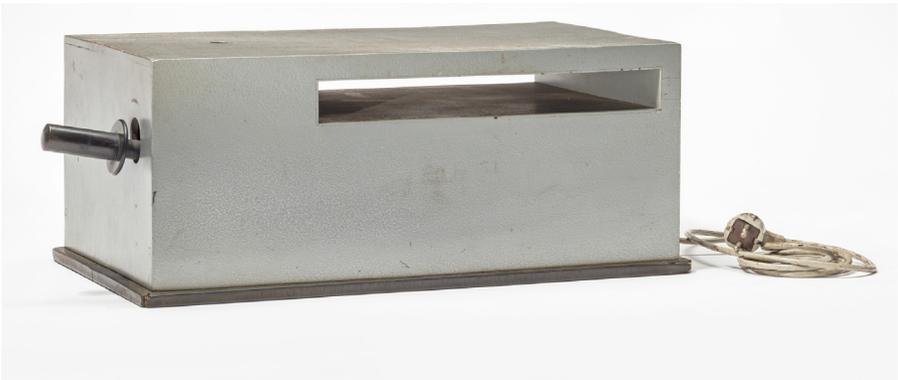


Abb. 76 Der »Schussgenerator« (Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2003-36, Teil 18).

9. Zusammenfassung

Die Instrumentenkonstruktionen Trautweins und Salas zeigen zahlreiche kleinere und größere Entwicklungsschritte. Reduziert man dies auf die wichtigsten, so ergibt sich folgendes Bild:

- Die Nutzung von Sägezahnschwingungen für musikalische Zwecke. Sie kann um 1930 bereits als allgemein bekannt gelten.
- Die Verwendung eines analogen Steuerelements (Saite, Bandmanual) für die Tonhöhensteuerung, vergleichbar mit den Konstruktionen Helbergers.
- Der Einsatz eines Resonanzkreises für die Klangformung durch Trautwein.
- Die Versuche Telefunkens, ein marktfähiges Instrument zu produzieren.
- Die Idee Trautweins, subharmonische Frequenzen einzusetzen.
- Die Zusammenfassung aller bisherigen Ansätze zu konzertfähigen, zweimanualigen Instrumenten mit erweiterten Klang- und Schaltfunktionen über Pedale durch Sala.
- Die Stabilisierung der Frequenzen der subharmonischen Teiler im Mixturtrautonium durch Sala.
- Die Ergänzung der Instrumente durch selbstentwickelte Zusatzgeräte wie Schlagwerk und Klangfarbengerät durch Sala.

Nach den 1950er Jahren hat Sala keine Effektgeräte mehr selbst entwickelt, sondern kommerzielle Module benutzt. Dies zusammen mit der intensiven Nutzung von Tonbandgeräten macht schlussendlich die Besonderheit der Klangwelt Oskar Salas aus.²³² Die Nutzung von Tonbändern im Multiplayverfahren war bis zur weiten Verbreitung polyphoner Tonquellen das Mittel der Wahl für die Produktion elektronischer Musik. Beispiele sind vor allem das »Studio für elektronische Musik des WDR« in Köln oder das »San Francisco Tape Music Center« (in den USA bürgerte sich sogar der Begriff »Tape music« für »Elektroakustische Musik« ein).

III. Nachbauten und Neukonstruktionen nach dem Vorbild des Mixturtrautoniums

»Wer Trautonium spielen will, muss sich eins bauen.«

Oskar Sala an Wolfgang Müller

(»Das Mixturtrautonium des Oskar Sala«, Deutschlandradio, 19.10.2009)«

Das Mixturtrautonium übte und übt auf viele eine große Faszination aus. Kein Wunder also, dass versucht wurde, das Instrument entweder nachzubauen oder ein neues Instrument zu konstruieren, das sich an den Funktionen orientiert, sie zum Vorbild nimmt oder auch weiterentwickelt und ergänzt. Interessant ist dabei, wie die Frage der subharmonischen Teiler und ihrer Synchronisation gelöst wurde: Keines der neuen Instrumente verwendet die Lösung Salas, zumal sie allesamt mit Halbleitern bestückt sind. Dies ist ein Schwerpunkt der folgenden Ausführungen.

10. Instrumente der 1950er und 1960er Jahre

Die Nachkriegszeit brachte grundsätzliche neue Strömungen rund um ein neues Verständnis des Musikbegriffs. Aufgrund dieser neuen experimentellen Ansätze wird erstmals elektronische Musik in professionellen Studios ohne Mitwirkung von Interpreten realisiert. Diese Epoche gilt schlechthin als Beginn der »wahren« elektronischen Musik. Hans Heinz Stuckenschmidt¹ meinte dazu: »Es handelt sich ausschließlich um Musik, die schon in ihrer Konzeption die Elektronenröhre voraussetzt, um Kompositionen, die zu ihrer Darstellung des menschlichen Mittlers nicht mehr bedürfen, ja ihn ausschalten. Die Bauhütte dieser Tonstrukturen steht am Wallrafplatz zu Köln, im Funkhaus des Nordwestdeutschen Rundfunks. Ihr Leiter und spiritus rector ist Herbert Eimert.«² Sala konnte diesen Strömungen nichts abgewinnen, seine Instrumente stehen im diametralen Gegensatz dazu und regten in den 1950er und 1960er Jahren zu Nachkonstruktionen an.

10.1 Das Subharchord (1958 bis 1968)

Das erste dieser Instrumente, das in Varianten in einer Stückzahl von sechs bis maximal sieben gebaut wurde, ist das Subharchord des »Labors für Akustisch-Musikalische Grenzprobleme« im Rundfunk- und Fernstechnischen Zentralamt im Studio Adlershof (ehemals Ostberlin). Die Entwicklung begann 1958 auf Initiative von Gerhard Steinke, dem Leiter des Labors, und sollte im Unterschied zum Instrument Salas, der an der Röhren-

1 Stuckenschmidt war deutscher Musikkritiker und Musikwissenschaftler. Nach Kriegsende wurde er Leiter der Abteilung »Neue Musik« beim Sender RIAS Berlin, 1947 Musikkritiker der »Neuen Zeitung« und gab 1947–1949 mit Josef Rufer die Zeitschrift »Stimmen« heraus.

2 Stuckenschmidt, Epoche, 1955, S. 17

technik festhielt, mit Halbleiterbauteilen und gedruckten Steckplatten erfolgen.³ Ernst Schreiber leitete die Arbeiten, er erhielt für seine Lösung der Teilerschaltungen auch ein Patent.⁴ Salas Patent auf die Teilerschaltung war an die Bauteile Röhre/Thyratron gebunden und hätte mit Halbleiterbauteilen in der Form nicht funktioniert.

Schreibers Idee beruhte darauf, eine Serie von Stufen hintereinander zu schalten, die schrittweise die Generatorfrequenz halbieren. Fünf solcher Stufen teilen also insgesamt auf 1/32. Braucht man z.B. eine Teilung durch 13, müssten einige Teilungsschritte an passender Stelle unwirksam gemacht werden. Das geschieht durch geeignete Rücksetzimpulse.⁵ Das Ergebnis ist außerordentlich stabil und eignet sich daher für ein Musikinstrument. Wie beim Mixturtrautonium sind vier solcher Teilerketten und damit vier Subharmonische vorhanden. Zudem gibt es eine Formant-Filterbank zur Imitation von Instrumenten wie Oboe, Trompete usw. und eine weitere Filterbank mit extrem scharfen Bandpass-Filtern (sogenannten Mel-Filtern), wie sie auch im Siemens-Studio in München zum Einsatz kamen.⁶ Ein Bandmanual war nicht mehr vorgesehen, sondern eine Klaviatur. 1968 kam es aufgrund der musikpolitischen Linie der DDR jedoch zur Aufgabe der Weiterentwicklung des Subharchords. Ausschlaggebend war wohl Nikita Chruschtschows Rede vor Parteifunktionären und Kunstschaffenden am 8. März 1963, in der er sich gegen eine Neue Musik, die Dodekaphonie und eine Musik der Geräusche gewandt hatte: »Und eben diese Kakophonie werden wir in der Musik hinwegfegen, und zwar restlos. Unser Volk kann diesen Müll nicht in seine geistige Bewaffnung aufnehmen.«⁷ Erst mit dem wieder erwachten Interesse an analoger Klangerzeugung der letzten Jahrzehnte rückte das Instrument wieder in den Blickpunkt, einige der erhaltenen Exemplare wurden instandgesetzt (was wegen teils schlechten Materials Schwierigkeiten verursacht, so greift das damals verwendete Lötzinn das Kupfer der Drähte an, sodass sie leicht an den Lötstellen abbrechen). Auf jeden Fall ist das Instrument ein Objekt für die Medienarchäologie. Über die erhaltenen Exemplare (es wurden nur sieben bis acht Stück gebaut) gibt das Internet Auskunft.⁸

3 Steinke, Mit den Ohren sehen, 2010, S. 285–300.

4 Verfahren zur Erzeugung subharmonischer Frequenzen für elektronische Musikinstrumente, Patent 25 634 (DDR, 1963) und Verfahren zur Erzeugung subharmonischer Frequenzen für elektronische Klang- und Geräuscherzeuger, Patent DE 1 203 583, 1965.

5 Zur genauen Wirkungsweise siehe die Beschreibung im Patent.

6 Die erste MEL-Filterbank war nach einer Idee von Josef Anton Riedl bereits 1958 von Hansjörg Wicha und Herbert Klein im Siemens-Studio in München aufgebaut und in ein von ihnen modifiziertes älteres Zungeninstrument (»Hohnerola«) eingebaut und mittels Lochstreifensteuerung zur Klangformung genutzt worden. [https://www.rundfunkschaetze.de/radio-musikinstrumente-fuer-klangkunst/subharchord/06-weiterentwicklungen/\(1.72021\)](https://www.rundfunkschaetze.de/radio-musikinstrumente-fuer-klangkunst/subharchord/06-weiterentwicklungen/(1.72021)).

7 In hohem Ideengehalt und künstlerischer Meisterschaft liegen die Kraft der sowjetischen Literatur und Kunst. In: Neues Deutschland, Berlin, Jg. 18, Nr. 73 vom 14.3.1963, S. 3–6.

8 [\(1.72021\)](http://www.subharchord.com).



Abb. 1 Das Subharchord des Deutschen Technikmuseums Berlin.

10.2 Das Moogtonium (1966 bis 1971)

Das 1966 vom österreichischen Komponisten Max Brand bei Robert Moog in Auftrag gegebene Instrument ist ein erweiterter Nachbau des Mixturtrautoniums. Wie kam es dazu?

Max Brand war lange Zeit ein weitgehend vergessener Komponist, kaum eines seiner wenigen Werke wurde und wird aufgeführt. Lediglich seine Oper »Maschinist Hopkins« (1929 in Duisburg uraufgeführt) ist sporadisch zu sehen. Brand wurde 1896 in Lemberg (heute Lwiw) geboren und kam 1907 mit seinen Eltern nach Wien, wo er ab 1919 Komposition bei Franz Schreker und dann später in Berlin studierte. 1924 kehrte er nach Wien zurück. 1938 musste Brand wegen seiner jüdischen Herkunft emigrieren, zuerst über Prag, die Schweiz und Brasilien schließlich 1940 in die USA. In New York begann er sich für elektronische Musik zu interessieren und richtete ein Tonstudio in seiner Wohnung ein. Nach mehreren gescheiterten Versuchen, selbst elektronische Musikinstrumente zu bauen, lernte er in den 1960er Jahren den jungen Robert Moog kennen. Dieser hatte (nachdem er sich mit Theremin-Nachbauten einen Namen gemacht hatte) bereits begonnen, Synthesizer zu entwickeln. Gleichzeitig hörte Brand vom Mixturtrautonium Oskar Salas, was ihn dazu bewog, sich bei Bob Moog ein solches Instrument bauen zu

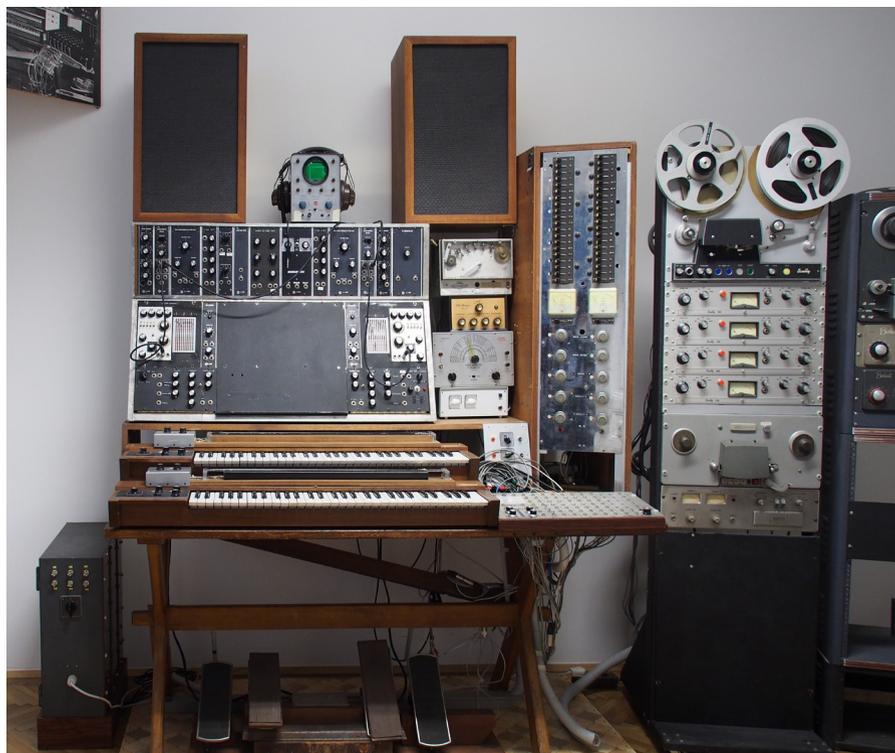


Abb. 2 Das Moogtonium im Langenzersdorf Museum bei Wien.

lassen. 1966 bestellte er dieses später als »Moogtonium« bekannt gewordene Instrument, das jedoch laufend technische Probleme bereitete und nach ständigen Reklamationen bis zu einem endgültigen Bruch mit Moog im Jahr 1971 nie ganz fertig wurde. Brand hatte sich von dem Instrument den Durchbruch seiner Ideen erwartet, nämlich mit einem elektronischen Instrument die Musikproduktion in der Oper zu revolutionieren. Das scheiterte nicht nur wegen der Schwierigkeiten mit dem Synthesizer. Er hatte auch mit seinen Kompositionen keinen durchschlagenden Erfolg. Enttäuscht und verbittert kehrte Brand 1975 nach Österreich zurück und verstarb 1980. Das Moogtonium aus seinem Nachlass befindet sich in der Musiksammlung der Wienbibliothek und ist nun in einem kleinen Museum in Langenzersdorf bei Wien ausgestellt.⁹

Das Moogtonium besitzt (wie das Mixturtrautonium) Generatoren mit Sägezahnfunktionalität, zwei Bandmanuale, ergänzt durch zwei Klaviaturen, je Manual vier subharmonische Teiler mit 20 Stufen und zwei Pedale mit der Schwenkfunktion Salas. Moog

⁹ Schimana, Maschinen, 2016.

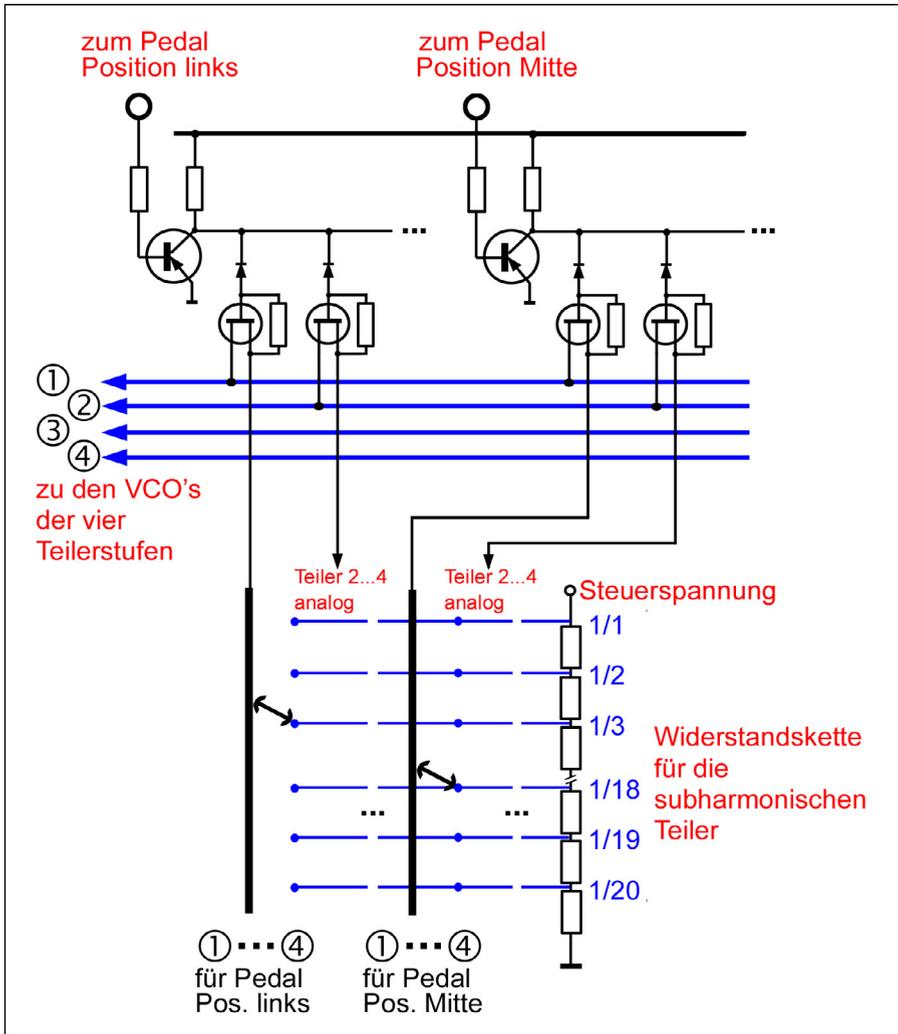


Abb. 3 Schaltung der Widerstandskette.

baute die Schaltungen grundsätzlich mit Halbleiterbauteilen, anstelle des Thyratrons benutzte er Unijunction-Transistoren, die eine ähnliche Funktion aufweisen.

Nachdem Moog mit Brands Auftrag Neuland betrat, glaubte er, mit einer einfachen Lösung die subharmonische Teilung realisieren zu können. Da (wie beim Thyratron) die Zündung und damit die Frequenz der Sägezahnswingung von der Größe einer Steuerungsspannung abhängt, versuchte Moog, die Teilfrequenzen durch Teilspannungen herzustellen.

len. Diese wurden mit einer Widerstandskette gewonnen (siehe Abbildung 3), wie sich nach einer Analyse der Schaltung durch den Autor herausstellte. Nachdem das nur für die ersten Teilschritte einfach ist (die Spannungsschritte sind groß genug), wird es für die höheren Teilerstufen jedoch immer schwieriger. Dadurch ließ die Stabilität der Synchronisation zu wünschen übrig. Dies und andere Stabilitätsprobleme führten zu den bereits erwähnten, ständigen Auseinandersetzungen mit Moog, bis zum endgültigen Bruch im Jahr 1971.

Das Instrument ist immer noch funktionstüchtig und wird von der Elektronik-Musikerin Elisabeth Schimana und anderen Musikerinnen und Musikern verwendet, um ihm im Sinn der Medienarchäologie experimentelle Klänge zu entlocken. »So begründet Schimana ihre aktuelle Komposition [Höllmaschine] für den antiken Synthesizer: ‚Was gibt es an einer solchen Maschine, was noch nie passiert ist?‘« Dazu noch ein Zitat: »Elektronische Apparaturen der Vergangenheit sind nicht im historischen Zustand, sondern im Modus der vergangenen Zukunft. Medienarchäologie heißt damit auch die Sonifikation einer Potentialität (die Unvergangenheit medientechnischer Artefakte auf dem Niveau ihrer Existenz)«. ¹⁰

11. Instrumente seit den 1980er Jahren

Als die Berliner Akademie der Künste 1980 die Ausstellung »Für Augen und Ohren« mit umfangreichem Begleitprogramm veranstaltete, trat Sala am 8. Februar mit Vortrag und Klangbeispielen nach langer Zeit wieder an die Öffentlichkeit. Harald Genzmer hielt eine Einführung. Das Programm verrät, dass Sala (wie später auch) nicht auf seinem Instrument spielte, sondern Schallplatten abspielte und Fotos zeigte, auch wenn er das später als »Gesprächskonzerte« bezeichnete. ¹¹ Dadurch war das Interesse am Trautonium neu geweckt, das exotische Instrument mit den neuen elektronischen Möglichkeiten nachzubilden.

11.1 Das »Mixturtrautonium nach Oskar Sala«

Salas Mixturtrautonium war in die Jahre gekommen und erforderte ständige Wartung (Sala erzählte öfter, dass bei seinen Auftritten immer ein geheizter LötKolben bereit lag). Bei der Ausstellung der Berliner Akademie der Künste im Jahr 1980 lernten drei Professoren der Fachhochschule der Deutschen Bundespost Berlin (DI Hans-Jörg Borowicz, Dr. Dietmar Rudolph und Dr. Helmut Zahn) Sala und das Mixturtrautonium kennen und beschlossen, das Instrument mit modernen Bauteilen nachzubauen oder eine Softwarelösung zu suchen.

¹⁰ Johannes Maibaum: Medienarchäologie des Akustischen, 2016. https://www.musikundmedien.hu-berlin.de/de/medienwissenschaft/medientheorien/Schriften-zur-medienarchaeologie/aufsaeitze_vortragsskripte/pdfs/medarch-akust-ima-reif.pdf/view (28.12.2019).

¹¹ Programm als Typoskript im Nachlass Borowicz, Archiv SIMPK, Berlin.

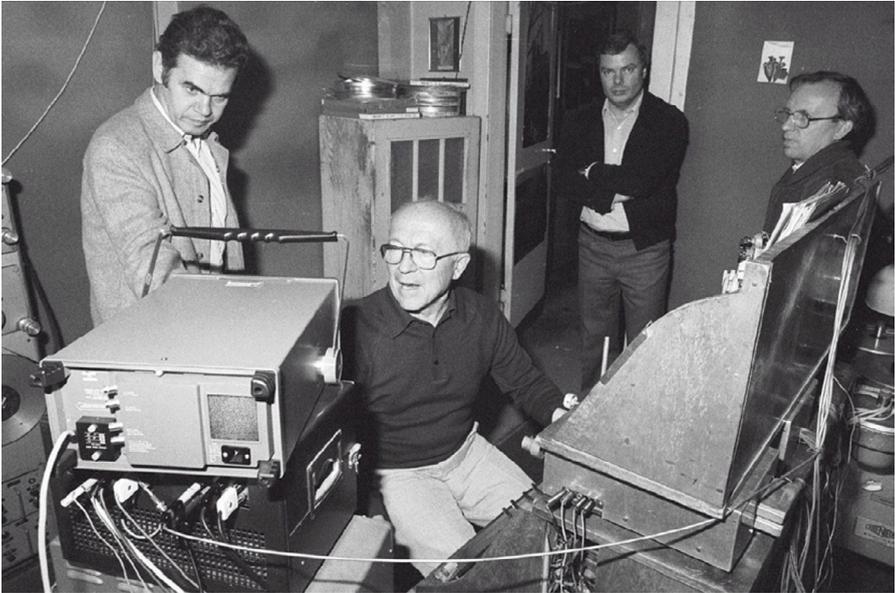


Abb. 4 Hans-Jörg Borowicz, Dietmar Rudolph und Helmut Zahn in Salas Studio bei der Mars-Film in Berlin, um 1985.

Nachdem einzelne Baugruppen als Diplomarbeiten vergeben wurden und die Professoren auch selbst einzelne Entwicklungsschritte ausführten, dauerte es bis 1983, bis das Instrument spielbar war. Aufgrund von zahlreichen Einsprüchen Salas (so musste etwa sein alter Flüssigkeitswiderstand weiter verwendet werden) konnte das fertige Instrument erst 1985 Sala übergeben werden. Das neue »Mixturtrautonium nach Oskar Sala« wurde dann im August 1988 im Rahmen der »Werkstattreihe E'88« in der Berliner Kongresshalle vorgeführt.¹² Das Instrument verblieb bis zum Tod Salas als Leihgabe bei ihm (aufgrund seiner Genese war es im Besitz der Deutschen Bundespost). Es wurde 2002 nach Salas Tod dem Berliner Musikinstrumentenmuseum als Schenkung übergeben.¹³

Die Funktionen des alten Mixturtrautoniums wurden im neuen Instrument nachgebildet. Die Funktion des Klangfarbenpedals wurde in ein Zusatzgerät verlagert. Das eigentlich interessante Detail ist die Lösung der Frequenzteilung, die nun auf digitalem Weg erfolgt. Sie beruht auf einem Zähler, der mit der gewünschten Teilungsrate (1:2, 1:3

¹² Die E'88 (»Berlin Kulturstadt 1988«) entsprach der heutigen Idee der »Kulturhauptstadt«. Die Skulptur »Berlin« auf der Tauentzienstraße in West-Berlin wurde bereits 1987 von Brigitte und Martin Matschinsky-Denninghoff geschaffen, um die Zusammengehörigkeit der beiden Stadtteile zu symbolisieren. Im Kulturstadtjahr sollte sich Berlin als »Werkstatt« und als »Ort des Neuen« etablieren.

¹³ Vertrag im Nachlass Borowicz, Archiv SIMPK.



Abb. 5 Das neue »Mixturtraonium nach Oskar Sala« in der letzten Konfiguration mit Zusatzgeräten in Salas Studio in der Berliner Heerstraße (um 1990).

usw.) programmiert wird. Er zählt die Impulse des Eingangssignals (der vom Manual eingestellten Tonhöhe) so lange, bis die programmierte Zahl erreicht wird und gibt dann ein Signal aus. Dieser Teil des Instruments arbeitet mit Rechtecksignalen, nicht mit Sägezahn-schwingungen. Im Instrument werden diese Signale je nach Bedarf ineinander umgewandelt.

Die Manualkonstruktion Salas (insbesondere die Einblendwiderstände) wurde nach ausführlichen Versuchen und dem Wunsch Salas aus dem Mixturtraonium übernommen. Der Tongenerator ist ein »Voltage controlled oscillator«, wie er auch in den meisten Synthesizern der 1980er Jahre enthalten ist. Die subharmonischen Teiler arbeiten nur mit Rechtecksignalen, die zur weiteren Verarbeitung in den Formantfiltern mittels Wandlern in Sägezahnkurven umgesetzt werden. Die grundsätzlichen Funktionsblöcke gehen im Wesentlichen nicht über das Mixturtraonium hinaus. Lediglich die Frage der lautstärkeabhängigen Aufhellung des Klangbildes wird hier anders gelöst, nämlich mit amplitudenabhängigen nichtlinearen Verzerrungen. Auch die Zuschaltungen von Rauschquellen wurde universeller gestaltet.

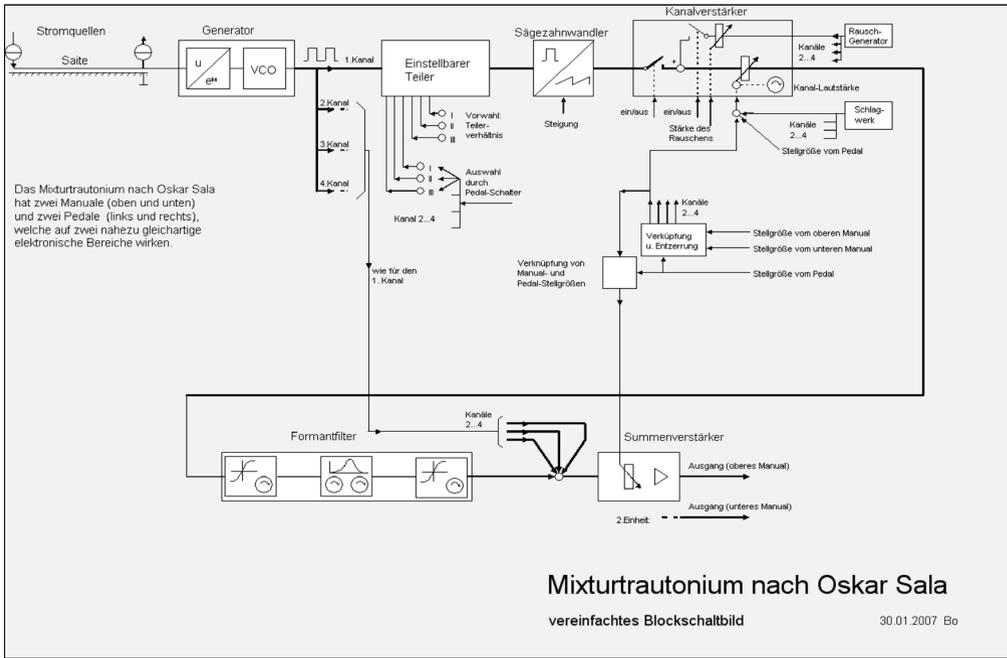


Abb. 6 Das Blockschaltbild des »Mixurtrautoniums nach Oskar Sala«.

11.2 Das Senatstrautonium

Seit 1956 besteht in Berlin-Schöneberg das »Haus der Jugend – Die Weiße Rose« (benannt nach einer Widerstandsgruppe gegen den Nationalsozialismus, die 1943 zerschlagen wurde und deren Mitglieder hingerichtet wurden). Um den Jugendlichen neue Möglichkeiten auf dem Gebiet der elektronischen Musik anzubieten, schrieb der damaligen Leiter des Tonstudios Hanno Rinne im Jahr 1990 eine Stelle für einen Techniker aus, der mit Jugendlichen im Labor ein funktionstüchtiges Instrument zusammenbauen sollte.¹⁴ Ein ehrgeiziger Plan, denn es sollte ein einfaches Trautonium entstehen. Rinne ging auf die Berliner Kulturverwaltung zu, erwirkte eine Subvention für Bauteile und einen namhaften Betrag für einen Werkvertrag für fachliche Hilfestellung eines ehemaligen Absolventen der FH der Bundespost, Dipl.Ing. Jürgen Hiller, der sich in seiner Diplomarbeit an der FH schon mit dem Thema beschäftigt hatte.¹⁵ Rinne versicherte sich in einer Vereinbarung auch der Mithilfe der »drei Professoren« der Bundespost. Das Projekt dau-

¹⁴ Ausschreibungstext im Nachlass Borowicz, Archiv SIMPK Berlin.

¹⁵ Programmierbarer Frequenzteiler, Diplomarbeit FH DBP Berlin 1990.



Abb. 7 Das Berliner Senatstrautionium in der »Weißen Rose«, 2002.

erte fast zwei Jahre, zu lange für Jugendliche: die meisten sprangen ab. Schließlich wurde das Instrument von Hanno Rinne und Jürgen Hiller fertiggestellt.¹⁶ Es war ein einfaches einmanualiges Instrument und wurde (sogar in Anwesenheit Salas, der auch eine Rolle Widerstandsdraht zur Verfügung gestellt hatte) bereits 1992 am 5. März in der »Weißen Rose« präsentiert. Damit verfiel das Ganze wieder in einen Dornröschenschlaf. 1999 erinnerte man sich in der Berliner Kulturverwaltung wieder an das Trautionium und schrieb anlässlich des 90. Geburtstags von Oskar Sala zwei Stipendien in der Höhe von je 6.000 Euro für Neukompositionen für das Senatstrautionium und Ensemble aus. Vorher musste das Instrument jedoch von Hiller auf Kosten der Berliner Kulturverwaltung instandgesetzt und ergänzt werden. Im Jahr 2000 wurden dann die Stipendien an Sibylle Pomorin und Prof. Christina Kubisch ausbezahlt.¹⁷ Die entstandenen Werke wurden schließlich

¹⁶ E-Mail von Wolfgang Müller vom 16.2.2018 und von Uwe Sandhop vom 26.2.2018. Dank an beide.

¹⁷ Ebd.

unter deren Leitung vom Kammerensemble »Neue Musik« an verschiedenen Orten in Berlin aufgeführt: »Monochrom – Vier Flächen« von Christina Kubisch in der Parochialkirche Berlin-Mitte im Rahmen von »Format 5 – Signaturen elektronischer Klangkunst« am 13.7.2001 und »Hommage für Mixtur-Trautonium, Klarinette, Bassklarinette, Violine, Violoncello, Harfe, 2 Schlagzeuger« von Sibylle Pomorin am 12.12.2001 in der Akademie der Künste.¹⁸

Hiller, der die Elektronik herstellte, entwickelte im Anschluss das Instrument für Wolfgang Müller, den neuen Leiter des Tonstudios der »Weißen Rose«, weiter. Dieses Instrument heißt jetzt »Trautonium2000« und besitzt mittlerweile zwei Manuale. Müller verfolgte das Trautoniumprojekt weiter, finanzierte das Projekt nicht nur selber, sondern baute auch die beiden Manuale mit Unterstützung von Hans-Jörg Borowicz. Er trat mit dem Instrument öffentlich auf und spielte auch eigene Kompositionen.¹⁹ Leider verstarb Wolfgang Müller völlig unerwartet ein halbes Jahr nach seiner Pensionierung am 9. Juli 2021.²⁰

11.3 Ein »Digitales Trautonium«²¹

Mit Fortschritt der Computertechnik und der Programmierung von Musiksoftware wie MAX/MSP²² war es naheliegend, dass die Idee zu einer Softwarelösung für die Trautoniumklänge entstand. Der Programm-Autor Jörg Spix: »Die Idee zu dieser Studienarbeit bekam ich während eines Vortrags von Oskar Sala im Rahmen der ›Klangart 1993‹ in Osnabrück. Herr Sala zeigte dort Filmausschnitte aus Industriefilmen, die er mit dem Mixturtrautonium in seinem Berliner Studio vertont hat, Dias der alten Instrumente, die heute nur noch zum Teil existieren und führte Tonbandaufnahmen älterer und auch neuerer eigener Kompositionen vor.«²³ Wie schon in den vorigen Abschnitten dargestellt, inspirierte Sala mit den exotischen Klängen, die er während seiner Vorträge präsentierte, immer wieder Musiker und Techniker zu Versuchen, ob nicht eine einfachere bzw. digitale Lösung machbar wäre. Spix konzipierte mit seiner Studienarbeit eine Lösung, die mit preisgünstiger Standard-Hardware und der grafischen Interpreter-Sprache MAX/MSP (eine graphisch orientierte Entwicklungsumgebung für Musik)²⁴ zu realisieren ist.

18 Informationen Uwe Sandhop.

19 Nach der Website www.trautonium-berlin.de/lebenslauf.htm (30.8.2021).

20 Nach freundlicher Mitteilung von Jürgen Hiller an den Autor vom 26.8.2021.

21 Spix: Das digitale Trautonium, 1995.

22 MAX (eine Hommage an Max Mathews, einem der Musik-Computerpioniere) wurde von Miller Puckette Ende der 1980er Jahre am IRCAM entwickelt, eine Programmierumgebung zur MIDI Steuerung elektronischer Klänge. 1997 wurde MAX um ein Signal-processing Modul zu MAX/MSP erweitert und stellt eine der bis heute weit verbreitetsten Programmierumgebungen für Computermusik dar.

23 Ebd.

24 Das Programm wird seit 1990 kommerziell vertrieben.

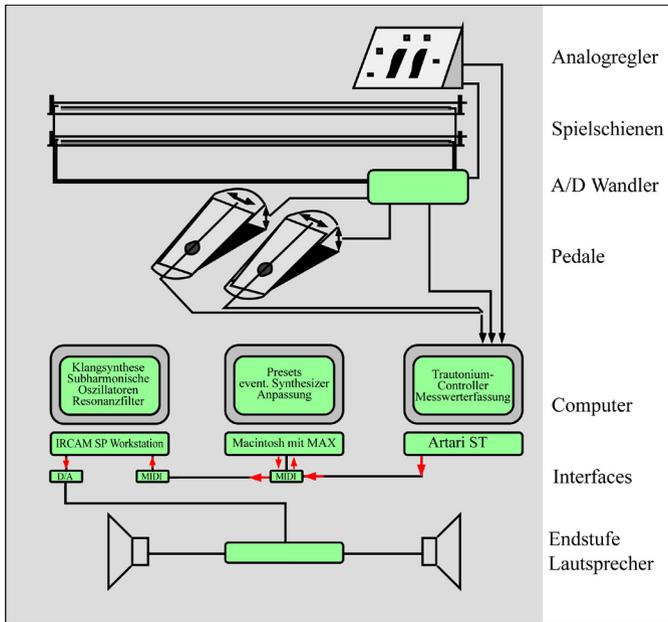


Abb. 8 Blockschaltbild des »Digitalen Trautoniums«.

Spix beschreibt seine Lösung folgendermaßen: »Das digitale Trautonium besteht zunächst aus den Manualen, Pedalen und einer Benutzerschnittstelle, die zusammen mit einem Atari ST Computer und einem mehrkanaligen 12-Bit A/D-Wandler den Trautonium-Controller bildet, der die Meß- und Zustandswerte im MIDI-Protokoll über die eingebaute MIDI-Schnittstelle überträgt. Die Abnahme des Fingerdrucks erfolgt über einen Drucksensor, der sich zwischen dem Träger des Manuals und der flexiblen Kontaktfläche befindet und über die gesamte Länge der Saite erstreckt. Die Saite besteht aus Nylon-Schnur, die mit Widerstandsdraht umwickelt ist. Die analogen Meßwerte der Saitenposition, des Manualdrucks und des Pedalwinkels werden von einem achtkanaligen 12-Bit Analog/Digital-Wandler, der über den ROM-Port am Atari ST angeschlossen ist, gemessen und als Pitch-Bender-, Volume-Controller, sowie Controller 31 als 14-Bit Daten übermittelt. Die Schalter an den beiden Pedalen sind über den Joystick-Eingang des Atari ST angeschlossen. Die beiden Alpha-Dials für die Parameter-Auswahl und -Einstellung, sowie die zugehörigen Blockierungsschalter an der User-Interface-Box sind am Mausport des Atari angeschlossen. Die drei Knöpfe in der User-Interface-Box, die für das Vorwärts- und Rückwärtsschalten der Presets und die Speicherung des aktuellen Parametersatzes im aktuellen Preset zuständig sind, sind auf den freien Datenleitungen auf der Adresse des

A/D-Wandler angeschlossen.«²⁵ Ein Apple Macintosh mit der Software MAX sorgt für die Verwaltung der Presets und bei Zuschaltung eines Synthesizers für dessen Anpassung. Die MIDI-Daten werden dann in der IRCAM Sound-Processing-Workstation verarbeitet. Spix demonstrierte seine Lösung auf der ICMC (International Computer Music Conference) 1994 in Århus, Dänemark.

11.4 Die Neuentwicklungen von Dieter Döpfer und Jürgen Hiller

Sowohl Dieter Döpfer als auch Jürgen Hiller befassten und befassen sich seit langer Zeit mit dem Mixturtrautonium, jedoch auf verschiedene Weise und mit verschiedenen Ergebnissen.

11.4.1 Dipl.-Physiker Dieter Döpfer

Dieter Döpfer studierte an der Technischen Universität München Physik und schloss 1977 mit der Diplomarbeit »Erweiterung des Neutronen-Rückstreu-Diffraktometers für hochauflösende Messungen in einem großen Temperaturbereich« sein Studium ab, blieb aber nicht in der Forschung, sondern interessierte sich stärker für die Industrie. Im Zug seines Studiums machte er mit dem 19 Zoll Eurorack-System für den Apparatebau Bekanntschaft. Dieses System ist (wenn die Bauteile normiert werden) außerordentlich nützlich für Versuchsaufbauten oder Kleinserien.²⁶ Döpfer nutzte das System durch konsequente Anwendung von drei Höheneinheiten für die Einschübe und einer Busplatine anstelle der bisher genutzten unflexiblen Leiterplatten im Euro-Format (100 × 160 mm), was zu einer weltweiten Norm wurde.

Mit Musikelektronik kam Döpfer vor allem durch einen Nachbau des »Formant-Synthesizers« aus der Zeitschrift »Elektor«²⁷ und durch Reparaturen am Moog-Modulsystem von Gershon Kingsley²⁸ in Kontakt.²⁹ Kingsley betrieb in den 1980er Jahren im Münchner Arabella-Hochhaus ein Tonstudio.³⁰ Eines der ersten Projekte Döpfers war ein Voice-Modular-System, mit dem er verschiedene Synthesearten mittels eines Commodore C 64-Tastaturcomputers simulieren konnte. Der Weg führte über die Entwicklung eines Masterkeyboards schlussendlich zum A-100 Modulsystem mit mittlerweile über 120 Modulen. Darunter befinden sich auch verschiedene für den Bau eines Trautoniums benutzbare Module: Spielschiene, subharmonische Teiler, Trautoniumfilter und zahlrei-

²⁵ Spix, Das digitale Trautonium, 1994.

²⁶ Teil des Systems sind Normgrößen wie die Höheneinheit von 1¾ Zoll (= 44,45mm) und die Teileinheit von 1/5 Zoll (= 5,08mm).

²⁷ Erschien als Fortsetzungsreihe zwischen November 1976 und Oktober 1979.

²⁸ Kingsley war Leader des »First Moog Quartets«, sein bekanntester Titel ist »Pop Corn«. Er setzte als Erster den Moog-Synthesizer bei Live-Auftritten ein.

²⁹ Interview mit Dieter Döpfer vom 29.10.2013. In: <https://greatsynthesizers.com/allgemein/interview/dieter-doefer-schoepfer-des-a100-modular-systems/> (2.1.2022)

³⁰ <https://www.muenchenwiki.de/wiki/Arabellahaus> (1.7.2021).



Abb. 9 Modell eines zweimanualigen Mixturtrautoniums mit Döpfer-Modulen nach einer Planung des Autors im Technischen Museum Wien. Das Instrument dient für Vorführungen.

che weitere Bausteine wie Rauschgeneratoren, Hoch- und Tiefpassfilter, Hüllkurven usw. Döpfer besuchte Sala öfter und ließ sich auch von Hans-Jörg Borowicz beraten. Eine möglichst genaue klangliche Annäherung an das Instrument Salas war nicht intendiert.³¹

11.4.2 Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Hiller

Jürgen Hiller studierte Nachrichtentechnik an der Fachhochschule der Deutschen Bundespost in Berlin, wo er zwangsläufig auch mit der Planung des »Mikroelektronischen Mixturtrautoniums nach Oskar Sala« befasst war – daher auch seine Diplomarbeit »Programmierbarer Frequenzteiler«, Berlin 1990. Noch im selben Jahr begann er mit einer zweijährigen Honorararbeit für den Berliner Kultursenat zum Aufbau des Senatstrautoniums und half später beim Bau des Trautonium2000 (siehe Abschnitt 11.2).

2010 baute Hiller drei »Volkstrautionen« nach dem optischen Vorbild aus 1933 für die Vorführungen beim Themen-Wochenende »100 Jahre Oskar Sala« im Deutschen Museum in München anlässlich Salas 100. Geburtstags. Hiller begann daraufhin die Idee, das Trautonium und das Mixturtrautonium wieder aufleben zu lassen, zu verwirklichen. Sein Weg war, ein möglichst ähnliches äußeres Erscheinungsbild zu erreichen und sich den Originalen klanglich soweit als möglich mit modernen Mitteln anzugleichen. Er bietet die Instrumente auf seiner Webpage an und baut sie auf Kundenwunsch. Eines

31 E-Mail von Dieter Döpfer an den Autor vom 5.5.2020.



Abb. 10 Das von Jürgen Hiller konzipierte und gebaute Mixturtrautonium nach dem Vorbild Salas.



Abb. 11 Eröffnung der Ausstellung »Good vibrations« im Musikinstrumentenmuseum Berlin. Es spielt Peter Pichler, 24. März 2017.

seiner Modelle wurde 2017 bei der Eröffnung der Ausstellung »Good vibrations« im Musikinstrumentenmuseum Berlin verwendet.

Anhang

A1. Schaltungen von Frequenzumsetzern

Seit der grundlegenden Arbeit von Heck und Bürck¹ (Ingenieure des SWF, 1953) wurden mehrere Lösungen für die Realisierung der Frequenzumsetzung vorgeschlagen, die alle auf dem Mechanismus Modulation–Demodulation beruhen. Die technischen Lösungen unterscheiden sich jedoch im Modulationsteil. Zwei Beispiele sollen hier diskutiert werden: der Frequenzumsetzer (»Klangumwandler«) von Oskar Sala und der Frequency Shifter von Harald Bode.

Nachdem Sala den Frequenzumsetzer extensiv verwendet hatte, lohnt es, sich mit dem Prinzip und der Technik näher auseinanderzusetzen. Das Prinzip beruht darauf, dass das zu beeinflussende Signal mit einer hohen Frequenz gemischt wird (dazu wird ein sogenannter Ringmodulator verwendet). Das Gemisch enthält die Summe und die Differenz der beiden Frequenzen, wobei nur die Summe verwendet wird. Anschließend wird das Gemisch mit Hilfe einer neuen, frei wählbaren und ebenfalls hohen Frequenz demoduliert. Dadurch erscheint das Eingangssignal charakteristisch verändert: Die Frequenzdifferenzen der Oberschwingungen bleiben zwar erhalten, nicht jedoch ihre Verhältnisse (Quotienten), sodass sich das Klangbild stark verändert.

Anschlüsse und Bedienelemente von Salas Frequenzumsetzer:

An der Rückseite:

Buchsen für die Ausgänge, die Eingänge und Gehäusemasse, ferner Sicherungshalter für 4 A (Röhrenheizung) und 0,5 A (Netz).

Die Eingänge E I (hochohmig 100 k Ω) und III (niederohmig 600 Ω) sind gleichberechtigt und werden für die Frequenzumsetzung verwendet. E I kann noch zusätzlich über den Schalter S2 und eine Verstärkerröhre an den Ausgang I gelegt werden. Eingang II liegt direkt an Ausgang I und wird nicht für die Frequenzumsetzung verwendet. Das umgesetzte Signal liegt an Ausgang II und über eine Verbindung auch an Ausgang I an. Eine zweite Verbindung legt das Signal von Ausgang I vice versa auch an II. Die Signale wären also identisch. Beide Verbindungen sind im Schaltplan gestrichen worden (blau markiert), sodass an Ausgang I nur mehr das Eingangssignal und an Ausgang II nur mehr das umgesetzte Signal verfügbar waren. Schalter S2 wurde dadurch überflüssig (siehe dazu den Schaltplan in Abbildung 4).

An der Frontseite (Teil II, Abbildung 75):

Zentral in der Mitte der Frontseite eine große Skala zur Einstellung der Frequenzdifferenz ∇f zwischen Modulations- und Demodulationsfrequenz mit Untersetzungsgetrieben 1:30 und 1:1000.

Links oben finden sich ein Schalter (im Schaltplan als ∇f bezeichnet²), ein Drehspulinstrument mit Mittenstellung und ein Regler. Es handelt sich dabei um ein zuschalt-

¹ Heck/Bürck, Klangformung, 1956

² Die Bezeichnung » ∇f « ist unüblich und müsste eigentlich » Δf « für »Differenz« lauten.

bares Abstimmelement für den Nullabgleich der Rekonstruktionsfrequenz, um die Position »0 = keine Umstimmung« ($\nabla f = 0$) auf der großen Skala festzulegen.

Darunter befindet sich ein Umschalter für die Signale an den Ausgängen: O – nur Original, O+U – Summe aus Original und umgesetztem Signal, U – nur umgesetztes Signal.

An unterster Stelle die Amplitudenregler für die drei Eingänge I, II und III. Auf der rechten Seite die Regler für die Amplituden der Ausgänge.

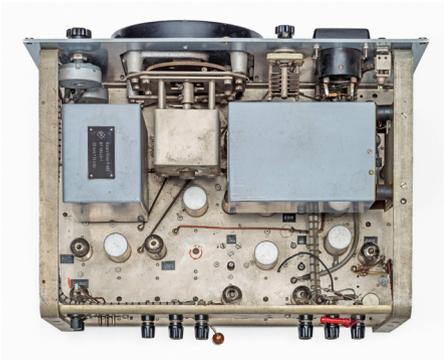


Abb. 1 Der geöffnete Frequenzumsetzer. Die beiden grauen Metallgehäuse sind die Thermostaten für die Quarzfilter, in der Mitte die Metallabschirmung des frequenzbestimmenden Drehkondensators.

Auf den vielen Fotografien von Salas Studio ist zwar regelmäßig der Frequenzumsetzer zu sehen, nicht aber das dazugehörige Netzgerät (die Spannungsversorgung war nicht ins Gerät eingebaut). Die Abbildungen 2 und 3 zeigen das Gerät.

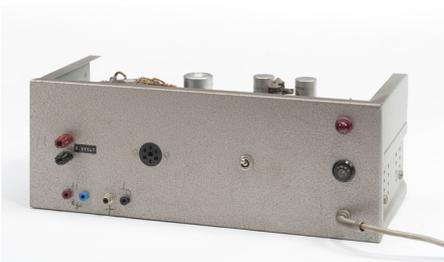


Abb. 2 Das Netzgerät für den Frequenzumsetzer (DM Inv.-Nr. 2007-874, Teil 8).



Abb. 3 Das Innere des Netzgeräts. Es zeigt einen Ringkerntrafo (geringes magnetisches Streufeld) und die im Schaltbild (Abbildung 4) eingezeichneten 12 Watt-Widerstände und die beiden Spannungs-Stabilisator-Röhren ZZ 1040 (links im Bild).

A1.1 Diskussion der Schaltung des Frequenzumsetzers von Oskar Sala

Im Nachlass Salas hat sich ein Schaltplan des Geräts erhalten.³ Er wurde vom Autor aufbereitet und zum besseren Verständnis die Funktionsblöcke mit Buchstaben versehen. Die Zeichnung stammt vom Hersteller.

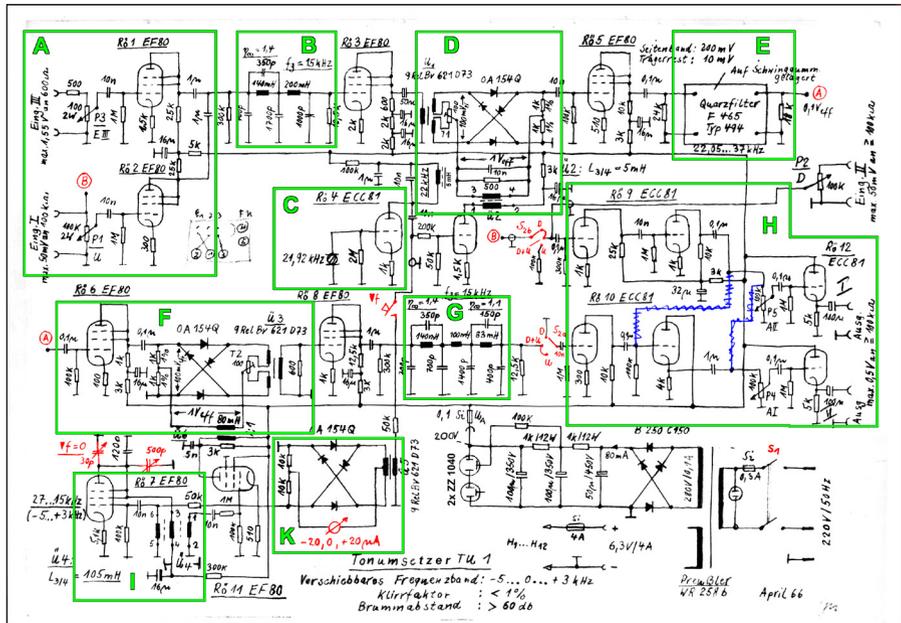


Abb. 4 Der Schaltplan des Frequenzumsetzers, April 1966. Schalter und Regler sind rot gekennzeichnet, Baugruppen sind grün markiert.

Die Schaltung (Abbildung 4) entspricht in groben Zügen dem in den »Gravesaner Blättern« abgedruckten Blockschaltbild.⁴ Zur leichteren Identifizierung sind im Schaltbild die Baugruppen mit grünen Rahmen markiert.

Das zu transformierende Signal S liegt an einem der Eingänge EI, II oder III, gefolgt von je einem Vorverstärker (Block A). I und II werden zusammengeführt und einem Tiefpassfilter zugeführt (Block B), der die Frequenz des Eingangssignals auf 15 kHz beschränkt. Dies ist notwendig, um unerwünschte Interferenzbildungen zu vermeiden. Nach einem Zwischenverstärker folgt ein Ringmodulator (Block D), der das Eingangssignal mit dem sogenannten »Carrier« C (Trägersignal) mischt, der in einem Generator erzeugt wird (Block C). Nach einem Zwischenverstärker gelangt das modulierte Signal zu einem Quarzfilter, der als Bandpass fungiert (Block E). Dort werden die unerwünschten

3 DMA, NI218/2445 GF.

4 Heck/Bürck, Klangumwandlungen, 1956, S. 35–57.

Teile des modulierten Signals abgeschnitten (die Frequenzdifferenz und höher liegende Seitenbänder). Die im Schaltplan ausgewiesenen Frequenzgrenzen zeigen den Frequenzbereich, der akustisch bearbeitet werden kann: 22,5–21,92 kHz = 130 Hz, 37–21,92 kHz = 15 kHz. An Punkt A (rot) liegt das modulierte Signal an. Die Technik ist als »Einseitenbandmodulation« von der Rundfunktechnik her bekannt. Dadurch kann das Original bei der Demodulation nicht einfach rückgewonnen werden, der Carrier muss wieder zugemischt werden. Darin liegt nun das Prinzip des Geräts: Es wird anstelle des ursprünglichen Carriers eine andere, frei wählbare Frequenz C1 verwendet. Sie wird in Block I erzeugt. Die Demodulation geschieht dann in Block F, wieder mit einem Ringmodulator. Diesmal wird mit einem Tiefpass (Block G) das unerwünschte hohe Seitenband entfernt. Das rückgewonnene Signal weist durch die unterschiedlichen Carrier ebenfalls eine andere Frequenz auf als das Original. Der Unterschied ∇f der beiden Carrier findet sich in der Verschiebung des Ausgangssignals wieder.

Mathematisch sieht der Vorgang folgendermaßen aus (S ... Signal, C ... Carrier):

Modulation	$\sin(C) \times \sin(S) = \frac{1}{2} (\cos(C-S) - \cos(C+S))$
nach Hochpass	$\frac{1}{2} \cos(C+S)$
Rückmodulation	$\sin(C1) \times \cos(C+S) = \frac{1}{2} (\sin(C1-C-S) + \sin(C1+C+S))$
nach Tiefpass	$\frac{1}{2} \sin(C1-C-S)$

entsprechend den Produktformeln für Winkelfunktionen.

Zur Veranschaulichung eine Aufstellung der Frequenzgemische (für dieses Gerät gilt konstruktionsbedingt: Carrier C > Signal S):

Frequenzen	
nach der Modulation:	C-S C+S unteres und oberes Seitenband
nach dem Quarzfilter:	C+S oberes Seitenband
nach der Demodulation:	C1-(C+S) C1+(C+S) beide Seitenbänder
nach dem Tiefpass:	(C1-C) - S = $-\nabla f - S$ mit $\nabla f = C-C1$

Nachdem negative Frequenzen nicht möglich sind, wird am Nullpunkt gespiegelt. Das ergibt:

$$S + \nabla f > S \text{ (positive Verstimmung für } \nabla f > 0 \text{ bzw. } C > C1)$$

Wenn $\nabla f < 0$ ist (C < C1... negative Verstimmung), dann erreicht die Summe bald den Wert 0. Bei weiterer Steigerung von ∇f bzw. Erniedrigung der Signalfrequenz wird 0 unterschritten und die Frequenz am Nullpunkt gespiegelt. In dem Fall würde sich sogar die Reihenfolge der Oberschwingungen umdrehen (siehe dazu ebenfalls den Artikel von Heck et al.).

Ein Pufferverstärker (Block H) leitet das Signal an die Ausgänge. Dort wurden als Modifikation, wie bereits erwähnt, zwei Signalwege entfernt (blau). Der Einstellbereich des Geräts beträgt -5 kHz bis +3 kHz (relativ zum Grundton des Eingangssignals). Das heißt: Das Eingangssignal wird tiefer bzw. höher.

Es gibt zum exakten Abgleich der Modulations- und Rückmodulationsfrequenz eine Hilfsschaltung. Zu diesem Zweck wird wieder ein Ringmodulator verwendet (Block K), in

dessen Brückenweig sich ein Mikroamperemeter mit Mittenstellung befindet. Sind beide Frequenzen gleich, steht es auf Null. Dann hat das Gerät keine Wirkung. Diese Hilfsfunktion kann mit dem Druckknopf $\blacktriangledown f$ zugeschaltet werden, bleibt aber im nachfolgenden Betrieb ausgeschaltet.

Es folgen als Beispiel Oszillogramme und Spektren einer typischen Audioquelle, bestehend aus fünf Frequenzen mit abnehmender Amplitude: 200, 400, 600, 800 und 1000 Hz. Abbildung 5 zeigt das Oszillogramm dieses Signals mit seinem Spektrum in Abbildung 6. Dieses Signal wird mit einem Carrier von 20 kHz moduliert, das Ergebnis zeigt Abbildung 7. Man sieht deutlich, dass die Frequenzen der Signalkomponenten zum Carrier addiert und subtrahiert werden. Das untere Seitenband wird abgeschnitten (Abbildung 8) und anschließend mit Carrier 1 (im Beispiel 20,625 kHz) rückmoduliert. Das Ergebnis zeigt Abbildung 9. Das obere Seitenband (Zahlen nur für eine Frequenzkomponente) mit Frequenzen von $20,2 + 20,625 = 40,825$ (es liegt weit im unhörbaren Bereich) wird abgeschnitten, es verbleibt das untere Seitenband mit $|-0,425 \text{ kHz}| = 425 \text{ Hz}$ (Abbildung 10). Hier zeigt sich, dass in unserem Beispiel eine teilweise Umkehr der Reihenfolge der Teilfrequenzen eintritt.

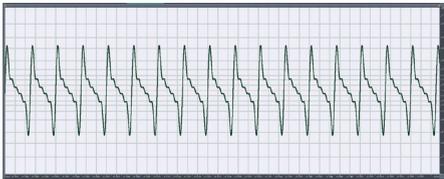


Abb. 5 Oszillogramm des Eingangssignals.

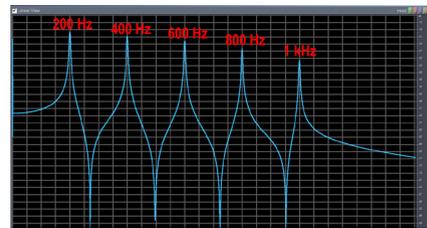


Abb. 6 Spektrum des Eingangssignals.

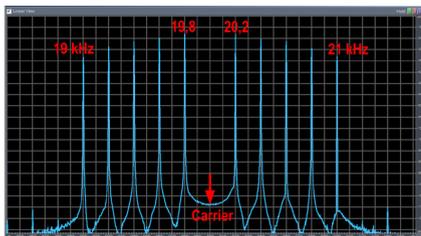


Abb. 7 Spektrum des modulierten Eingangssignals.

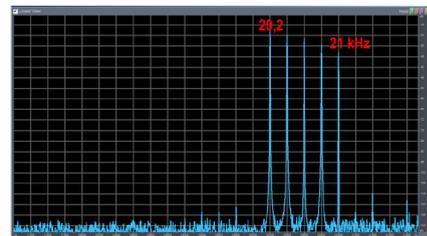


Abb. 8 Spektrum nach dem Hochpass.

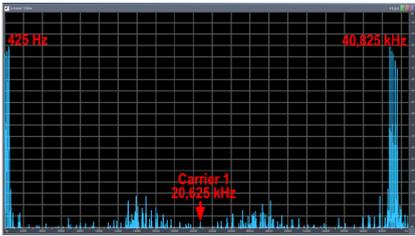


Abb. 9 Spektrum nach der Rückmodulation.

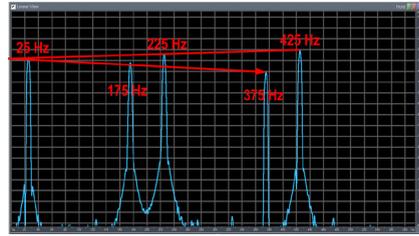


Abb. 10 Spektrum nach dem Tiefpass. Einige Frequenzen sind am Nullpunkt gespiegelt!

A1.2 Der Frequency Shifter von Harald Bode

Das Funktionsprinzip der Klangumwandlung erfuhr vor allem durch die Entwicklung Harald Bodes⁵ in den USA eine weite Verbreitung. Bode stellte bei der 17. Jahresversammlung der Audio Engineering Company 1965 sein Konzept eines »Frequency Spectrum Shifters« (auch in den USA vorerst als »Klangumwandler« bezeichnet) vor.⁶ Seine Konstruktion fußt zwar auf der grundsätzlichen Idee der Modulation und Demodulation von Heck und Bürck, die Lösung beruht jedoch auf der Anwendung von Multiplikationstheoremen von Winkelfunktionen im Modulationsteil, sodass die teuren Quarzfilter vermeidbar waren (das untere Seitenband fällt von alleine weg). Das Gerät wurde in der Folge weit verbreitet, beispielsweise von Walter (Wendy) Carlos für die LP »Switched on Bach« verwendet, zu hören im langsamen Teil der Umsetzung des vierten Brandenburgischen Konzerts.

Das beim Jahrestreffen 1965 vorgestellte Blockschaltbild in Abbildung 11 zeigt das Prinzip. Es beruht darauf, das Eingangssignal und den Carrier in je zwei Signalzweigen mit 90° Phasenunterschied zu führen und sie dann miteinander entsprechend den Regeln der Trigonometrie zu verknüpfen. Die entsprechenden Formeln sind in der Abbildung eingetragen. Die Phasenverschiebung ist jedoch nicht ganz trivial einzustellen. Für eine Frequenz ist das mit einem einfachen Differenzglied aus Kondensator und Widerstand zu erreichen, nicht aber für den gesamten Frequenzbereich eines Audiosignals. Daher sind zwei parallel arbeitende sogenannte »Domefilter«⁷ notwendig, die eine fixe gegenseitige Phasendifferenz von 90° haben müssen. Dazu ist ein beträchtlich höherer Aufwand an Bauteilen im Vergleich zu Salas Gerät erforderlich, deren Preis jedoch unvergleichlich niedriger ist als der von Quarzfiltern, die ja als Bandpass nach der Modulation erforderlich sind. Durch die geschickte Nutzung der Multiplikationstheoreme von Win-

5 Harald Bode (1909–1987), deutscher Elektrotechniker und einer der wesentlichen Pioniere der Entwicklung elektronischer Komponenten für die Musikproduktion; wanderte 1954 in die USA aus und wurde in den 1970er Jahren Chefsingenieur in der Firma von Robert Moog.

6 Bode, Solid State Audio Frequency Spectrum Shifter, 1965.

7 Name nach Robert Dome, der diese Methode der Phasenverschiebung patentieren ließ. Phase shift system, Patent CA 490 405, 10.2.1953. Einreichung 1947.

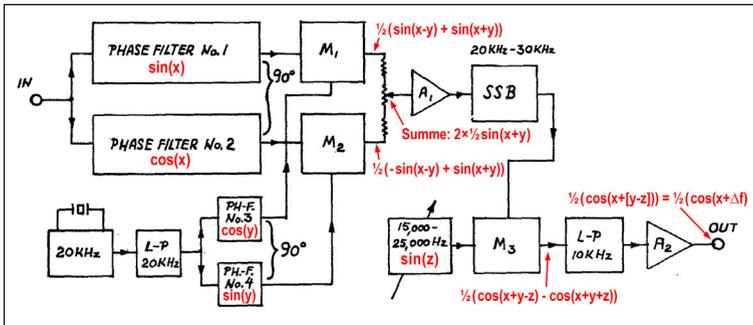


Abb. 11 Blockschaltbild des Frequency Shifters nach Bodes Publikation von 1965.

kelfunktionen fällt das untere Seitenband automatisch weg, muss also nicht herausgefiltert werden.

Die beiden Phasenfilter im Eingangsbereich arbeiten mit konstanter Phasendifferenz von 90° , in der Skizze sind die Signale der Einfachheit halber mit $\sin(x)$ und $\sin(x + 90^\circ) = \cos(x)$ bezeichnet. Gleiches gilt für den Carrier (20 kHz), der ebenfalls in zwei Signale aufgeteilt wird. »x« steht dabei für das Audiosignal, »y« für das Carrier-Signal. Die Mixer M_1 und M_2 (z.B. Ringmodulatoren) bilden die Produkte der jeweiligen Signale, wobei durch die Polarität der Summanden aufgrund der Produktregeln für Winkelfunktionen das untere Seitenband in der Summe automatisch wegfällt. Der nachgeschaltete Filter »SSB« beseitigt Reste unerwünschter Frequenzen. Das obere Seitenband $(x+y)$ wird zusammen mit dem für den Shift nötigen Demodulationsträger »z« dem Modulator M_3 zugeführt. Dort entsteht das Differenzsignal $(x+y)-z = x+(y-z) = x+\Delta f$ (mit $\Delta f = y-z$) und das Summensignal, das im unhörbaren Bereich liegt und mit einem Tiefpass (L-P) abgeschnitten wird. Je nachdem ob »z« größer oder kleiner als »y« ist, tritt eine Erniedrigung oder Erhöhung des Audiosignals ein.

Eines der ersten labormäßigen von Bode gebauten Exemplare wird im Columbia University Computer Music Center aufbewahrt. Die Einheiten des Blockschaltbilds (Abbildung 11) sind noch eindeutig auszumachen (Abbildung 12). Wendy Carlos: »Later Bob Moog constructed for me a wonderful custom analog »Klangumwandler« from Harald's [Bodes] designs, which I've used for years.«⁸ Tatsächlich wurde der Moog Frequency Shifter zu einem fixen Bestandteil des Modularsystems von Moog und wird bis heute von verschiedenen Herstellern angeboten.

Bode verwendete für seine Konstruktion zwei Publikationen: Die erste stammte von zwei Mitarbeitern der Bell Labs aus dem Jahr 1961,⁹ die die Idee von Heck und Bürck (ohne die Quelle zu erwähnen) dazu verwenden wollten, um akustische Rückkopplungen in Räumen zu vermindern. Die zweite (ein Patent) stammte von William Wayne von der

⁸ <http://www.wendycarlos.com/surround/surround4.html> (25.2.2021).

⁹ Prestigiacomo/MacLean, Frequency Shifter, 1961.

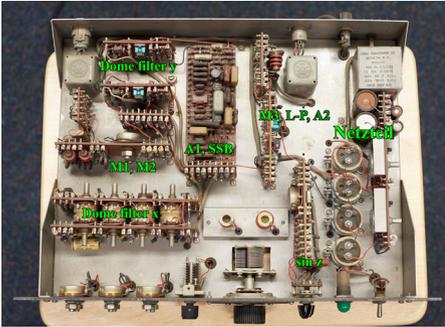


Abb. 12 Eines der ersten von Harald Bode selbst gebauten Geräte.

Baldwin Piano Company,¹⁰ der den Phaseneffekt für die Erzeugung eines Chorus-Effekts für elektronische Musikinstrumente nutzen wollte.

Bode reichte im August 1972 ein Patent auf die endgültige Ausführung seines Frequency Shifters ein, das er dann am 26. März 1974 erhielt.¹¹ Er stellte natürlich auch Vergleiche zu anderen Konstruktionen an und berief sich dabei auf das Urteil Vladimir Ussachevskys,¹² der 1958 die Gelegenheit hatte, für fünf Wochen im SWR Studio Baden-Baden elektroakustische Experimente anzustellen.¹³ Dabei spielte der Frequenzumsetzer, den Siemens&Halske für das SWR Studio gebaut hatte,¹⁴ eine große Rolle. Eine der Kompositionen Ussachevskys (»Linear Contrasts«¹⁵) zeigt dies deutlich. Auch Pierre Boulez arbeitete 1958 in Baden-Baden mit dem Gerät¹⁶ – siehe Abbildung 13. Nach Bodes

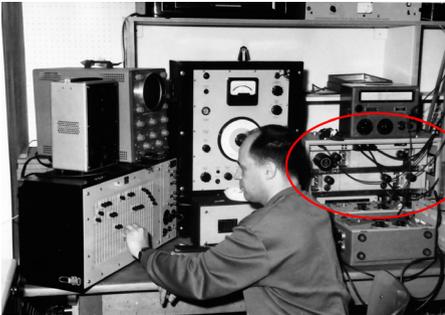


Abb. 13 Pierre Boulez im SWR-Studio Baden-Baden. Rechts (gekennzeichnet) der Frequenzumsetzer, 1958 (nach Angaben des Fotografen).

10 Audio modulation system, Patent US 3 004 460, 1961.

11 Apparatus for producing special audio effects utilizing phase shift techniques, Patent US 3 800 088, 1974.

12 Vladimir Ussachevsky (1911–1990), russisch-amerikanischer Komponist und einer der Leiter des Columbia-Princeton Electronic Music Center.

13 Ussachevsky, Musical timbre mutation, 1958.

14 Siehe dazu Prieberg, Musica ex machina, 1960, S. 224.

15 Zu finden auf der Platte SON-NOVA #3,1988: Electronic Music by Bulent Arel, Mario Davidovsky and Vladimir Ussachevsky.

16 Prieberg, Musica ex machina, 1960, S. 189.

Aussagen lieferte dieses »German device« zwar bei hohen Frequenzen die besseren Ergebnisse, bei tiefen (insbesondere unter 40 Hz) wäre aber seine eigene Lösung überlegen.

A2. Ein Schaltplan des Konzerttrautoniums

A2.1 Klangteil

Im Nachlass von Oskar Sala hat sich ein Übersichtsplan des Konzerttrautoniums erhalten.¹⁷ Vieles ist nur symbolisch angedeutet, die einzelnen Funktionsgruppen sind jedoch deutlich zu erkennen, das Spielinterface fehlt.

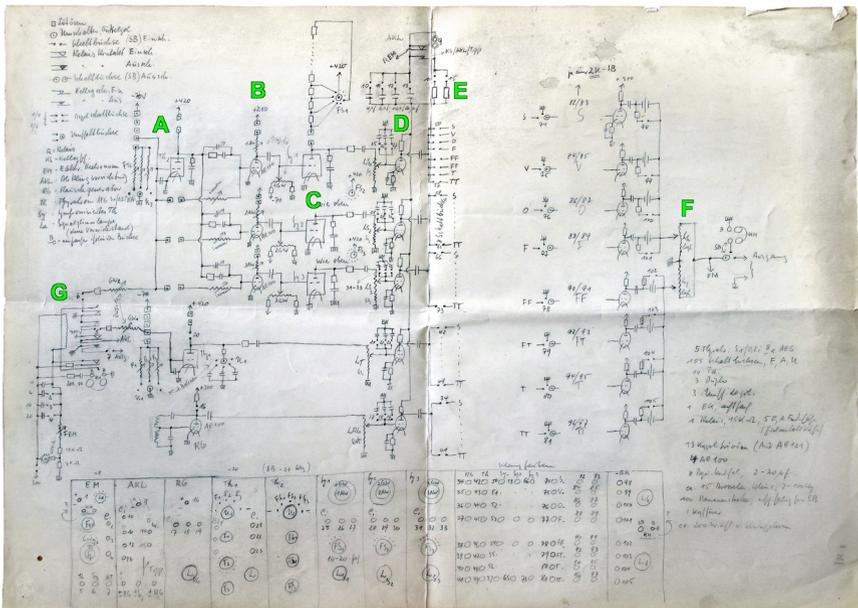


Abb. 14 Schaltplan des Konzerttrautoniums (um 1939).

Drei Pufferverstärker mit den Trioden AC 100 (Abbildung 14: »A«) führen zu drei Thyatronen (»B«) für drei Subharmonische. Anschließend folgt eine Serie von Pufferverstärkern mit schaltbaren Höhen-Filtern (»C«) und Abklingfunktion (»D«) für die Filter »S« ... »TT«, die je einen Flüssigkeitswiderstand besitzen, deren Ausgänge zu einem gemeinsamen Summenverstärker (»E«) führen. Den Einsatzpunkt dieser je vier Widerstände muss man sich stufenweise verzögert vorstellen. Zudem lassen sich viele Funktionen

¹⁷ DMA, NL218/2456.

mit Schaltbuchsen verändern. Das Metronom findet sich bei (»F«). Unten im Bild findet sich ein Layout der Registertafel des Instruments.

A2.2 Netzteil

Üblicherweise fehlen in Publikationen über elektronische Musikinstrumente Informationen über die Netzteile. Deren Funktion ist ja nur, die entsprechenden Spannungen zur Verfügung zu stellen, gleichgültig wie. Nun war bei Salas Konstruktionen u. a. wegen der Verwendung unterschiedlicher Röhrentypen (zum Teil Kriegsmaterial und Restbestände) eine Vielzahl verschiedener Spannungen erforderlich, die bei den weiter fortentwickelten Trautonium-Modellen laufend zu erhöhtem Strombedarf führten. Sala musste daher die Netzgeräte selbst entwerfen, da er nicht auf Standardlösungen zurückgreifen konnte.

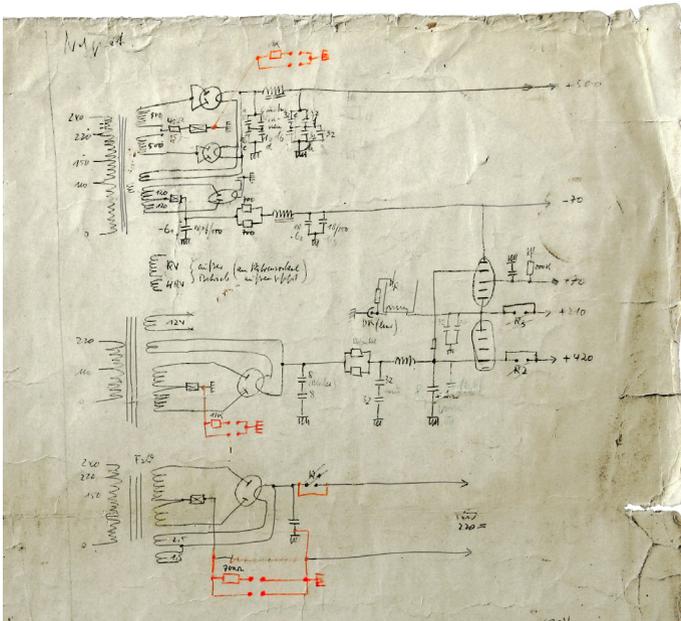


Abb. 15 Schaltplan des Netzteils des Konzerttrautoniums (um 1939).¹⁸

In seinem Nachlass finden sich zwei Schaltplanfragmente, die Netzanschluss-Schaltungen darstellen. Auffällig ist, dass eine große Zahl Transformatoren eingesetzt wird, zum Teil mit mehreren speziellen Sekundärwicklungen, also Sonderanfertigungen. Dies trifft vor allem auf die später besprochene Abbildung 17 zu. Jede Menge Teilspannungen zwischen 2,5V und 1000V sind dabei zu finden. Es kommt vor allem die Zweiweg-Röh-

¹⁸ DMA, NL218/2451.

rendiode RG 105 bzw. die Einwegdiode RG 62 zum Einsatz mit einer speziellen Heizspannung von 2,5V (was eine eigene Transformator-Wicklung nötig machte).

Die in Abbildung 15 wiedergegebene Schaltung erzeugt mit drei Transformatoren Spannungen von -70 , $+70$, 210 , 220 , 420 und 500 Volt, teilweise mit Glimmstabilisatoren (STV280/80) versehen. Die pulsierenden Spannungen werden mit Siebschaltungen aus Kondensatoren und Spulen geglättet. Die Schaltungen entsprechen dem Stand der Zeit und bieten nichts Spezielles. Auffällig ist jedoch, dass bei den Schaltungen zur Zweiweg-Gleichrichtung die Massepunkte der Trafowicklungen mit Widerständen »hochgezogen« wurden (rote Einzeichnungen), dies noch dazu mit Schaltsteckern veränderbar. Das hat zur Folge, dass die gleichgerichtete Ausgangsspannung verringert werden kann.



Abb. 16 Das Netzgerät des Konzerttrautoniums (Bildmitte). Rechts ein Lautsprecher. Es handelt sich um ein Standbild aus der DEFA Wochenschau »Der Augenzeuge« Nr. 47 aus dem Jahr 1949.

A3. Das Netzgerät für das Mixturtrautonium

Eine zweite Schaltung (Abbildung 17), die sich im Nachlass Salas findet, zeigt ein anderes Bild. Die Anzahl Transformatoren wurde auf fünf erhöht, Nummer V hat sogar zwei Wicklungen mit 1000 Volt. Die Erfahrung mit dieser Zahl von induktiven Verbrauchern hatte zur Folge, dass Sala einen Stufenschalter zur Inbetriebnahme vorsehen musste. Der Grund dafür ist der bekannte Effekt, dass beim Einschalten induktiver Lasten plötzlich große Ströme entstehen können. Dipl.Ing. Rudolph (einer der »Postprofessoren«) bestätigte, dass man das Netzteil nur stufenweise in Betrieb nehmen konnte.¹⁹ Auffällig an dem Schaltplan ist auch, dass Trockengleichrichter verwendet wurden. Obwohl auf der Rückseite eines Schaltplans zum Rundfunktrautonium gezeichnet, muss der Plan bereits zum Mixturtrautonium gehören, da die Funktionalität den neuen Anforderungen entspricht. Was den Strombedarf betrifft, liegt dies z. T. an der Verwendung alter Röhrentypen, so z.B. der RS 237, einer Leistungstriode für den Kriegseinsatz mit einem Heizstrom von $3,3$ A bei 10 Volt, die mit 1000 Volt betrieben werden kann. Auch die LS 50 (eine Wehrmachts-Senderöhre) benötigt eine eigene Heizspannung von 12 Volt und arbeitet

¹⁹ E-Mail an den Autor am 10.06.2021.

bei Anodenspannungen über 1000 Volt. Die Heizung für die Thyratrons brauchte einen eigenen Trafo, wurde über Trockengleichrichter geleitet und als erste mit dem Drehschalter eingeschaltet. Der Grund dafür ist, dass die Thyratrons erst vorgeheizt werden mussten, bevor sie für die Tonerzeugung stabil genug waren.

Die Funktion des Drehschalters im Detail:

Stufe 0: Gerät ausgeschaltet

Stufe 1: Trafo I geht ans Netz

Stufe 2: Trafos II bis IV gehen ans Netz, das Relais zieht an

Stufe 3: leer

Stufe 4, 5, 6: Trafo V wird stufenweise hochgefahren.

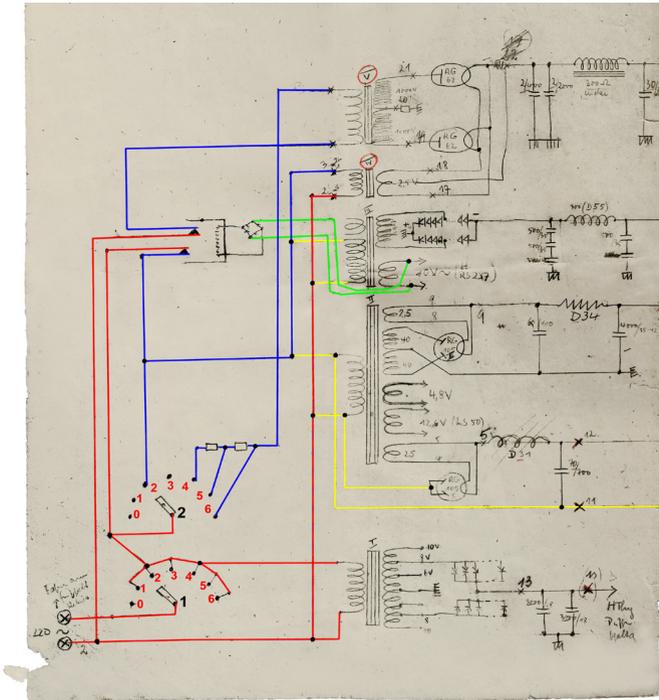


Abb. 17 Der Schaltplan mit den Stufenschaltern zur Inbetriebnahme des Netzteils mit Nachzeichnungen des Autors (DMA NL218/2449).

Rot: direkte Verbindung zum Stromnetz nach dem Einschalten (Schalter 1 Position 1).

Blau: Trafo V (1000 Volt) geht zuerst einpolig über Schalter 2/Stufe 2 und dann über das Halterelais und Schalter 2/Stufen 4-6 in drei Stufen ans Netz.

Gelb: Die Anschlüsse der restlichen Trafos und die direkt am Netz betriebene Doppeldiode RG 105. Alle ab Schalterstellung 2/Stufe 2 am Netz.



Abb. 18 Das Netzgerät für das Mixturtrautonium in Salas Nachlass im Deutschen Museum.²⁰ Auf einem Zettel neben dem Stufenschalter auf der obersten Platte ist die Einschaltreihenfolge vermerkt. Sämtliche Gleichrichterröhren fehlen.

Das in Abbildung 18 gezeigte Netzteil wurde neu gebaut, da Kupferdiebe das alte Netzteil geplündert hatten.²¹

Der Grund für den außerordentlichen hohen Strombedarf des Mixturtrautoniums liegt in der großzügigen Nutzung von Röhren: Sala verwendete für jede Stufe seiner Schaltungen eine eigene Röhre zur Entkopplung, die bei einer ingenieurmäßigen Schaltungsentwicklung möglicherweise vermeidbar gewesen wäre. Immerhin hatte Telefunken für das »Volkstrautionium« nur zwei Röhren vorgesehen, während im RVS-Trautionium sechs Röhren bei gleichem Effekt zu finden sind (siehe Abschnitte 1.2 und 3.2).

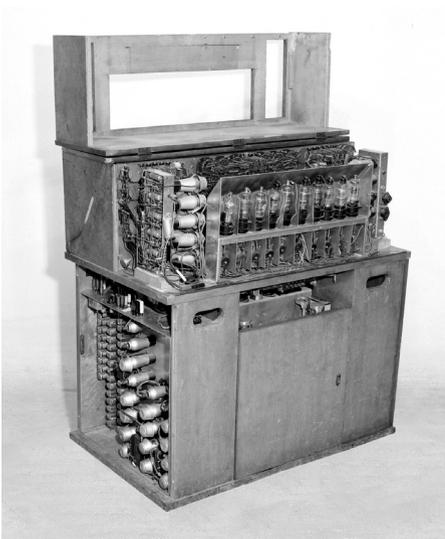


Abb. 19 Der »Röhrenwald« im geöffneten Mixturtrautionium. Allein auf der Seite des Instruments links im Bild sind in dieser Perspektive 28 Röhren (!) zu sehen.

²⁰ Deutsches Museum, Inv.-Nr. 2003-36, Teil 5.

²¹ Interview mit Sala in: Ein Alchimist der elektronischen Musik, NDR 1987.

Resonanzfilter bezeichnet). Ihr Ausgang führt über zwei Leitungen (mit Cyan und Hellgrün markiert) an eine Serie von sechs Filtern, die hauptsächlich aus Kombinationen von Spulen und Kondensatoren bestehen, die teilweise mit Widerständen bedämpft sind. Sie lassen sich über Umschalter wahlweise an K oder L anlegen. Ihr Ausgang liegt über einen weiteren Flüssigkeitswiderstand M (unterhalb der Spielschiene) an einem zweistufigen Endverstärker, dessen zweite Röhre als Kathodenfolger zur Impedanzwandlung geschaltet ist.

Die handschriftlichen Zusatzbezeichnungen H1 ... H4 betreffen die Heizspannung der Röhren und die Reihenfolge ihrer Einschaltung. Die Röhren 6k7 sind zu der Zeit gebräuchliche Pentoden, die sich auch für höhere Frequenzen eignen. Die Bezeichnung der Thyratrons gibt Aufschluss über die Betriebsdaten: »S« ist das Zeichen für Thyatron, die Zahl danach bezeichnet die maximale Betriebsspannung in Kilovolt, die Zahl hinter dem Schrägstrich den maximalen Anodenstrom, der Buchstabe V steht für die Gasfüllung Xenon.

A5. Ein Schaltplan des Rundfunktrautoniums

Im Archiv des Deutschen Museums finden sich mehrere Schaltpläne des Rundfunktrautoniums, die mehr oder weniger modifizierte Versionen der Konstruktion je eines der

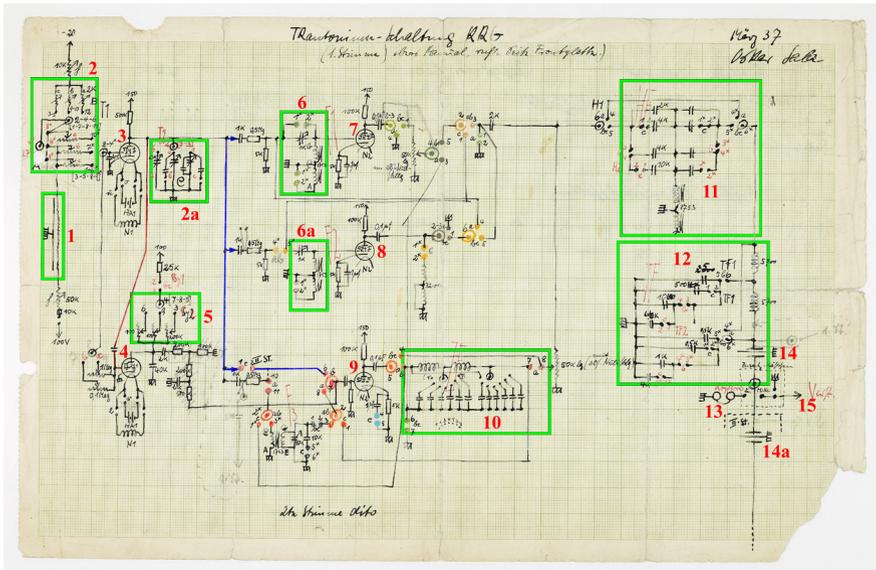


Abb. 21 Schaltplan eines Manuals des Rundfunktrautoniums. »Trautonium-Schaltung RRG - (1. Stimme) oberes Manual, rechte Seite Frontplatte«. Unten: »2te Stimme ditox.

Manuale zeigen. Einige Blätter sind mit »Trautonium-Schaltung RRG« beschriftet, der älteste mit »16.II.37«, der letzte mit »März 37« datiert und mit »Oskar Sala« signiert.²²

Die wichtigsten Funktionsgruppen sind in Abbildung 21 grün markiert.

Die roten Zahlen bedeuten:

- 1: Spielschiene (die 100V am unteren Ende des Spieldrahtes dienen zur Stummschaltung der Schwingröhre, wenn der Draht nicht gedrückt ist)
- 2, 2a: umschaltbare Widerstände und Kondensatoren zur Einstellung des Frequenzbereichs der Schwingröhre des Spieltons
- 3: Schwingröhre (Thyratron) des Spieltons
- 4: Schwingröhre des Untertons
- 5: Ladekondensatoren für die Unterton-Röhre, um die Teilerstufe einstellen zu können. Der Umschalter neben der Röhre 4 dient zur Anpassung des Einflusses der Position auf der Spielschiene
- 6, 6a: Serien-Resonanzfilter in den Eingangskreisen der Verstärkerröhre 7 und 8
- 7: Verstärkerröhre REN904
- 8: alternative Verstärkerstufe zu Position 7
- 9: Verstärkerröhre der subharmonischen Schwingung (umschaltbar als dritte Verstärkerstufe des Spieltons)
- 10: Resonanzfilter der Verstärkerstufe 9 (über 7-fach Umschalter)
- 11: Filterschaltung im Ausgangskreis (C/L), zuschaltbar
- 12: zusätzlicher Filterkreis (L/C), zuschaltbar
- 13: Kopfhörer-Anschluss
- 14,14a: Flüssigkeitswiderstände (unter den Spielschienen)
- 15: Ausgang für beide Manuale

Der Schaltplan sieht eine große Anzahl von Umschaltkontakten vor, die durch Kellog-Schalter, Drehschalter und Relais realisiert wurden. Die Schaltfunktionen hatte Sala mit den Farben Grün, Orange und Blau kodiert (siehe Abbildung 21). Dieselben Farben finden sich auch im Layout der Frontplatte (Abbildung 22).

Die Funktionen der Schaltung sind nach den bisherigen Ausführungen einfach zu verstehen. Die Spielschiene liefert über die Widerstände 2 eine Steuerspannung an die Schwingröhre, die je nach Ladekondensator 2a die Oktavlage festlegt. Die Heizung der Röhre erfolgte wahlweise über Batterie-HA1 [Heiz-Akku] oder Netz-N1 (abhängig von der Stabilität der Netzversorgung). Vom Ausgang führt eine direkte Leitung (rote Linie) zur Schwingröhre 4, deren Teilfrequenz (Unterton) mit den Ladewiderständen 5 bestimmt wird. 7, 8 und 9 sind Verstärkerstufen, die über verschiedene Schalter an den Spielton geschaltet werden können (blaue Linie). Stufe 9 ist jedoch hauptsächlich für die Verstärkung des Untertons zuständig.

Alle Verstärkerstufen sind mit Filtern ausgestattet. Die Positionen 6 und 6a sind identisch, ein Hochpass mit Kondensator und Spule. Für Stufe 9 ist im Ausgangskreis eine

²² DMA, NL218/2462.

Kombination zweier Resonanzfilter (in Art einer Collins-Schaltung) eingeschoben. Das Frequenzgemisch läuft dann über zusätzliche (abschaltbare) Filter 11 und 12 an den Ausgang 15. Die Lautstärken der Manuale werden mittels je eines Flüssigkeitswiderstands 14, 14a geregelt.

Die Einteilung der Funktionsgruppen der Frontplatte (Abbildung 22) verrät einiges über die Handhabung während des Spiels. Die Wahlschaltung der Subharmonischen ist in beiden Manualen in der Mitte, die Klangfarbenumschaltung an den Rändern mit Kennzeichnung als »HF« (Abbildung 21, Ziffer 11) und »TF« (Abbildung 21, Ziffer 12) und farblich gekennzeichneten Reglern entsprechend dem Schaltplan in Abbildung 21.

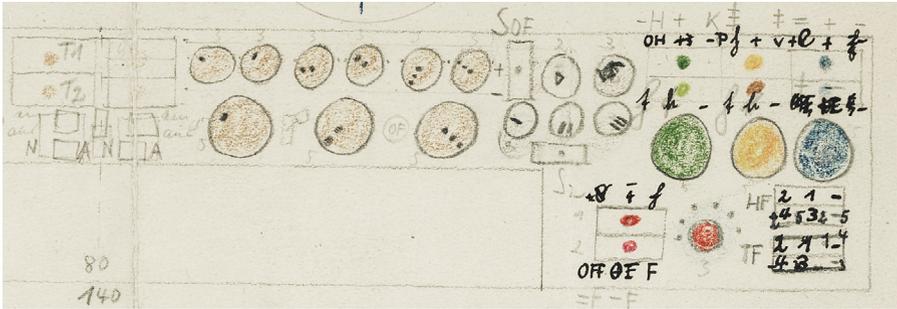


Abb. 22 Ausschnitt aus dem Layout der Frontplatte des Rundfunktrautoniums. In der Mitte die Regler zur Synchronisation (Ziffer 5 in Abbildung 21); rechts: Schalter für die Klangfarben und Funktionen (Ziffern 6 bis 12 in Abbildung 21).

A6. Ein Schaltplan des Mixturtrautoniums

Im Archiv des Deutschen Museums fand sich im Konvolut NL218/2462 ein loses Blatt mit einer frühen Schaltskizze des Mixturtrautoniums (undatiert, mit »(MT R) alt« bezeichnet). Wie auch beim Plan des Rundfunktrautoniums ist nur ein Manual dargestellt. Es finden sich aber schon alle wichtigen und für das Mixturtrautonium typische Baugruppen: vier subharmonische Teiler, die über vier Vorröhren (wie in Salas Patent DE 917 470 beschrieben) mit dem Muttergenerator synchronisiert werden. Vier Zwischenverstärker, die einfache, zuschaltbare kapazitive Teiler und Lautstärkereglern aufweisen, leiten die Signale über Flüssigkeitswiderstände an Filter im Ausgangskreis weiter. Die Gesamtlautstärke wird wieder über Flüssigkeitswiderstände geregelt und das Mischsignal an den Endverstärker weitergegeben.

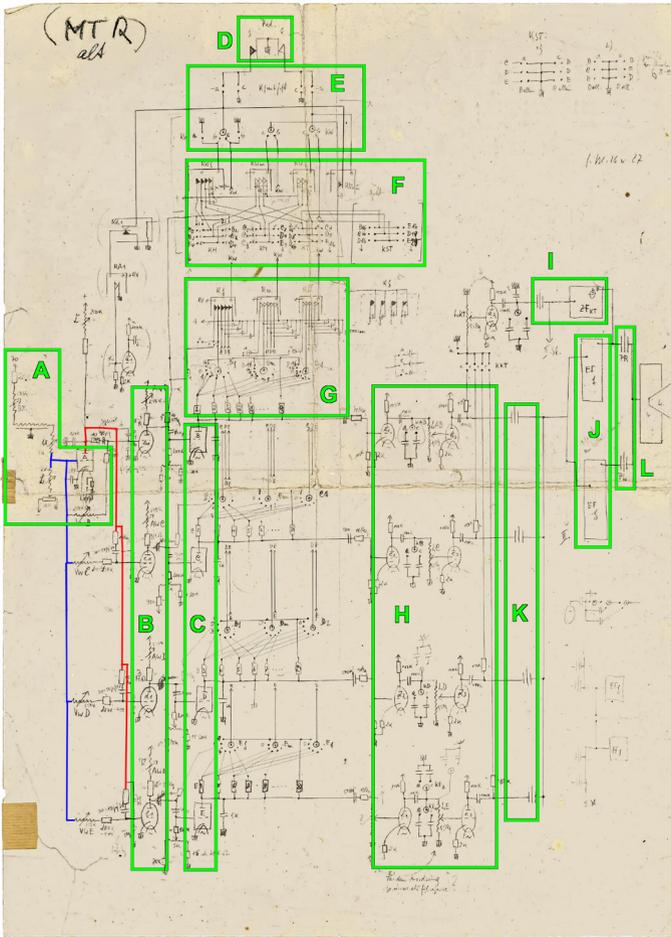


Abb. 23 Schaltbild »(MTR) alt«

- A: Spielschiene, Mutteroszillator mit Thyatron »A«
 - B: Vorröhren (b1 ... e1) entsprechend Röhre 12 in Teil II, Abbildung 50
 - C: Schwingröhren der Subharmonischen (Thyatrone B ... E)
 - D: Pedalumschalter »h«, »t« (Oktavumschaltung resp. Sonderfunktionen)
 - E: Auswahlschalter für die Wirkung der Pedalbewegung
 - F: Umschalter Presets für Mischung der Subharmonischen
 - G: Umschalter Betriebsspannung der Thyatrone und Wahlschalter der Teilungsstufen
 - H: Zwischenverstärker mit schaltbaren Spannungsteilern und Lautstärkereglern
 - I: Schaltbarer Zusatzfilter
 - J: Klangfilter
 - K, L: Flüssigwiderstände
- Blaue Linie: Einstellung Tonhöhe; rote Linie: Synchronisation Subharmonische

A7. Patente von und mit Oskar Sala

Salas Patente sind auf der Internetseite der Oskar-Sala-Stiftung am Deutschen Museum²³ aufgelistet. Es wird daher hier nur auf deren Bedeutung eingegangen.

Patent DE 628 687 »Als druckabhängiger Widerstand ausgebildete Lautstärkeregelanordnung für elektrische Musikinstrumente«

Patentinhaber: Telefunken Gesellschaft für drahtlose Telegrafie

Angemeldet am 23.06.1934, bekannt gemacht am 26.3.1936

als Erfinder werden genannt: Walter Germann, Oskar Sala

Die patentierte Lösung wird in allen Trautonium-Modellen verwendet, bis schließlich im Konzerttrautonium der Flüssigkeitswiderstand eingesetzt wurde.

Patent DE 722 836 »Elektrisches Musikinstrument mit mehreren Stromresonanz-Formantkreisen«

Patentinhaber: Telefunken Gesellschaft für drahtlose Telegrafie

Angemeldet am 9.8.1933, bekannt gemacht am 4.6.1942

als Erfinder wird genannt: Oskar Sala

Die im Patent gezeigten Schaltungsvorschläge finden sich im »Volkstrautionium« wieder. Auffällig ist die Ähnlichkeit zum Patent Trautweins DE 462 980 »Einrichtung zur Schwingungserzeugung mittels Elektronenröhren« vom 5.12.1922 und DE 469 775 »Verfahren zur Erzeugung musikalischer Töne bestimmter Klangfarbe« vom 24.4.1924. Dies mag zu den bekannten Spannungen zwischen Sala und Trautwein beigetragen haben.

Patent DE 917 470 »Synchronisationsvorrichtung für elektrische Musikinstrumente«

Patentinhaber: Oskar Sala

Patentiert am 25.2.1952, veröffentlicht am 22.7.1954

Es handelt sich dabei um das von Sala immer wieder erwähnte Patent zur stabilen Synchronisation subharmonischer Teilfrequenzen. Es ist Grundlage des Mixturtrautoniums. Das Patent entspricht dem französischen Patent FR 1 074 838 (1954) und dem amerikanischen Patent US 2,740,892 (1956).

Patent DE 1 017 448 »Amplitudenregler für elektrische Musikinstrumente«

Patentinhaber: Oskar Sala

Angemeldet am 18.1.1952, veröffentlicht am 3.4.1958

Es handelt sich dabei um Salas Flüssigkeitswiderstand (Einblenderegler) für die Lautstärke, die er ab dem Konzerttrautonium verwendete.

Die Patente können auf den Seiten des Deutschen Patent- und Markenamtes unter Angabe der Patentnummer (z. B. DE628687) abgerufen werden.²⁴

²³ <http://www.oskar-sala.de/oskar-sala-fonds/oskar-sala/patente/>.

²⁴ <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=basis>.

Literatur und Quellenverzeichnis

Literatur

- Abendroth, Walter: Neue Musik Berlin 1930. In: AMZ 57. Jg, Nr. 27, S. 724.
- Berdux, Silke: Sala, Paul Heinrich Oskar. In: Neue Deutsche Biographie, Bd. 22, Berlin 2005, S. 360f.
- Berdux, Silke; Füßl Wilhelm; Wallaszkovits, Nadja: Audio goes Video. Ein Projekt zur Digitalisierung von Tonbändern aus dem Nachlass von Oskar Sala. In: Archivar 64, 2011, S. 66–72 (Online-Version).
- Békésy, Georg von: Über die Resonanzkurve und die Abklingzeit der verschiedenen Stellen der Schneckentrennwand. In: Akustische Zeitschrift 8 (1943), S. 66–76.
- Bode, Harald: Solid State Audio Frequency Spectrum Shifter. Proc. 17th Convention of the Audio Engineering Society, Preprint #395, October 1965.
- Böhme-Mehner, Tatjana; Mehner, Klaus; Motje, Wolf (Hg): Elektroakustische Musik – Technologie, Ästhetik und Theorie als Herausforderung an die Musikwissenschaft. Essen 2008.
- Braun, Hans-Joachim (Hrsg.): 'I sing the Body Electric'. Music and Technology in the 20th Century. Hofheim 2000.
- Brilmayer, Benedikt: Das Trautonium. Prozesse des Technologietransfers im Musikinstrumentenbau. Dissertation Universität Augsburg. Augsburg 2014.
- Busoni, Ferruccio: Entwurf einer neuen Ästhetik der Tonkunst. 2. Auflage, Leipzig 1916.
- Cowell, Henry: New musical resources. New York 1930.
- Cross, Lowell: Electronic Music, 1948–1953. In: Perspectives of New Music, Vol. 7, No. 1 (Autumn–Winter, 1968), S. 32–65.
- Denton, Clifford E.: The Trautonium. A new musical instrument. In: Radio Craft (1933), H. 4, S. 522–524.
- Donhauser, Peter: Elektrische Klangmaschinen. Die Pionierzeit in Deutschland und Österreich. Wien 2007.
- : Musikmaschinen. Die Geschichte der Elektromusik. Berlin 2019.
- Ernst, Wolfgang: Elektroakustik oder Musik? Das medienarchäologische Gehör. In: Böhme-Mehner, Elektroakustische Musik, 2008, S. 58–68.
- Fischer-Defoy, Christine: Kunst, Macht, Politik. Die Nazifizierung der Kunst- und Musikhochschulen in Berlin. Berlin 1988.
- Frieß, Peter; Krumbacher, Gert; Seydel, Kerstin: Oskar Sala im Gespräch. In: Frieß, Peter; Steiner, Peter M.: Deutsches Museum Bonn. Forschung und Technik in Deutschland nach 1945. Berlin 1995, S. 215–236.
- Gethmann, Daniel (Hrsg.): Klangmaschinen zwischen Experiment und Medientechnik. Bielefeld 2010.
- Geiger, H.; Scheel, K.: Handbuch der Physik. Berlin 1926.
- Heck, Bruno; Bürck, Fred: Klangumformung in der Rundfunkstudientechnik, insbesondere durch Anwendung der Frequenzumsetzung. In: Elektronische Rundschau, 10. Jg., Heft 1, 1956, S. 1–7.
- : Klangumwandlungen durch Frequenzumsetzung. In: Gravesaner Blätter Nr. IV, Mai 1956, S. 35–57.
- Helmholtz, Hermann von: Die Lehre von den Töneempfindungen. 6. Auflage, Braunschweig 1913.
- Hermann, Angela et al. (Hrsg.): Die Tagebücher von Joseph Goebbels. Aufzeichnungen 1923–1941. München 2005. <https://www.degruyter.com/database/tjgo/html>.
- Hermann, Ludigar: Neue Beiträge zur Lehre von den Vokalen und ihre Entstehung. In: Pflüger's Archiv für Physiologie 141 (1911), S. 1–62.
- : Ueber Synthese von Vokalen. In: Pflüger's Archiv für Physiologie 91 (1902), S. 135–163.
- : Beiträge zur Lehre von der Klangwahrnehmung. In: Pflüger's Archiv für Physiologie 56 (1894), S. 467–499.
- Hindemith, Paul: Unterweisung im Tonsatz. Mainz 1937 und Neuauflage 1940.
- Illner, O.: Electric Music? In: Rhythm XI (1937), H. 119, S. 8–9.
- Kestenberg, Leo (Hrsg.): Kunst und Technik. Berlin 1930.
- König, Wolfgang: Volkswagen, Volksempfänger, Volksgemeinschaft. »Volksprodukte« im Dritten Reich. Paderborn 2004.
- Kotowski, Paul; Germann, Walter: Das Trautonium. In: Elektrische Nachrichtentechnik Jg. 11 (1934), H. 11, S. 389–399.

- Kursell, Julia: Immanenzebene: Zur elektronischen Musik von David Tudor. In: Gethmann, Daniel (Hrsg.): Klangmaschinen zwischen Experiment und Medientechnik. Bielefeld 2010, S. 231–247.
- Lertes, Peter: Elektrische Musik: eine gemeinverständliche Darstellung ihrer Grundlagen, des heutigen Standes der Technik und ihrer Zukunftsmöglichkeiten. Leipzig 1933.
- Marcus, L.: Un instrument très simple de musique électrique: Le Trautonium. In: *La T.S.F. pur tous* Nr. 101 (1933), H. 3, S. 155–158.
- Meyer-Eppler, Werner: Elektrische Klangerzeugung. Elektronische Musik und synthetische Sprache. Bonn 1949.
- Morawska-Büngeler, Marietta: Schwingende Elektronen: eine Dokumentation über das Studio für Elektronische Musik des Westdeutschen Rundfunks in Köln 1951–1986. Köln 1988.
- Neumann, Sonja: Von dislozierten Klängen und auditiven Räumen – Lautsprecher in der Frühzeit der Elektrophone. In: Brech, Martha und Paland, Ralph (Hrsg.): *Kompositionen für hörbaren Raum*. Bielefeld 2015, S. 105–122.
- Noack, Fritz: More information about the Trautonium. In: *Radio Craft* (1933), Jg. 4, Nr. 10, April, S. 590–591.
- Patteson, Thomas: A New, Perfect Musical Instrument: The Trautonium and Electric Music in the 1930s. In: *Instruments for New Music: Sound, Technology and Modernism*. Oakland 2016, S. 114–152.
- Prestigiacomo, Anthony; Maclean, David: A Frequency Shifter for Improving Acoustic Feedback Stability. *Proc. 13th Convention of the Audio Engineering Society*, Preprint #192, October 1961.
- Priberg, Fred: *Musica ex machina*. Über das Verhältnis von Musik und Technik. Frankfurt 1960.
- : *Musik des technischen Zeitalters*. Zürich 1956.
- Raven-Hart, Rowland: Radio, and a new theory of tone-quality. In: *The musical quarterly* XVII (1931), H. 3, S. 380–388.
- : *Composing for radio*. In: *The musical quarterly* XVI (1930), H. 1, S. 133–139.
- : *Le Trautonium*. In: *La nature* Nr. 2907 (1933), S. 541–544.
- Reiß, K.H.: Ein überlebter Streit. In: *Physikalische Blätter* 6 (1950), S. 525.
- Rennefeld, Dirk-Jens (Hrsg.): *Hans Poelzig. Haus des Rundfunks / Sender Freies Berlin*. Berlin 1994.
- Ruschkowski, André: *Soundscapes. Elektronische Klangerzeugung und Musik*. Berlin 1990.
- : *Elektronische Klänge und musikalische Entdeckungen. Überarbeitete und erweiterte Ausgabe*. Stuttgart 1998.
- Sala, Oskar: Psycho-physische Konsequenzen elektroakustischer Klangsynthese. In: *Frequenz* 5 (1951), H. 1, S. 13–20.
- : *Objektive und subjektive Resonanzeffekte bei kurzdauernden Impulsfolgen*. In: *Frequenz* 5 (1951), H. 9, S. 250–259.
- : *Bericht über das neue Trautonium. Seine Entstehung und seine Spieltechnik*. Berlin 1936. DMA, NL 218/2462. Reprint München 2022.
- : *Ein neues elektrisches Soloinstrument*. In: *Neues Musikblatt* 5. Jg. (1938) H. Mai/Juni, S. 5–6.
- : *Das Mixtur-Trautonium*. In: *Melos* Jg. 17 (1950), S. 247–251.
- : *My fascinating instrument*. In: Enders, Bernd (Hrsg.): *Neue Musiktechnologie. Vorträge und Berichte vom KlangArt-Kongreß 1991 an der Universität Osnabrück, Fachbereich Erziehungs- und Kulturwissenschaften*. Mainz 1993, S. 75–93.
- : *Experimentelle und theoretische Grundlagen des Trautoniums*. In: *Frequenz* 2 (1948), H. 12, S. 315–322.
- : *Experimentelle und theoretische Grundlagen des Trautoniums. Zweiter Teil*. In: *Frequenz* 3 (1949), H. 1, S. 13ff.
- : *Das Mixtur-Trautonium*. In: *Physikalische Blätter* 5 (1950), S. 390ff.
- : *Subharmonische elektrische Klangsynthesen*. In: Winckel, Fritz (Hrsg.): *Klangstruktur der Musik. Neue Erkenntnisse musik-elektronischer Forschung*. Berlin 1955, S. 89–108.
- : *Elektronische Klanggestaltung mit dem Mixtur-Trautonium*. In: Meyer-Eppler, Werner (Hrsg.): *Gravesano. Musik, Raumgestaltung, Elektroakustik*. Mainz 1955, S. 78–88.

- Schaal, Susanne; Schader, Luitgard: Über Hindemith. Aufsätze zu Werk, Ästhetik und Interpretation. Mainz 1996.
- Schader, Luitgard (Hrsg.): Paul Hindemith. Sämtliche Werke, Band VIII, 3, Mainz 2009.
- Schenk, Dietmar: Paul Hindemith und die Rundfunkversuchsstelle an der Berliner Musikhochschule. In: Hindemith-Jahrbuch 1996/XXV, S. 179–194.
- : Die Hochschule für Musik zu Berlin: Preußens Konservatorium zwischen romantischem Klassizismus und neuer Musik, 1869–1932/33. Stuttgart 2004.
- Schenk, Stefan: Das Siemens-Studio für Elektronische Musik. Geschichte, Technik und kompositorische Avantgarde um 1960. Tutzing 2014.
- : Trautwein, Friedrich. In: Neue Deutsche Biographie 26 (2016), S. 380–382 (Online-Version). <https://www.deutsche-biographie.de/pnd117407046.html#ndbcontent>.
- Schimana, Elisabeth (Hrsg.): Maschinen für die Oper. Wien 2016.
- Schmidt, Daniela: Filmmusik von Oskar Sala. Katalogisierung, Analyse, exemplarische Beispiele. Diplomarbeit an der TU Berlin. Berlin 1990.
- Schreiber, Ernst: Ein neuartiger elektronischer Klang- und Geräuscherzeuger. In: Rundfunk und Fernsehen 1964, H. 2, S. 33.
- Schröter, Fritz: Die Glimmlampe, ein vielseitiges Werkzeug des Elektrikers. 2. Auflage. Leipzig 1928.
- Spix, Jörg: Das digitale Trautonium. Studienarbeit. Oldenburg 1995.
- : Das digitale Trautonium. Projektdokumentation bei ICMC 1994, Århus 1994.
- Stange-Elbe, Joachim: Die Bedeutung der elektroakustischen Medien für die Musik im 20. Jahrhundert. Pfaffenweiler 1989.
- Steinke, Gerhard: Mit den Ohren sehen – mit den Augen hören. Ansprüche und Wege zum optimalen Hörerlebnis. Berlin 2010.
- Stephani, Otfried: Ein Trautonium neuerer Ausführung. In: Funk 1940, H. 11, S. 167ff.
- Stuckenschmidt, Hans Heinz: Die dritte Epoche. In: Die Reihe, Heft 1 »Elektronische Musik«, Hg. Herbert Eimert, Wien 1955, S. 17.
- Stumpf, Carl: Die Sprachlaute. Experimentell-Phonetische Untersuchungen. Berlin 1926.
- Tetzlaff, Sven: Das Trautonium: Technik- und kulturgeschichtliche Aspekte der Entwicklung bis 1945. In: Bayerl, Günter; Weber, Wolfard (Hrsg.): Sozialgeschichte der Technik. Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Band 7. Münster 1997, S. 287–296.
- Teucke, K.: Aus der Entwicklung der elektrischen Musikinstrumente. In: Funk-Bastler 1933, H. 38, S. 605–607.
- Trautwein, Friedrich: Elektrische Musik. Berlin 1930.
- : Wesen und Ziele der Elektromusik. In: ZsFM Jg. 103/Teil 1 (1936), S. 694–699.
- Trendelenburg, Ferdinand: Akustik. Band 8 von Geiger-Scheel, Handbuch der Physik. Berlin 1927.
- Ungeheuer, Elena: Wie die elektronische Musik »erfunden“ wurde. Mainz 1992.
- : (Hrsg.): Elektroakustische Musik. Laaber 2002.
- Ussachevsky, Vladimir: Musical timbre mutation by means of the "KLANGUMWANDLER". Proc. 10th Convention of the Audio Engineering Society, Preprint #65, October 1958.
- Vierling, Oskar: Der Formantbegriff. In: Annalen der Physik 26 (1936) 5. Folge, S. 219–232.
- Winckel, Fritz (Hrsg.): Klangstruktur der Musik. Berlin 1955.
- Winckelmann, Joachim: Das Trautonium. Ein neues Radio-Musikinstrument. Ausführliche Bauanleitung. Berlin 1931.

Ungedruckte Quellen

- Becker, Matthias: Interview mit Oskar Sala aus dem Jahr 1992, www.originaltonwest.de (30.5.2011). Audio-Mitschnitt in Kopie beim Autor.
- Pichler, Peter: Interview mit Oskar Sala am 25.1.1996 in Berlin. Kopie beim Autor.
- Sala, Oskar: Mixturtrautonium, elektronisches Schlagwerk und elektrisches Fantasie-Orchester. Typoskript 1954, DMA, NL 218/1496.
- : 1. Brief an Paul Hindemith, 25.1.1947 und 1948. Hindemith-Institut Frankfurt/M., NL Hindemith, Signatur 3.28.2/Oskar Sala an PH/Br.m.U.-2 Bl.
- : 2. Brief an Paul Hindemith, undatiert, wahrscheinlich 12.1947 Ebd., Signatur 3.28.1/Oskar Sala an PH/Br.m.U.-2 Bl.

Trautwein, Friedrich: Gutachten über einen Zeitungsartikel des Herrn Franz Rector, Berlin-Charlottenburg, 22.X.1934. Archiv der UdK, Bestand 1/142 fol. 7–12.

Archive

- Nachlass Borowicz, Hans-Jörg: Archiv des Staatlichen Instituts für Musikforschung, Berlin. Ohne Signatur.
- Nachlass Trautwein, Friedrich: Deutsches Museum Archiv, NL 178.
- Nachlass Sala, Oskar: Deutsches Museum Archiv. NL 218.
- Nachlass Holl, Karl: Universitätsbibliothek J.C. Senckenberg der Goethe Universität Frankfurt am Main, Musik- und Theaterabteilung, Signatur: Nachl. K. Holl.
- Universität der Künste, Universitätsarchiv: Vorgängereinrichtungen, Signaturen I und Ib.
- Firmenarchiv Telefunken: Deutsches Technikmuseum, Signatur I.2.060 FA AEG-Telefunken
- Bundesarchiv (Standort Berlin): u. A. NSDAP Zentralkartei, Ortskartei, Document center Institut für sprachliche Kommunikation und Phonetik, Elektronisches Studio der TU Berlin: Mitschnitte von Rundfunksendungen, schriftliche Unterlagen

Filmdokumentationen

- Singende Maschinen. Ausschnitt aus einem Wochenschaubericht EMELKA-Tonwoche, Aufnahme durch Tobis-Melofilm, August 1931.
- Filmarchiv der Persönlichkeiten: Prof. Dr. Friedrich Trautwein. Produktion 1942 im Auftrag des Reichsministeriums für Volksaufklärung und Propaganda, Bundesfilmarchiv Sign. BSP 5891-1, Magazin Nr. 28044.
- Musikalischer Zauberkasten: Trautonium. Der Augenzeuge 1949/47, Teil 9. DEFA Deutsche Film-Aktiengesellschaft, 1949.
- Mixturen. Filmportrait des Mixturtrautoniums. Alexander J. Seiler/Rob Gnant, Stäfa Zürich, Eine Sendung des NDR 1966.
- Oskar Sala und sein Mixturtrautonium. Quarz Film Berlin, Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht, Grünwald 1985.

Ein Alchimist der elektronischen Musik. Oskar Sala und das Trautonium. Ein Film von Theo Janssen, NDR 1987.

Oskar Sala – Die vergessene Zukunft des Klanges. Oliver Rauch und Ingo Rudloff, Upstart Filmproduktion GmbH Wiesbaden, 2001.

Bildnachweis

Alle Abbildungen sind, wenn nicht anders erwähnt, aus der Bildstelle des Deutschen Museums (DMA). Es werden in diesen Fällen nur die Bildnummern angegeben.

Teil I

- Abb. 1, 2, 8, 9: Donhauser
- Abb. 3: PIX Magazin, Vol. 3, Nr. 2, 14. Jänner 1939, S.11
- Abb. 4: Trautwein, Elektrische Musik, 1930, S. 14
- Abb. 5: CD_76042
- Abb. 6: BN 59342
- Abb. 7: BN 59345

Teil II

- Abb. 1: Kestenbergs, Kunst und Technik, Abb. 3
- Abb. 2: CD_85266
- Abb. 3: CD_85324
- Abb. 4: CD_85254 (Ausschnitt)
- Abb. 5: Ausschnitt L 5053-05 (links)
Standbild aus EMELKA Woche (rechts).
- Abb. 6: L_5053_26
- Abb. 7: Radio Craft, 1933 Heft 4, S. 591
- Abb. 8: CD_L_7273_04
- Abb. 9, 10: Trautoniumschule,
DM Inv. Nr. 66487Z2
- Abb. 11: Donhauser
- Abb. 12: BN 59341
- Abb. 13: Radio Fernsehen Elektronik, 36. Jg. 1987, H. 10, S. 614
- Abb. 14: Elektrische Nachrichtentechnik Jg. 11 (1934), H. 11, S. 389
- Abb. 15: Archiv Donhauser
- Abb. 16: CD_85666
- Abb. 17: CD_76044
- Abb. 18: CD_85676
- Abb. 19: L_5053_11
- Abb. 20: CD_85676a
- Abb. 21: L_5053_31
- Abb. 22: Technisches Museum Wien Archiv, BPA-16155

Abb. 23: CD_85677
 Abb. 24: CD_85678
 Abb. 25, 27: Donhauser nach DMA
 NL218/2462
 Abb. 26: Stiftung Deutsches Rundfunkarchiv
 1402101_412533
 Abb. 28–32: Donhauser
 Abb. 33: CD_77116
 Abb. 34: Donhauser nach Patent
 Abb. 35, 36, 37: DMA NL218/2449, BN
 CD_64083
 Abb. 38: CD_72977
 Abb. 39: Stiftung Deutsches Rundfunkarchiv/
 Hartmann Kurt, Id 1483883
 Abb. 40: CD_77113
 Abb. 41: CD_64895
 Abb. 42, 43, 45: Donhauser
 Abb. 44: CD_65733
 Abb. 46: CD_65737
 Abb. 47, 48: Privatbesitz Steinke
 Abb. 49: BN_22679
 Abb. 50, 51, 52: Donhauser nach Patentschrift
 Abb. 53: Donhauser nach Sala, Mixtur-Trautoni-
 um, 1955, S. 93 und 94
 Abb. 54: CD_86742
 Abb. 55: Donhauser nach BN_22679
 (Ausschnitt)
 Abb. 56: CD_85764
 Abb. 57: Donhauser nach DMA NL218/2260
 Abb. 58: Donhauser nach DMA NL218/2250
 Abb. 59: Sala, Grundlagen, 1948, S. 320
 Abb. 60: Sala, Grundlagen, 1948, S. 318
 Abb. 61: Sala, Grundlagen, 1949, S. 15
 Abb. 62: Donhauser
 Abb. 63: DMA NL218/1489
 Abb. 64: DMA NL218/2251
 Abb. 65: CD_85252 Ausschnitt
 Abb. 66: Sala, Mixtur-Trautonium, 1955, S. 100
 Abb. 67: CD_65759
 Abb. 68: CD_65761
 Abb. 69: Donhauser nach DMA NL218/2449,
 BN IMG_2886
 Abb. 70: Sala, Mixtur-Trautonium, 1955, S. 100
 Abb. 71, 72: Donhauser nach DMA
 NL218/2449, BN IMG_2886
 Abb. 73: CD_65753
 Abb. 74: CD_65754
 Abb. 75: CD_65742
 Abb. 76: CD_85419

Teil III

Abb. 1, 2, 3, 7, 9, 11: Donhauser
 Abb. 4: Privatbesitz Dietmar Rudolph
 Abb. 5: Volker Hein
 Abb. 6: Privatbesitz Dietmar Rudolph
 Abb. 8: Donhauser nach Spix
 Abb. 10: Jürgen Hiller

Anhang

Abb. 1: CD_85303
 Abb. 2: CD_65744
 Abb. 3: CD_65745
 Abb. 4: Donhauser nach DMA NL218/2445
 Abb. 5 – 10: Donhauser
 Abb. 11: Donhauser nach Bode, Solid State,
 1965.
 Abb. 12: David J. Adamcyk, Columbia
 University
 Abb. 13: Staatsarchiv Freiburg W 134 Nr.
 121992/Willy Pragher
 Abb. 14: Donhauser nach DMA NL218/2456
 Abb. 15: Donhauser nach DMA NL218/2451
 Abb. 16: DEFA/Progress Film
 Abb. 17: IMG_2891
 Abb. 18: 2003-36_20111122_004_D0033_ND_
 CTylla
 Abb. 19: L1994-39_45275699_003
 Abb. 20: Donhauser nach Privatbesitz Steinke
 Abb. 21: CD_85689
 Abb. 22: CD_85690 (Ausschnitt)
 Abb. 23: CD_85826

Bisher erschienen

- Band 1** Dirk Bühler
Museum aus gegossenem Stein: Betonbaugeschichte im Deutschen Museum
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies1-9
- Band 2** Panagiotis Pouloupoulos
New Voices in Old Bodies: A Study of »Recycled« Musical Instruments with a Focus on the Hahn Collection in the Deutsches Museum
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies2-6
- Band 3** Hartmut Petzold
Eine Berliner Waage im Münchner Deutschen Museum: Geschichte, Hintergründe und Aktualität eines Museumsobjekts
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies3-2
- Band 4** Astrid Mignon Kirchhof (ed.)
Pathways into and out of Nuclear Power in Western Europe, Austria, Denmark, Federal Republic of Germany, Italy, and Sweden
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies4-8
- Band 5** Walter Chinaglia
Towards the Rebuilding of an Italian Renaissance-Style Wooden Organ
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies5-4
- Band 6** Wilhelm Fößl (Hrsg.)
Von Ingenieuren, Bergleuten und Künstlern. Das Digitale Porträtarchiv »DigiPortA«
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies6-1
- Band 7** Andrea Geipel, Johannes Sauter, Georg Hohmann (Hrsg.)
Das digitale Objekt – Zwischen Depot und Internet
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies7-7
- Band 8** Charlotte Holzer
Das Kleid aus Glas: Eine Restaurierungsgeschichte im Deutschen Museum
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies8-3>
- Band 9** Elisabeth Vaupel
Ersatzstoffe im Zeitalter der Weltkriege
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies9-0
- Band 10** Gun-Brit Thoma, Lorenz Kampschulte, Inga Specht, Doris Lewalter, Stephan Schwan, Olaf Köller
Wer geht in welches Museum? Vergleichende Besucherstrukturanalyse in den acht Forschungsmuseen der Leibniz-Gemeinschaft
urn:nbn:de:bvb:210-dm-studies10-7

