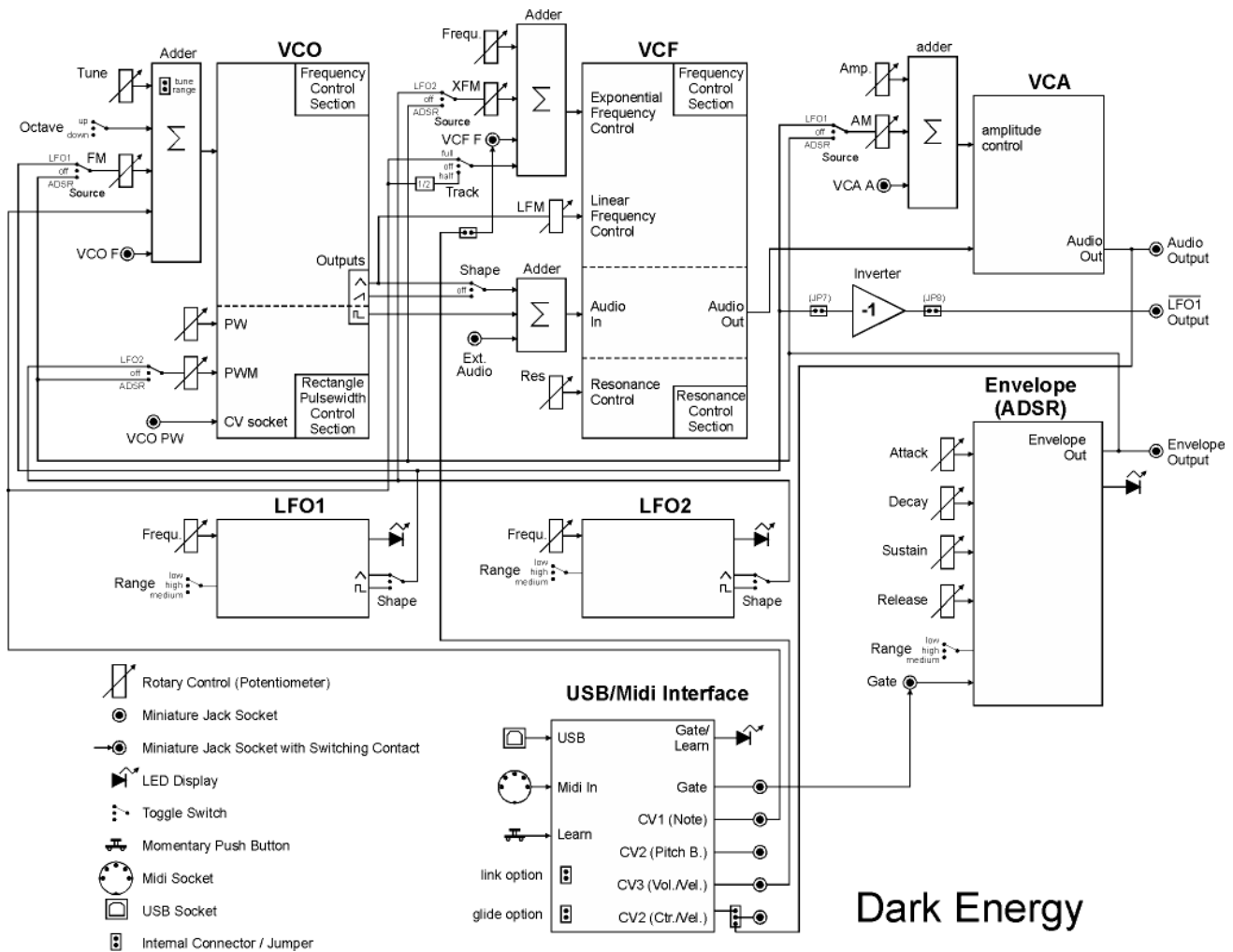




Elektronik – Mikrocontroller - Programmieren – Netzwerktechnik und Musik

Das sehr sehr große und sehr interessante Technotop der elektronischen Musik speziell und auch allgemein der heutigen Musik (2015) und den dazugehörigen Techniken bietet uns eine sehr gute Möglichkeit, Grundlagen in verschiedenen Fachgebieten zu erarbeiten, die wir dann problemlos auf andere Anwendungen übertragen können. Was wir automatisieren, ist total egal für eine Übungsfirma. Wir nehmen wie im Jazz ein Vehicle und legen los.



Quelle: Doepfer



Beispiele:

- Nachrichtentechnik und Signalverarbeitung
- Netzwerktechnik
- **Programmierung und Computer allgemein!!**
- Mathematik und Musik sind „Eins“
- Fourier- Synthese und Analyse (Kabel)
- Neuronale Netze
- Digitaltechnik
- Mikrocontrollertechnik
- Automatisierungstechnik
- Steuerungstechnik
- Elektronik und Elektrotechnik mit Elektromechanik (s. [Doepper](#))
- Physik → Sensortechnik
- Usw. usw. usw.
- Analog Elektronik (müssen wir zum größten Teil außen vor lassen, da ich zu wenig Erfahrung habe)

Wie immer „erfahren“ wir das weitere beim „Tun“!!

Motivation 1: → Wie spiele ich [Musik auf Diskettenlaufwerken?](#)



[Rammstein](#): "Engel"



Und noch ein paar andere Links

[House oft the Rising Sun](#) (Old School)

[Musik Automat 1](#)

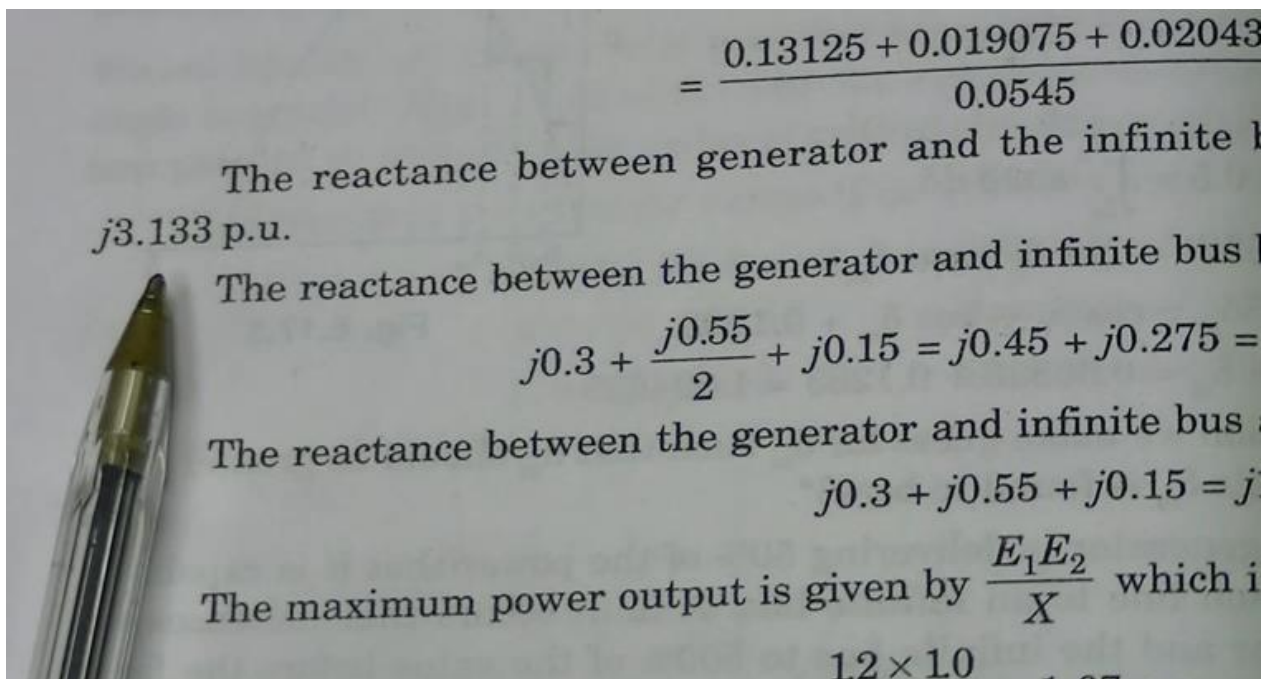
[Robot 1](#)

[Robot 2](#) - Marilyn Manson

[Super Mario mit Schrittmotor](#)

[Singende Tesla Spule](#)

[„Laut“ Sprecher](#)



Komplexe Zahlen kennen wir schon

[Mikrocontroller und Musik](#) mit Papagei

[Sensortechnik](#)

AA 1: ➔ Suchen Sie selbst nach interessanten Links und senden sie mir per email zu. Nicht jeder einzeln. Sortiert und dokumentiert.

The proof is in the pudding (Probieren geht über Studieren)

<https://www.youtube.com/watch?v=fLvtvH9BZ04> (Physik)



1 Einführung in die elektronische Musik



Klang durch Synthese von Elementarsignalen

→ Komplexe Schallreize können in ihre einfachsten Teile aufgelöst werden ([Georg Simon Ohm \(1787-1854\)](#))

1. Klangsynthese (Physical Modelling)

Stimmgabeln erzeugen künstliche Klänge verschiedener Klangfarben! (Helmholtz)

→ Die Klangsynthese wurde immer mehr ausgebaut! s.a. [Stylophone](#) [Unisynth](#) usw.

Heutige Klangsynthese: = Sinusschwingungen + Impulse (diese nennt man Elementarsignale)

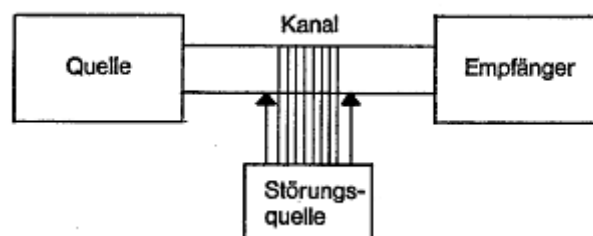
→ s.a. [Medizin-Elektronik](#)

→ Herzschrittmacher ([Sinusbeat-EKG](#))

Klangerzeugung durch Analyse von Rauschen

Akustische Signale kann man aber auch **durch Analyse künstlich gewinnen**.

→ [Nachrichtentechnik](#) → [Rauschen](#) gibt es immer, wann und wo immer Signale an einen Empfänger übertragen werden.



Den Empfänger nennt man auch Senke. Die Abbildung zeigt das Schema eines Übertragungssystems. Die Übertragung erfolgt durch eine Kette (Kaskade) hintereinander geschalteter Übertragungssysteme. Eine Quelle produziert ein Signal bzw. eine Signalfolge, die über einen Kanal zum Empfänger gelangt. Im Kanal erfahren die übertragenen Signale Störungen (Rauschen), so dass die übermittelte Information am Ausgang derjenigen am Eingang nicht gleich zu sein braucht.



Im Hintergrund haben wir immer Störgeräusche,

- ob wir Reden im Freien, im Konzertsaal sind, oder Fernsehen sie sind immer da

- ➔ Bestreben dieses Rauschen möglichst gering zu halten
- ➔ Heute können wir das Rauschen in jedem beliebigen Grad abbauen!!

⇒ wir können aus vollkommenem Rauschen jedes beliebige Signal durch Analyse gewinnen!

- S.a. ➔ Umwelt ➔ Lärmbekämpfung!!

Schon 1906 ➔ [Thaddeus Cahill](#) ➔ mechanisch elektrische Orgel 200 t schwer

Thaddeus ➔ Nachfolger = Hammond Orgel ➔ s. www.synthmuseum.com

[youtube](#)

➔ [Feruccio Busoni](#) [youtube](#)

Neo-Bechstein-Flügel ➔ wiki ➔ youtube

[Edwin Welte](#) ➔ [Lichtorgel](#) – 1930 Freiburg i. Brsg. [Welte Mognon](#)

- [Baldwin-Orgel](#) - s.a. Gibson Gitarren [wiki](#)
- [Trautonium](#) Oskar Sala Musiker und Konstrukteur [Trautonium2](#) Friedrich [Trautwein](#)
- [Ondes Martenot](#)



- [Artur Honegger](#) ➔ [youtube](#)
- [Oliver Messiaen](#) ➔ [youtube](#) [Aussprache](#)

1920 [Léon Theremin](#) ➔ [Instrument](#) [youtube](#) [Arduino1](#) Theremin = Aetherophon ➔ wiki

1920 entsteht also das Ätherophone oder auch *Termenvox* durch den 24-jährigen Ingenieur Lew [Sergejewitch Termen](#) der noch später in russischer Gefangenschaft die [Wanze](#) erfinden wird. Er verwirklichte seinen Traum von einem Instrument das sich nicht der mechanischen Einwirkung der Hände unterordnet sondern auf deren freie Bewegung im Raum reagiert. Die linke Hand steuert dabei die Dynamik - die Rechte die Tonhöhe. Die Erzeugung eines hörbaren Tones erfolgt durch die Überlagerung von zwei hochfrequenten nicht mehr hörbaren Tönen.

[Wanze 1](#) ➔ wenn das keine Elektronik ist!!



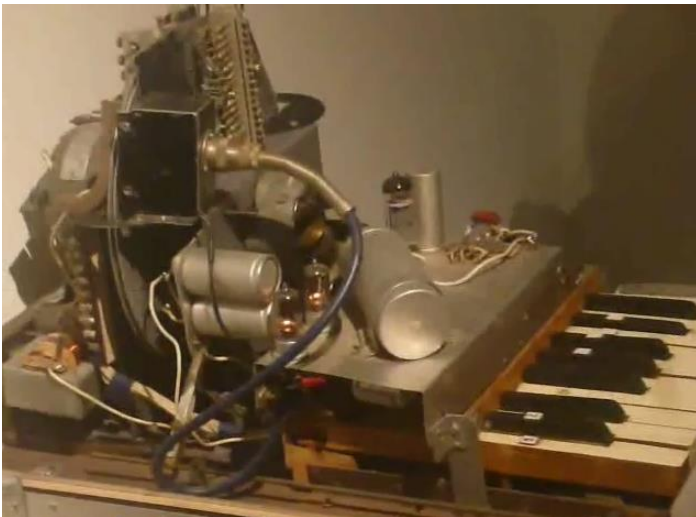
In den USA wird das Termenvox produziert und wer am Klang interessiert ist sollte sich neben den Kompositionen speziell für das Termenvox doch einfach [“Whole Lotta Love”](#) von Led Zeppelin oder den Film [“Psycho”](#) ansehen. Weitere Erfindungen Termens sind das [Cello ohne Saiten](#) und das [Rhythmikon](#) ein Instrument welches hohe [Frequenzen](#) mit komplexen rythmischen Mustern kombiniert und **damit die erste Rhythmus-Maschine der Welt** darstellte.

ZEP – Live [Whole Lotta Love](#)



Jimmy Page

[Theremincello](#)



[Rhythmikon](#) → erste Rhythmusmaschine der Welt

[Rhythmicon 2](#)

[Rhythmikon Nord](#)

[Zusatz](#)

[Namm 2015](#)

[Koma](#)

Eigene Notizen:



Elektroakustik → Musik 20. Jahrhundert

→ Tiefgreifende Wandlung des Musiklebens!

- Elektronenröhre
 - Mikrophon
 - Schallplatte
 - Magnetband
 - Überwindung der Zeit war möglich
 - Bindung an Ort und Zeit fiel weg!
- Entstehung der elektronischen Musik
- Zeitgenössische Musik
 - Kunst
 - Happening war dadurch möglich !!

Von der Aufführung zur Reportage two way

Gespräche Mensch → Senden → Empfangen

Akustischer Signale zweiwegig Kommunikationskette

Also: Musiker <-> Publikum

Die Aufführung war früher an Ort + Zeit gebunden!

Hier und Jetzt

Heute kann man sie übertragen!! → NWT Internet

Nur die Antwort kennt man nicht!! Als Musiker 2015?????

Wir haben ein System der Fernübertragung heute Interaktion!!

Naja, beim Telefon geht das. Fernsehen??? Sind sie chom????????sonst one way

Was er, der Zuhörer miterlebt am Radio ist nicht die Aufführung, sondern eine Reportage!

Reportage=berichten, melden

B i l d

Von der Aufführung zur Reproduktion und zur simulierten Aufführung

Musik konnte schon immer grafisch gespeichert werden!

Notenschrift Afrika



- Verbale Weitergabe gut! Da organisches Lernen notwendig.

Bild

- CD liefert also nur die Reproduktion der Aufführung (der Live-Aufnahme) → ??
Studio → unendliche Möglichkeiten

????????????????????

Industrie + Kunst? Max=Min!!

Optik ist heute enorm wichtig!

Beamer!! Etc.

Medien! SPDx-edms, Anschluss für Programieren online!

Bild

Stellt Künstler vor Probleme! Das sagt der Maler Ingres schon über Photographie!

„Jetzt will man die Kunst und die Industrie mischen. Die Industrie soll aber an ihrem Platz bleiben und soll sich nicht auf der Treppe unserer ApollonSchule ansiedeln!“

Industrialisierung und Musik

Internet → alle haben Zugang zur Musik!!

Nicht mehr im Konzert entsteht der Kontakt zur Kunst

→ Internet.... Das Ja und Nein von „Millionen“ zählt!!

Bild

Herzstück bleibt aber Live-Musik→ also für Musiker auf jeden Fall!

Reportage + Reproduktion nimmt der Zuhörer von heute als Vergleich!

→ Neue Spielort der Aktivität des heutigen Zuhörens!!
Sein „Mitwirken“ in der Gemeinde, seiner Teilhabe am Wagnis der Aufführung empfindet er als Verlust und kompensiert diesen auf diese Art.



→ Strukturwandel der Musik wie bei den heutigen Kirchen

Seiner Natur widersprechende Verwendung des Musikinstrumentes:

Feedback (Rückkopplung) = wichtiger Begriff für den gewaltigen Strukturwandel

Antwort des Zuhörens = Rückführung

B i l d

Rückkopplungssystem:

Systemengineering

Systemtheorie!!

Ok: Ich alleine mache Musik (um ca. 1890) → also vor Prinzip Tonband 1899

B i l d

Nirgends hat er eine Anzeige für

- Bogen??????
- Atem
- Fingerdruck
- Bogengeschwindigkeit
- Treffpunkt des Fingers

→ Also kein akustisch visuelles Feedback für das Lernen!! s.a. Medizin: Bio-Feedback

Jetzt, mit der Möglichkeit das eigene Spiel aufzuzeichnen verändert sich die Situation Tonband 1928 vorher 1899
Prinzip

Tonband → Rückkopplungskette? Jetzt

B i l d

Vor dem Mikrofon also im Studio zu spielen muss man Lernen

- Klangliches Endergebnis erst nach Abmischen ! + Kontrolle des Musikstückes

B i l d



Jedes Musikinstrument ist auf das eine Ziel hin konzipiert:

Live gespielt zu werden!

Die Antwort des Komponisten

Experimental music

Internet → gewaltige gesellschaftliche Umschichtung

→ Stellung Komponist + Hörer wandelt sich gewaltig

- Lully (Jean Baptiste)
- Conperiule Grand
- Haydu wandten sich an eine geschlossene Gesellschaft
- Wagner
- Diagliliw Sergei

→ Ihm gelang dies das ?????mal eine Gemeinde!!
Gleichgesinnter

Heute: Wohnzimmer-Konzerte (Jazz, oder Studio Konzerte → Sparky Puppy-We like it here

An wen wendet sich der heutige Komponist?

Der pluralistischen Gesellschaft- vielfältig gesellschaftl. Kräfte
Keine zentrale Macht

Komponist – Verhältnis zur Tradition?

- Vererbtes unter völlig veränderten Umständen weiter
führen?
- Probleme über Probleme
- Experimental music

1948-Piere Schuffer → musique concrete – Klänge, von Geräuschphänomene
????? auf Tonband gespeicherter Klang – und

→ Material = die ganze Vielfalt des Schallenden dem sie
vori?????? + modifizierend neue Gestalt verleiht

Konkret: = ihre Substanz, die Ergebnisse aber, aus Technik und gestaltender Willkür künstlerischer Phantasie ergeben
eine neue Dimension, wie es im Schauspiel der Film eröffnete.

→ 1950 Pierre Henry -> O.R.T.F
USA – Edgar Varese → präpariertes Klavier von John Cage!! = Musiker + Ingenieure
→ 1952 -> Electronic Music Center of Columbia +

Prination University



Vladimir Ussachervsky
Otto Luening

→dann Computerversuche (University of Illinois Experimental Music Studio (Urbana))

Parallel zu dieser amerikanischen Schule in Europa → serielle Musik



Ausbildung des musikal. Indeterminismus????? –

Indeterminismus

Geschehen nicht (oder nicht nur) durch kausale Faktoren bestimmt! – zum Determinismus

Aus ihr entstand die tape music -> s. wiki Electroacoustic music

Centre de composition de musique contemporaine – wiki

NWDR – Köln 1953 → Jetzt: elektronische Musik



Gründer

Studio für elektron. Musik – Köln Herbert Eimert ->

s.a. Klänge werden durch Verwendung elektronischer Verfahren produziert + verarbeitet

Max+?????



– Werner Meyer-Eppler

Wegbereiter

-

Fritz Winckel

Jetzt sofort interessant für die jüngeren Komponisten

-

Karlheinz Stockhausen

-

Karel Goeyvaerts

dann ein Jahr später

-

Paul Gredinger

-

Giselher Klebe

-

Gottfried Michael Koenig

-

Altmeister Ernst Krenek

Jetzt auf der ganzen Welt:

1954/55 Brüssel (Henry Pousseur)

Tokyo (Toshiro Mayuzumi)

Mailand (Luciano Berio u. Bruno Maderna)



danach

Genf: Centre de recherches Sonores de la Radio Suisse Romande



Gründer: Andre Zumbach

H.H. Stuckerschicht s.wiki

→ Es war als stiegen aus dem Reich des Mineralischen tönende Projektile empor in die Menschenwelt.

- Metalle singen
- J????? Formen die die Spirale werden zu Klang
- Kettenreaktion von ineinanderschließenden
- Sinnesausdrücken
- Eine drohende Über- oder Unterwelt der
- Assoziationen

Allgemeines:

Produktion elektronischer Musik

Elementarsignd Leid Rauschquelle Umformung Vom Komponisten gewünschte
Informationen

Elektronischen Komposition → Klangwerdung → Umformungsprozeß = wird Technik der
elektronischen Musik genannt

Umformung früher im Studio für elektron. Musik

Heute am Laptop → May, Puredata, Ableton Lire CLabview

Techn. Aufgabe: = Verfahren finden, mit dem man die gewünschte Umformung erreichen kann modular Doepter
←oder→ Sampler Live -> eigene Sounds für Synth

Hörempfindung und Signal

Simston hat Lauheit und Tonhöhe, sonst aber nichts anziehendes für die Musik!

Monoton → „m“ → Sprachlaut B i l d

Eintönig

Trotzdem für den Komponisten von großem Wert, aus ihm kann man das ganze Reich akustischer Erscheinungen
aufbauen, harmonische Schering

f und T kann man messen!!

Elektronische Musik:

Heißt, Komponist muss seine Klangvorstellungen durch die messbaren Größen des elektrischen Signals ausdrücken!

→ Wir müssen die Maßeinheiten kennen!!

f → Hz 1/sek auch als cps=cycles per second

A = Amplitude in Volt besser aber 0/ → 00 Dezibel!!



0/dB = ' der Spannung, bei der die max. Amplitude ohne Verzerrung gewährleistet ist! Amplitude + Frequenz kann man durch eine Spektrallinie darstellen. B i l d

Zu einer TAR gehört eine Online-Dokumentation!

Elektrisches Signal, Schall und Hörerempfindung

B i l d

Sinusgenerator

→ = RC-Generatoren Schwebungssummer
(Oszillatorschaltung Wiki) Wobbelgenerator Wiki, dann VCo's heute s. Microcontrollernet B i l d

Phon → Dezibel etc. s. Wiki Kammerton a

→ ff, f, mf, p + ppp = ' dB → 0, -6, -12, -18 und -24
Supoposition von Sinus → Rechtecksignal s. Java Bsp. → Applet

Fourier:-Reihen (Synthese + Analyse) B i l d

Sinusschwingungen können zu periodischen Schwingungen jeder beliebigen Kurvenform zusammengesetzt werden.

= Synthese B i l d

→ zusammengesetzte periodische Schwingung kann
durch eine Vielzahl von Spektrallinien wiedergegeben und ??????? Amplituden-
Frequenzverhältnis ????? werden.

= Spektrum der periodischen, d.h. zeitsymmetrischen Rechteckschwingung B i l d

Amplituden nehmen im selben Verhältnis ab!

Das kann den Eindruck erwecken, als würden wir eine Vielzahl von gleichzeitig erklingenden Sinustönen darbieten.

→ weit gefehlt!!!!

B i l d



Was dem einzelnen Sinuston abgeht, tritt bei der Zusammensetzung von Sinustönen zum Klang in Erscheinung:

Die Klangfarbe



S??? Bild

Der Klang

Zwischen den Spektren zusammengesetzter Schwingungen und den von ihnen erregten Klangfarben-Empfindungen können Zusammenhänge beobachtet und geordnet werden.

Techniker → fragt nach messbaren Eigenschaften

Musiker → nach hörbaren (Hörempfindung)

Des physika.. Signals

Aber bei elektron. Musik unerlässlich nach beiden Seiten zu blicken.

Komponist muss nach Hörempfindung und Signal fragen! Dann dringt er allmählich in die Technik der elektron. Musik ein!



Wissen u. Erfahrung



Musikal. Ideen können aus jenem Material geformt

werden, mit welchem er arbeitet!

Bild S. 43

Klang wird oft mit Akkord verwechselt!

Klang # Akkord

Einzelner Ton mit ganz bestimmter ????

Klangfarbe! Minimierung 3-Klang 3erTöne oder Klänge mit
Unterschiedlicher Tonhöhe

Wehmütige Klänge 1 Alphorn Bläser

3 Alphorn Bläser → vereinigen die Klänge ihrer Hörner zu muntereren Akkorden

3 Sinusföne verschiedener Tonhöhe → magerer Akkord wenn alle gleiche Lautheit haben.

Lautheit u. 2er dieser Töne langsam verringern (die beiden oberen), dann hört Ohr bald nur noch den unteren Ton alleine. Dieser hat jetzt aber eine Klangfarbe, die er wieder verliert wenn die übrigen beiden Töne ganz unterdrückt werden.

Akkord geht also über → zum Klang

Und verödet also schließlich zum Sinuston! Bild S. 44

Bei welchen gegenseitigen Lautheitsverhältnissen der Akkord zum Klang wird, ist nicht leicht zu sagen! → fließender Übergang



Abhängig von

– relativer Lautheit der Teiltöne

- worauf der Hörer seine Aufmerksamkeit richtet

tiefer Klang einer Klarinette → drohende Düsternis und doch zerfällt der Klarinettenklang bei analysierendem Hinhören sehr leicht in einen Akkord aus. Grundton, 2. Und 4. Oberton

Klangfarbe kann auch als Gestalt, bald als Zusammenklang verstanden werden!!!

Bild 1 S. 45

Den Klängen vieler Musikinstrumente liegen Spektren zugrunde, deren Frequenzen im gegenseitigen Verhältnis kleiner ganzer Zahlen liegen (s. Mathematik)

Dieses Verhältnis nennt man harmonisch, → harmonisches Spektrum und nennt dessen Teilfrequenzen, kurz, die Harmonischen (Ordnungszahl der Oberschwingungen bzw. Obertöne + 1 = Ordnungszahl der Harmonischen (Bild 2 S. 45)

Auch Klangempfindungen, welche das Signal mit harmonischen Spektrum erweckt, nennt man harmonische → harmonischer Klang

Könnte die Empfindung der eben so gut als rein, klar und sehend beschreiben!

Unharmonische Klänge aus Sinustönen zusammengesehen, bedarf es in erster Linie sehr reiner harmonischer Frequenzverhältnisse.

Vom bloßen Ohr → Sinustöne im Einklang und der Oktave sehr genau möglich, da Schwebungen auftreten und sich dann verlieren bzw. äußerst langsam werden (Gitarre stimmen), wenn das reine Intervall erreicht wird.

Für weitere harmonische Frequenzverhältnisse aber reicht das Ohr nicht aus. → Hilfsmittel notwendig!! Technik → quartzgenaue Generatoren und Frequenzzähler mit digitaler Anzeige!!

Lissajoes Figuren!

- Wiki
- harmonograle (mechanisch)
- puredaten → you tube!!
- Oscilloscope music



Mit ihnen kann man zwei elektrische Sinusschwingungen äußerst genau in harmonischen Frequenzverhältnissen aufeinander abstimmen.

Bild

s. Grafik S 47

Piano-roll Waldkirch → kaufen!

Die L.F. geben keinen Aufschluss über die absoluten Werte der Frequenzen. Es sind nur gegenseitige Verhältnisse. Das ist aber für den Aufbau harmonischer Spektren von entscheidender Bedeutung.

Wenn die Frequenzen der Sinusschwingungen einmal auf die harmonischen Verhältnisse

1:2:3:4:5 genau abgestimmt sind, so läßt sich durch Veränderung der Amplitude der einzelnen Harmonischen jede aus diesen Teilschwingungen denbare Zusammensetzung eines harmonischen Spektrums synthetisch herstellen.

→ Wir können dann die erregte Klangempfindung untersuchen!

- Unendlicher Reichtum!!!!

Schauen wir uns 3 Stück an, die wir als vertraut voraussetzen können.

- 2. Harmonische fehlt, oder alle gerader Ordnungszahl → Klarinettenartiger Sound
- 5. Harmonische tritt amplitudenstark hervor → hornartiger Klang
- 7. Harmonische = charakteristisch → Zungenpfeifenartiger Klang

Alle 3 enthalten die erste Harmonische sie???? Stets die größte relative Amplitude

Bild

Vom Ohr wird sie am lautesten gehört und bestimmt deshalb die Tonhöhe, die übrigen Harmonischen geben den Klang die charakteristische Färbung.

Wenn die erste fehlt und wir der 2. dafür die Größte und der dritten die zweitgrößte Amplitude gibt, so produziert das Ohr eine subjektive (besser an???) 1. Harmonische und man hört wieder eine Tonhöhe die der ersten entspricht obwohl im Signal nicht vorhanden!

→ Differenzton

Nutzen Orgelbauer für die Erzeugung sehr tiefer Klänge, die man sonst nur mit waben Monstern?? Von Orgelpfeifen hervorbringen könnte. (akustische Register)

Bild

Mit nach der Tiefe stark abnehmenden Amplituden haben die Klangfarben von Glockenspielen. Ihre Tonhöhe wird durch den höchsten Teilton bestimmt.

Bild S. 48

Erweitern wir das Spektrum besonders durch die ungeraden Teilschwingungen

1/7:1/9:1/11 nimmt der Klang der Farbe von

- Metallplatten
- G???
- Und dergleichen an!

Die harmonischen Teilfrequenzen ist allen Klängen gemeinsam! Auch die Konstanz ihrer Amplituden-Verhältnisse im zeitlichen Ablauf.

Harmonische Klänge sind ihrem Wesen nach zeitlos stationär. Sie sind akustische Tonhöhen – und Farbzustände von ewig schöner Langeweile und werden vom Ohr recht bald vergessen.



Bild S. 49

Die Schwebung

Auch der Sinuston ist zeitlos: Von konstanter Lautheit und Tonhöhe, bleibt er im zeitlichen Ablauf unverändert. Wird ihn aber ein zweiter Sinuston beinahe im Einklang beigelegt, so verwandelt sich das Bild.

Bild S. 49

Jetzt hören wir nicht zwei, sondern einen einzigen Ton, dessen Lautheit im zeitlichen Ablauf periodisch schwankt. Der Ton verliert seine Zuständigkeit, wird lauter, dann wieder leiser (verschwindet vielleicht ganz) um von neuem anzuschwellen und den Vorgang periodisch zu wiederholen. Das kann man auch bei Klängen beobachten. Klang einer Klarinette zeigt periodische Laufheitsschwankungen, sobald eine zweite Klarinette (nicht ganz) im Einklang mit einstimmt.

→ Derartige Empfindungen werden durch zusammengesetzte periodische Schwingungen ausgelöst!

Bisher blieb die Amplitude immer konstant, nun verändert sie sich aber periodisch!

Schaukel: als Beispiel S. 50 Abb.

→ Periodische Verschiebung der Phasen!

Mit Superposition erhalten wir eine zusammengesetzte Schwingung mit periodischer Veränderung der Amplitude!

Diese nennt man Schwebung → Simulation mit Pure-Data! Amplitudenmodulation der Schwebung!

Bild

3 Empfindungsbereiche sind deutlich unterscheidbar.

1. Sind die Tonhöhen beider Sinustöne genau dieselben, so hören wir einen einzigen Sinuston von konstanter Lautheit und Tonhöhe
Bei der geringsten Abweichung aber beginnt die Lautheit periodisch ab- und wieder zuzunehmen
→ Bei 2 ./ . Schwebungsperioden/??? am deutlichsten

Bei Leisewerden ist der höhere, beim Lauterwerden der tiefere Ton zu hören – auch periodisch

2. Bei 6 ./ .7 Perioden/sek hören wir weder Zu- noch Abnahme der Lautheit, noch die beiden alternierenden Tonhöhen unterscheiden, wir hören die Schwebungsperioden als Folge von Stößen!
Bei der selben Frequenz nennt man das „Wobbeln“ genannte Steigen und Fallen der Tonhöhe einer nicht mehr einzeln gehört, sondern als Vibrato empfunden. → Schwebung + Vibrato kann gehörmäßig oft schwer auseinanderhalten.
3. Wenn fsch ?? können wir, also das Ohr, schließlich auch die Stöße nicht mehr einzeln unterscheiden. Übrig bleibt eine Empfindung, die man als Rauheit beschreiben kann. Abb S. 52 untersuchen s. die Tabelle mit Pure Data.

Rauhe Klänge, geräuschhafte Klänge und Geräusche

Schwebung sind von entscheidenden Einfluss für den Aufbau von Klängen + Geräuschen aus Sinustönen.

Rauheit

Sowie der Hauch den Spiegel trübt, so trübt die Rauheit zwischen amplituden-starken Teil tönen den Klang!



Harmonische Klänge machen da keine Ausnahme

Bsp. Hören $f=210\text{Hz}$ (Sinuston)

$f=252\text{Hz}$ leise beifügen!

Verhältnis = $210:252 = 5:6$ = kleine Terz

Der Ton nimmt eine Raue Färbung an und wird zum rauen Klang. Je weiter sich das Spektrum 2er harmonischer Klänge von Frequenzverhältnis kleiner ganzer Zahlen entfernt umso rauer wird der Klang.

Stöße und Schwankungen von Lautheit und Tonhöhe zwischen seinen Teiltönen durchbeben den Klang und geben ihm eine periodische Veränderung im zeitlichen Ablauf, die umso gewaltiger wird, je zahlreicher und dichter man die Sinustöne zusammensetzt.

In wachsender Zahl entstehen Schwebungen, die einander gegenseitig beeinflussen.

Am Signal mehrerer Sinusschwingungen gleicher Amplituden und verschiedenen Frequenzen, die enger als etwa 30 Hz beieinanderliegen, lässt sich dieser Sachverhalt darstellen.

Sind die Frequenzen alle gleich, so sind es auch die Frequenzen der Schwebungen zwischen zwei benachbarten Sinusschwingungen und es entsteht ein Signal mit periodisch modulierter Amplitude von derselben Modulationsfrequenz, wie die Teilschwebungen sie aufweisen!!

s. folgende Abb. S. 55 (a,b, und d)!

Auch zwischen den nichtbenachbarten Teilschwingungen entstehen Schwebungen, der Frequenzen aber stets ganzzahlige Vielfache der Schwebungsfrequenz zwischen den benachbarten Teiltönen sind, s.obige Abb. C und daher die Amplitude, aber selbst bei Verschiebungen der Phase niemals deren periodischen Ablauf in Frage stellen.

➔ Derartige Signale erregen die Empfindung eines rhythmisch gegliederten Klanges! (Meyer-Eppler)

Ganz andere Verhältnisse entstehen, wenn Sinustöne mit ungleichen Frequenzabständen kleiner 30 Hz zusammengesetzt werden.

Bild S. 56

Es entstehen gleichzeitig Schwebungen mit ungleichen Schwebungsfrequenzen, die bereits dann, wenn sie in harmonischem Verhältnis zueinander stehen, ein Signal mit sehr komplexen Amplituden-Modulations-Perioden ergeben, bei irrationalen???? Schwebungsfrequenz-Verhältnissen aber die Periodizität der Amplituden-Modulation völlig zerstören.

Derartige Signale erregen die Empfindung eines geräuschhaften Klanges, der umso mehr dem Geräusch zustrebt, je dichter das Spektrum mit Sinustönen ausgefüllt ist.

➔ Musikalisch ist die reiche Modulation geräuschhafter Klänge von hohem Wert.

Ihr verdanken chorisch besetzte Instrumental- und Vokalgruppen????? Weichheit und schimmenden Glanz.

Finden sich Sinntöne wie sirrende und brummende Insektengruppen in wachsender Zahl zu immer größerer Schwärmen zusammen, so werden Modulationen des Signals zusehends reicher und sein Frequenzband breiter und breiter!

Abb. S. 57

Erreicht wird schließlich jener Grad, bei welchem das Frequenzband den ganzen menschlichen Hörbereich überdeckt und die Modulation der Amplituden-Frequenz-Verhältnisse im zeitlichen Ablauf nach rein statistischen Gesetzen geschieht.



Damit ist der Vorgang zum Zustand geworden, und die integrale Synthese aller hörbaren Sinusschwingungen bildet jenes Signal, welchen die Empfindung des

→ Weißen, Gauß'schen Rauschens

ist.

s.a. Gehirn! Grundrauschen!

→ Wieso das Gehirn ein Grundrauschen hat, weiß niemand. „neutrales Rauschen“

B i l d

Das weiße Rauschen (Zufall) Random

Hörempfindung und Signal

Weißes Rauschen klingt wie der Wasserfall, dessen immerwährendes, monotones Rauschen die Anwohner längst vergessen haben.

Es ist eine akustische???? Ursubstanz, die den ganzen menschlichen Hörbereich gleichmäßig ausfüllt.

Die Empfindung des weißen Rauschens wird durch Gauß'sches?? Rauschen erregt.

Darunter ist jenes physikalisches Signal zu verstehen, dessen Spektrum sich in seinen Amplituden-Frequenz-Verhältnissen im zeitlichen Ablauf ständig nach vollkommen statistischen Gesetzen verändert!

Es wird erzeugt mittels eines Generators für Gauß'sches (weißes) Rauschen (RG).

Blockschema S. 58

Synthese und Analyse (Fourier)

Gleich wie aus dem Sinuston durch Synthese (Zusammenbau) → s.Java Applet) die gesamte Klangwelt aufgetaut werden kann, so lässt sich das weiße Rauschen durch Analyse (Zerlegung) abbauen bis zum Sinuston.



Anhang

Hörtheorien von Platon bis heute

Schon in der Antike hat die Leistungsfähigkeit des menschlichen Ohres die Aufmerksamkeit der Denker und Forscher auf sich gezogen. [Platon \(428-348 v.Chr.\)](#) beschrieb die Hörfunktion so: Schwingungen der Luftmoleküle treffen auf das Trommelfell und gelangen durch den Gehörgang in den Körper. Dort versetzen sie die Leber in Schwingungen, welche das Hören ermöglicht (Timaios, 29, Platons, sämtliche Werke übers. V. H. Müller, Leipzig 1857). [Garbriello Falloppia](#) beschrieb 1562 die Cochlea als spiralförmig gewundenes Labyrinth aus Knochen, Knorpel und Haut (Observationes anatomicae, Ulmus Venetiis). Faloppia nahm an, dass die in die Cochlea eingepflanzte Luft - die ja nach Platon als unentbehrlich für das Hören galt - die weit verzweigten Ausläufer des Hörnerven wie ein Saiteninstrument in Schwingungen versetzt. Diese Theorie vertrat auch noch 200 Jahre später der **Komponist** [Jean Philippe Rameau](#) (Erzeugung des Wohlklanges oder theoretische und praktische Abhandlung über Musik. Prault, Paris, 1737). Er schieb:

Was über **die klingenden Körper (Musikinstrumente)** gesagt wurde, muss gleichermaßen gelten für die Fasern (Hörnerven), die den Boden der Schnecke (Cochlea) des Ohres ausfüllen. Diese Fasern seien ebenso klingende Körper, auf die **die Luft ihre Schwingungen überträgt** und von wo die **Empfindung für Töne und Harmonie zur Seele** geleitet wird. Das Experiment von [Philipp Friedrich Meckel \(1724-1774\)](#), beschrieben in seiner Disseration "De labyrinthi auris contentis", widerlegte die über 2000 Jahre währende Theorie von der eingepflanzten Luft als **Nachrichtenträger zum Gehirn**: In einer Frostnacht löste Meckel aus einem Leichenschädel das Felsenbein heraus und stellte beim Spalten des Felsenbeines fest, dass die Cochlea mit einer gefrorenen Flüssigkeit angefüllt war. Mit Hilfe eines **hoch auflösenden Mikroskops** untersuchte der italienische [Graf Alfonso im Jahre 1851](#) das Innenohr (W. Kley: Alfonso Corti (1822-1876) - discoverer of the sensory end organ of hearing in Würzburg. In: J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec. 48 (1986)) und sah als erster Mensch die feinen Hörsinneszellen, die inneren und äußeren Haarzellen, die auf Stützzellen aufsitzen und zwischen der Deckmembran (Tektorialmembran) und Basilarmembran platziert sind. Da die **Elektrizität durch** [Alessandro Volta](#) (1745 - 1827), [Luigi Galvani](#) (1737-1798) und **Georg Simon Ohm (1787-1854)** bereits entdeckt war und sich die Nervenfasern mit den Froschexperimenten von Galvani als elektrischer Leiter erwiesen, wurde **klar, dass die Nachrichtenübertragung zum Gehirn nicht mechanischer, sondern elektrischer Natur ist. Heute wissen wir, dass in den Sinneszellen des Hörorgans ein Transduktionsprozess stattfindet, bei dem die durch den Schall erzeugten mechanischen Schwingungen des Cortischen Organs in elektrische Impulse (Aktionspotentiale) auf den Hörnervenfasern umgewandelt werden.** Je nach der Zusammensetzung des Schallreizes entstehen bestimmte Schwingungsmuster auf der Basilarmembran. Daraus folgen bestimmte Erregungsmuster in den Sinneszellarealen entlang der Cochlea, in den zentralwärts ziehenden Nervenfasern und in den angeschlossenen Projektionsfelder des auditiven Cortex. Die Kodierung der Schallfrequenz betreffend entwickelte der **Physiker und Arzt** [Hermann von Helmholtz \(1821-1894\)](#) die **"Einortstheorie des Hörens"**. **Wie das Prisma das weiße Licht "bricht" und in seine spektralen Bestandteile (Farben) zerlegt, so verteilt die Cochlea die verschiedenen Schallfrequenzen (Töne) auf verschiedene Orte.** Danach führen hohe Schallfrequenzen zur Erregung der Sinneszellen im basalen, mittlere im medialen und tiefe im apikalen Bereich der Cochlea. Der Zeitstrahl der wichtigsten Erkenntnisse über die (periphere) Hörfunktion nebst ihren Entdecker ist in Abb. 0 dargestellt.

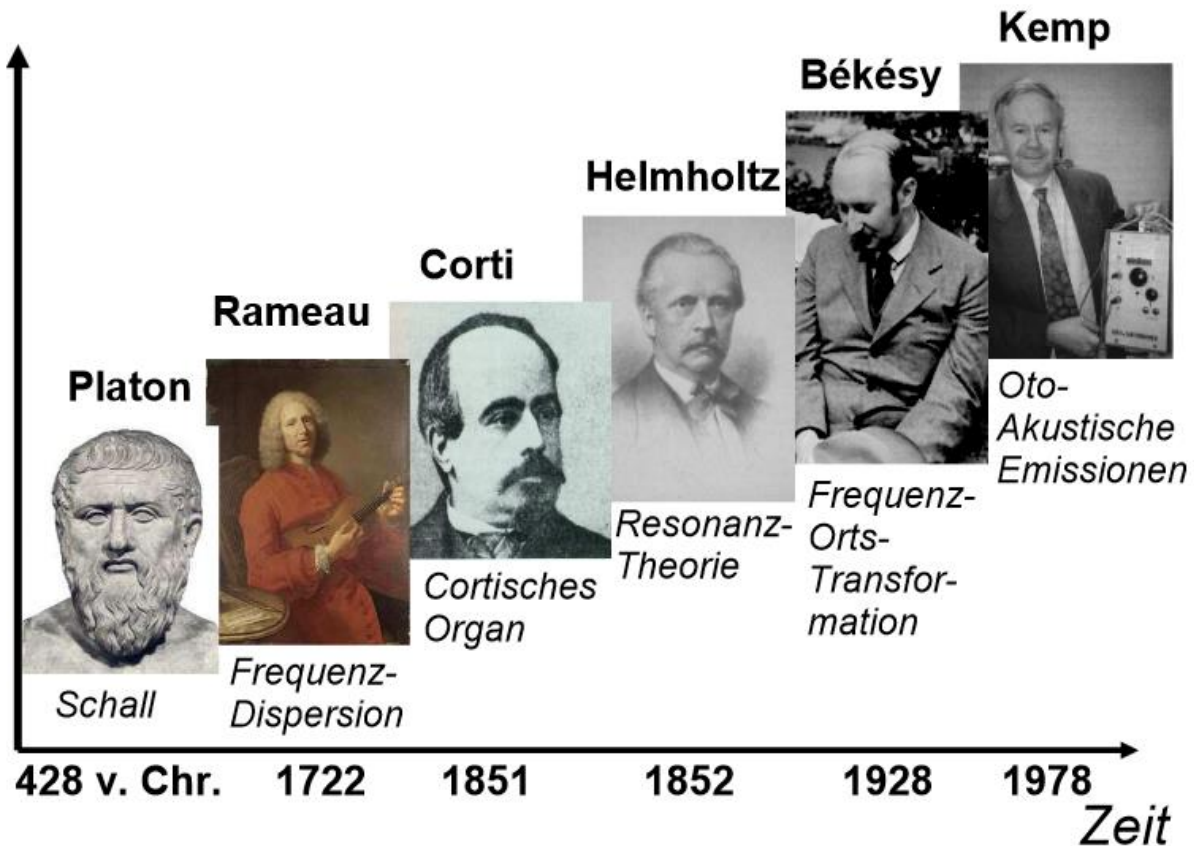


Abb. 0

Name / Erfindung:

Leon Theremin - Theremin-Musikinstrument, Theremincello

Geboren am:

15.^{jul.} / 27. August 1896^{greg.} in Sankt Petersburg

Studium:

Thérémin absolvierte das Sankt Petersburger Konservatorium im Fach Cello und studierte anschließend Physik an der Universität in seiner Heimatstadt.

Erfindungen / Auszeichnungen:

Leon Thérémin entstammte einer Familie französischer und deutscher Abstammung. Er hatte eine Schwester namens Helena. Ab 1919 leitete er das physikalisch-technische Institut in Petrograd und kooperierte seit 1923 dabei eng mit dem Moskauer Institut für Musikwissenschaften. 1919/20 erfand er das Theremin im Labor für elektrische Schwingungen. Zu diesem Zeitpunkt nannte er es noch Ätherophon. Zwei Jahre später wurde das Theremin in Moskau präsentiert.

Eine dem Theremin ähnliche Anordnung konnte zur Überwachung wertvoller Gegenstände in Museen und zur Annäherungskontrolle an Eingängen verwendet werden. Auch Metall- und Minensuchgeräte arbeiten nach dem Prinzip des Theremins.

Ab 1927 ging Termen mit dem Theremin auf Welttournee und begeisterte mit seiner „Geistermusik“ das Publikum. Im Zuge dessen ließ sich Termen 1928 in New York nieder. In den USA wurde das Theremin patentiert und die Produktionslizenz an RCA verkauft, die das Gerät nun herstellten. Termen amerikanisierte seinen Vornamen und nannte sich Leo(n) Thérémin. In New York baute Theremin eine



Art Science-Fiction-Studio auf, in dem er reiche Sponsoren und Gönner mit neuesten, für die damalige Zeit revolutionären, „Spielsachen“ zu beeindrucken pflegte. Die Pianistin Rosalyn Tureck kam 1924 mit Thérémín in Kontakt und studierte später eine Zeitlang bei ihm. 1931 gab sie ihr Debüt als Solistin in der Carnegie Hall mit einem Thérémín-Instrument.

1938 kam Thérémín unter ungeklärten Umständen in die Sowjetunion zurück, wo er nach kurzer Zeit wegen antisowjetischer Propaganda verhaftet und zu einer zehnjährigen Freiheitsstrafe verurteilt wurde. Zunächst kam er nach Sibirien in ein Gulag, später in eine Akademie für gefangene Wissenschaftler in Moskau, wo er an der Entwicklung von Flugzeugen teilnahm. Nach der Auflösung dieser Gruppe beschäftigte er sich, noch im Gefängnis, wieder mit eigenen Entwicklungen. Er entwickelte verschiedene Wanzen. Nach der Erfindung einer der ersten Wanzen für den KGB erhielt er den Stalinorden Erster Klasse. Er hatte nun die Möglichkeit, sein Gefängnis zu verlassen, bevorzugte es aber, vorerst in gewohnter Umgebung weiterzuarbeiten. Nach seiner Entlassung arbeitete er zunächst weiter für den sowjetischen Geheimdienst.

Insgesamt war Theremin 27 Jahre in den sowjetischen Lagern inhaftiert und beim KGB. Er tauchte erst 1964 wieder auf, und war sowohl außerhalb wie innerhalb der Sowjetunion komplett vergessen worden. In seinen Jahren in den Fängen des KGB waren ihm all seine Titel und Auszeichnungen aberkannt worden, alle Dokumente, die diese bestätigten, vernichtet. Das physikalische Institut in Sankt Petersburg, an dem Theremin seine bahnbrechende Erfindung gemacht hatte, behauptete noch in den 1990ern nie einen solchen Mitarbeiter besessen zu haben. 1964 wurde Thérémín Direktor der Abteilung für akustische Forschung am Konservatorium in Moskau. Vier Jahre später wurde er an die Physikalische Fakultät der Universität Moskau versetzt. Mitte der 1960er begann er wieder mit Ingenieuren und Musikern im Studio für elektronische Musik des Skrjabin-Museums zusammenzuarbeiten, um neue elektronische Instrumente zu entwickeln, und seine alten Instrumente weiterzuentwickeln.

Zur selben Zeit begann Theremin auch im Labor für Akustik des Moskauer Konservatoriums tätig zu werden. Neben seinen akustischen Arbeiten baute er dort weiterentwickelte Varianten des Theremins, mehrere Terpsitone, und ein elektronisches Cello. Seine Arbeit erhielt einige Aufmerksamkeit, bis 1967 Harold C. Schonberg auf Theremin aufmerksam wurde, und mit ihm zusammentraf. Schonberg schrieb über dieses Treffen in der New York Times, was den Moskauer Konservatoriumsdirektor wiederum veranlasste, Theremin aus dem Konservatorium zu entlassen.

Theremin begann danach als Mechaniker für physikalische Fakultät der Moskauer Staatsuniversität zu arbeiten. Er entwickelte weitere Theremin-Prototypen, die aber wieder verloren gingen.

Lange Zeit herrschte in westlichen Ländern die Meinung vor, er sei bereits 1938 verstorben. Dabei schien er für längere Zeit praktisch aus der Geschichte verschwunden zu sein.

1990 trat er in die KPdSU ein, kurz vor deren Auflösung. Frühere Aufnahmeanträge waren abschlägig beschieden worden, zunächst wegen seiner Auslandstätigkeit, später wegen seiner Verhaftung, dann wegen seines Alters.

Anfang der 1990er Jahre wurde er international geehrt und führte sein Theremin auf verschiedenen Reisen vor.

Einige Erfindungen Theremins:

- Termenvox – das klassische Theremin (1919–1920)
- Alarmanlagen, die auf dem Theremineffekt beruhen (1920er Jahre)
- Lichttheremin – reagiert auf Helligkeitsunterschiede (1923)
- Terpsiton – Plattform, um Tanz in Töne umzuwandeln (1932)
- Theremincello – ein elektronisches Cello ohne Saiten (ca. 1930)
- Rhythmicon – eine Art früher Drumcomputer (1932)
- Polyphones Theremin (ca. 1960)



- Harmonium (1930er ... 1960er)
- Visualisierung des räumlichen Griffbretts des Theremins (Termenvox)

Gestorben am:

Im Alter von 97 Jahren starb Leon Thérémín, der „sowjetische Faust“, wie er in der Biografie von Bulat Galejew genannt wurde, am 3. November 1993 in Moskau.