

Diplomarbeit

Elektronische Musik und Interaktivität: Prinzipien, Konzepte, Anwendungen

ausgeführt am
Institut für Gestaltungs- und Wirkungsforschung
der Technischen Universität Wien

unter Anleitung von
Univ.Ass. DI Dr. Peter Purgathofer

durch
jörg piringer
Favoritenstraße 17/14, 1040 Wien

Wien, im Oktober 2001

Übersicht

<i>Übersicht</i>	2
<i>Inhalt</i>	3
<i>Dank</i>	5
1 <i>Einleitung</i>	6
2 <i>Begriffe und Definitionen</i>	8
3 <i>Geschichte</i>	21
4 <i>Kategorien der Interaktivität</i>	63
5 <i>Beispiele</i>	78
6 <i>Resümee</i>	95
7 <i>Liste der Instrumente</i>	98
<i>Literaturverzeichnis</i>	112

Inhalt

<i>Übersicht</i>	2
<i>Inhalt</i>	3
<i>Dank</i>	5
<i>1 Einleitung</i>	6
1.1 Vorbemerkungen zur Schreibweise.....	6
1.2 Einleitung.....	6
<i>2 Begriffe und Definitionen</i>	8
2.1 Überblick.....	8
2.2 Musikinstrument	8
2.3 Elektronische Musik	9
2.4 MIDI	9
2.5 Sequencer.....	12
2.6 Syntheseformen.....	14
2.7 Zusammenfassung.....	19
<i>3 Geschichte</i>	21
3.1 Überblick	21
3.2 Vorformen	22
3.3 1876 - 1915 Erste elektronische Instrumente	23
3.4 1915 - 1945 Die Vakuumröhre	25
3.5 1945 - 1960 Nachkriegszeit	33
3.6 1960 - 1980 Modulsysteme und Massenproduktion	40
3.7 1980 - 1990 Digitalisierung und MIDI	50
3.8 1990 - 2000 Software Synthese und Virtualisierung.....	58
3.9 Zusammenfassung.....	61
<i>4 Kategorien der Interaktivität</i>	63
4.1 Überblick.....	63
4.2 Klassifizierungen	63
4.3 Versuch einer Einteilung	67
4.4 Zusammenfassung.....	76
<i>5 Beispiele</i>	78
5.1 Überblick.....	78
5.2 Fader- und Knobboxen	78

5.3	The Matrix	81
5.4	Miburi	83
5.5	Gesture Wall	84
5.6	Lady's Glove	86
5.7	VMI.....	88
5.8	Magic Carpet	89
5.9	Dance Sneakers.....	90
5.10	Biosignale.....	91
5.11	I-CubeX.....	92
5.12	Zusammenfassung.....	93
6	<i>Resümee</i>	95
6.1	Ausblick	96
7	<i>Liste der Instrumente</i>	98
	<i>Literaturverzeichnis</i>	112

Dank

der größte Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglichten.

1 Einleitung

1.1 *Vorbemerkungen zur Schreibweise*

In dieser Arbeit wird bei allgemeinen Erwähnungen von Personen stets die herkömmliche männliche Form verwendet, also „Musiker“ statt beispielsweise „MusikerInnen“. Dies hat zwei Gründe: zum einen ist mein Entschluß noch nicht klar, wie eine geeignete, für mich sprachlich ansprechende, geschlechtsneutrale und nicht-diskriminierende Schreibweise aussehen könnte, zum anderen sind die Protagonisten – zumindest in der Vergangenheit – zum größten Teil männlich. Ein Umstand der nicht erfreulich ist, den ich aber auch nicht durch eine geschlechtsneutrale Schreibweise verschleiern wollte. Vielleicht liefert gerade diese konservative Schreibung Anstoß, über die Ursachen dafür nachzudenken.

1.2 *Einleitung*

“We need new instruments very badly.”

--Edgar Varese, 1916

Zitiert Teresa Marrin Edgar Varese in [Marr96]. Dieses schon als Zitat wiedergegebene Zitat bringt es auf den Punkt: nicht nur die Tatsache, daß neue Instrumente für die sich ständig erneuernden Möglichkeiten der elektronischen Musik gebraucht werden, ist seit 1916 bekannt, sondern auch die Reflexion darüber ist schon in vielfacher Weise rezipiert¹ und in Form des Varese-Zitats formuliert worden.

Über den Grund für die Kreation von neuen Instrumenten müssen also nicht mehr viele Worte verloren werden: die komplexen Klangformungsmöglichkeiten der elektronischen Synthese- und Resynthesearten erfordern Interfaces, die sich von den herkömmlichen Steuerungsarten für Musikinstrumente stark unterscheiden.

Die hier vorliegende Arbeit soll also vielmehr eine Übersicht geben, was in der Geschichte der elektronischen Musik an neuartigen Herangehensweisen gewählt wurde, welche sich durchsetzen konnten und was in den letzten Jahren an richtungsweisenden Entwürfen vorgestellt wurde.

¹ Eine Suche nach dem Varese-Zitat mit Internetsuchmaschinen ergibt auf Anhieb fünf Nennungen.

Ich beginne diese Arbeit mit der Erklärung von relevanten Begriffen und Definitionen in Kapitel 2. Dazu liefere ich zuerst eine Abgrenzung der elektronischen Musik von den anderen Musiksparten, um mich danach den technischen Begriffen der elektronischen Musik wie MIDI und Syntheseformen zu widmen.

Die Geschichte der elektronischen Musik und der dazu notwendigen Interfaces wird im großen Kapitel 3 ausgeführt. Beginnend mit den Vorformen und den ersten Experimenten komme ich über die erste Blüte um 1920 zur zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts. Anschließend werden die Entwicklungen der frühen 1950er Jahre mit den ersten wirklichen Synthesizern und den Anfängen der Transistorelektronik beschrieben. Darauf folgt die Zeit ab 1960 mit den großen Erfolgen der analogen Syntheseformen bis in die späten 1970er Jahre. Die Digitalisierung ab 1980 und die Jahre bis 1990 sind schließlich bis auf einen Ausblick auf die danach folgende Zeit der letzte Teil des geschichtlichen Überblicks. In Kapitel 4 versuche ich nach Analyse von Taxonomien aus der Literatur ein Kategorisierungsschema zu entwickeln, das eine Bewertung von Eingabegeräten für elektronische Musik ermöglicht. Dieses Schema wird schließlich in einer Grafik auf die von mir in Kapitel 7 erfaßten Instrumente angewandt, um so eine Verteilung der Eigenschaften dieser Geräte auf deren Vertreter sichtbar zu machen.

Kapitel 5 bietet eine Anzahl von Beispielen für aktuelle Entwürfe für Instrumente. Hierbei wird auch die im vorangegangene Kategorisierung an den einzelnen Geräten erprobt.

Eine kurze Zusammenfassung der Arbeit und einen Ausblick versuche ich im abschließenden Kapitel 6 zu geben.

Die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrunde liegenden Recherche sind in einer Liste der erfaßten Instrumente in Kapitel 7 versammelt.

Nur am Rande erwähnt werden in dieser Arbeit Softwareinterfaces für elektronische Musik, ein Thema, daß schon eine eigene Diplomarbeit ausfüllen könnte und den Rahmen der vorliegenden gesprengt hätte. Daher soll hier im besonderen von physischen Geräten für die Interaktion mit elektronischen Klangerzeugern die Rede sein.

2 Begriffe und Definitionen

2.1 Überblick

In diesem Kapitel werden Begriffe und Konzepte erklärt, die für das Verständnis der nachfolgenden Abschnitte notwendig sind. Dies beginnt bei Allgemeinem wie „Musikinstrument“ und „elektronische Musik“. Danach werden technische Termini wie „MIDI“ und „Sequencer“ besprochen und schließlich eine überblicksartige Auflistung und Erklärung der wichtigsten Klangsinteseformen.

2.2 Musikinstrument

Die erste Definition für Musikinstrumente ist dem *Brockhaus* entnommen [Broc01]:

Geräte zum Erzeugen musikalisch verwendbaren Schalls; Saiten-, Blas- und Schlaginstrumente. Musikautomat, Gerät zur Musikwiedergabe auf mechan. Wege, z.B. Spieldose, elektr. Klavier.

In der *Encyclopædia Britannica* findet sich eine etwas moderne Definition insbesondere elektronische Musikinstrumente finden hier Berücksichtigung [Brit01]:

any device for producing a musical sound. The principal types of such instruments, classified by the method of producing sound, are percussion, stringed, keyboard, wind, and electronic.

Die Definition des *The New Grove Dictionary of Musical Instruments* [Sadi84] faßt den Begriff des Instruments weiter, indem die Frage nach der Musikalität oder der Eignung für Musikproduktion vernachlässigt wird:

Hornbostel advised that 'for purposes of research everything must count as a musical instrument with which sound can be produced intentionally', and wrote of sound-producing instruments, or, for short, sound instruments.

In Bezug auf die Betrachtung von Computern als Klangerzeuger (eine relativ neue Errungenschaft) würde ich aber eher von einem *System* bestehend aus einem oder mehreren Geräten als *einem* Gerät das als Musikinstrument bezeichnet wird sprechen. Nicht selten müssen in der elektronischen Musik mehrere Geräte wie Klangerzeuger, Eingabegeräte, Wandler etc. miteinander verbunden werden, um musikalisch nutzbar zu werden.

2.3 Elektronische Musik

Elektronische Musikinstrumente sind nach der Definition des *The New Grove Dictionary of Musical Instruments* [Sadi84]:

Instruments that incorporate electronic circuitry as an integral part of the sound-generating system.

Im weiteren wird dann zwischen elektrischen (electric) und elektronischen (electronic) Musikinstrumenten unterschieden [Sadi84]:

Technically, electronic devices form a subset of all electric devices, being those, broadly speaking, that incorporate thermionic valves or semiconductors. In common usage, however, 'electric' is normally applied not to the whole range of electrically powered devices, but simply to those that are not electronic.

Da sich diese Unterscheidung jedoch nur auf die Klangerzeugung und kaum auf andere Aspekte der Instrumente bezieht, werde ich im Folgenden ausschließlich den gebräuchlicheren Terminus „elektronisch“ verwenden.

2.4 MIDI

Für die Entwicklung der elektronischen Musik war die Einführung eines Standards für die Kommunikation zwischen Musikgeräten von zentraler Bedeutung. Waren vorher einzelne Instrumente und Controller nur über herstellerspezifische Schnittstellen ansteuerbar, so änderte sich dieser Umstand mit der Einführung von MIDI 1983 schlagartig: Nun war es möglich, jedes erdenkbare Steuerungsgerät mit jedem Klangerzeuger zu verbinden.

Ein kurze Definition von MIDI [What00]:

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) is a protocol designed for recording and playing back music on digital synthesizers that is supported by many makes of personal computer sound cards. Originally intended to control one keyboard from another, it was quickly adopted for the personal computer. Rather than representing musical sound directly, it transmits information about how music is produced. The command set includes note-ons, note-offs, key velocity, pitch bend and other methods of controlling a synthesizer.

Das Protokoll kann also im Idealfall alle Daten übertragen, die für die Steuerung eines Klangerzeugers relevant sind. Dieser Datenstrom kann auch aufgezeichnet und später (verändert) wiedergegeben werden. MIDI Daten können somit als eine erweiterte Notation für elektronische Musik angesehen werden. Tatsächlich können sogar Audioinformation mittels MIDI beispielsweise an einen Sampler übertragen werden, wobei hier die Bandbreite der Schnittstelle und die damit verbundenen Performanceprobleme Erweiterungen wünschenswert machen¹. Beispiele dafür wären die XMIDI Spezifikation [DIGI95] oder ZIPI [Free97]. Beide Vorschläge haben aber kaum Aussicht auf Akzeptanz in der Musikindustrie, wahrscheinlicher ist die Etablierung eines Standards auf Basis der IEEE1394-Schnittstelle² [Appl01] wie das von Yamaha vorgeschlagene mLAN [Yama00]:

A single cable can transfer both MIDI data and audio data in digital form.

Die IEEE1394-Schnittstelle ist im Bereich von digitaler Videobearbeitung und Computerperipheriegeräten schon weitgehend als Standard akzeptiert, ein Umstand der auch die Etablierung im Musikbereich wahrscheinlich macht.

Geräte die MIDI-Daten über die Schnittstelle empfangen und in meist³ musikalische Ereignisse umsetzen werden MIDI-Expander genannt. Das können einerseits simple Sampleplayer sein, die nicht programmierbar sind und nur Presets nach dem General MIDI-Standard abspielen, einer Norm für ein Schema an vorgegebenen Klängen wie Piano, Streicher, Blasinstrument sounds und ähnliches [Rasc00]:

The General MIDI Standard was created so that generic Standard MIDI Files created on a sequencer or notation application may be played back on another device while preserving the integrity of the original selection.

Andererseits können diese Geräte auch hochkomplexe Synthesizer und Sampler sein, die ihre speziellen Parameter über die MIDI-Schnittstelle senden und empfangen können.

Herkömmliche Daten die über diese Schnittstelle gesendet werden sind unter anderem:

¹ Aus diesem Grund erfolgt die Sampleübertragung meistens über schnellere Datenwege wie z.B. über eine Verbindung mittels SCSI-Schnittstelle.

² Auch unter den Namen *FireWire* und *iLink* bekannt.

³ Tatsächlich gibt es MIDI-Geräte, die Scheinwerfer, Servo-Motoren etc. ansteuern.

- *Noten (Note On, Note Off)*
Die eigentlichen Notenereignisse. Bei MIDI wird eine Note durch zwei Events angegeben: *Note On* startet die Note und übergibt als Parameter die Tonhöhe und die Anschlagdynamik¹. *Note Off* beendet die Note wieder mit der Tonhöhe und der Ausschwingdynamik als Parameter. Diese Zweiteilung des Notenevents ist aufgrund der geforderten Echtzeitfähigkeit notwendig kann jedoch zu den berüchtigten „Notenhängern“ führen, wenn aus irgendeinem Grund die *Note Off*-Message verloren geht.
- *Polyphonic Aftertouch*
Die meisten modernen Keyboards registrieren nicht nur die Dynamik beim erstmaligen Anschlag einer Taste, sondern auch noch späteren Druck. Dieser als Aftertouch bezeichnete Befehl wird meist für besondere Effekte wie beispielsweise Vibrato² verwendet.
- *Control Change*
Mittels Control Change Nachrichten werden üblicherweise Daten abseits der Noten- und anderen Standardevents übertragen. Parameter wie Filtereckfrequenz oder LFO-Geschwindigkeit werden als Control Change gesendet. Die Auflösung der Datenwerte beträgt 7 Bit.
- *Pitch-Bend*
Über diesen Befehl werden kontinuierliche Tonhöhenänderungen übertragen, die meist über ein Drehrad am Keyboard vorgenommen werden. Für Interfaces für elektronische Musik ist dieser Befehl deswegen von Bedeutung, da seine Auflösung im Gegensatz zu den anderen MIDI-Messages 14 Bit beträgt, was für viele Anwendungen wünschenswert ist.
- *SysEx Nachrichten*
Mit den sogenannten Systemexklusiven Nachrichten (kurz: SysEx) können in einem Rutsch eine größere Datenmenge gesendet werden. Dies wird von den Instrumenten beispielsweise zur Übertragung von Grundeinstellungen verwendet. Allerdings ist nur der allgemeine Modus der Übertragung

¹ auch Velocity genannt, da bei anschlagdynamischen Keyboards die Geschwindigkeit des Anschlags gemessen wird.

² *Vibrato* [lat.-italien.], rasche Wiederholung von geringen Tonhöhenschwankungen bei Singstimmen, Blasinstrumenten und v.a. Streich- und Zupfinstrumenten mit Griffbrett. [Lexi96]

standardisiert, die eigentlichen Daten sind von Gerät zu Gerät unterschiedlich und nicht kompatibel.

2.5 Sequencer

Ein Sequencer wird in [Enca01] beschrieben als:

an electronic device or software that digitally stores sequences of musical notes, chords, or rhythms that can be transmitted as required to an electronic musical instrument such as a synthesizer

Tatsächlich gab und gibt es auch analoge Geräte wie beispielsweise der *ARP Sequencer* [Fried01], die kurze Sequenzen in einer Schleife als Steuerspannungen an analoge Synthesizer weitergeben konnten.

Aktuell sind aber zur Zeit nur zwei Varianten von Bedeutung:

2.5.1 Software Sequencer

Software Sequencer sind Sequencer-Programme für gewöhnliche Rechner wie PCs oder Apple Computer. In Verbindung mit der eingebauten Soundkarte oder spezieller Musikhardware wird mit modernen Softwareversionen praktisch eine komplette Studioumgebung bereitgestellt. Von der Klangerzeugung über Softwaresynthesizer, über das Arrangement bis hin zum professionellen Mastering kann beispielsweise eine gesamte CD-Produktion abgewickelt werden.

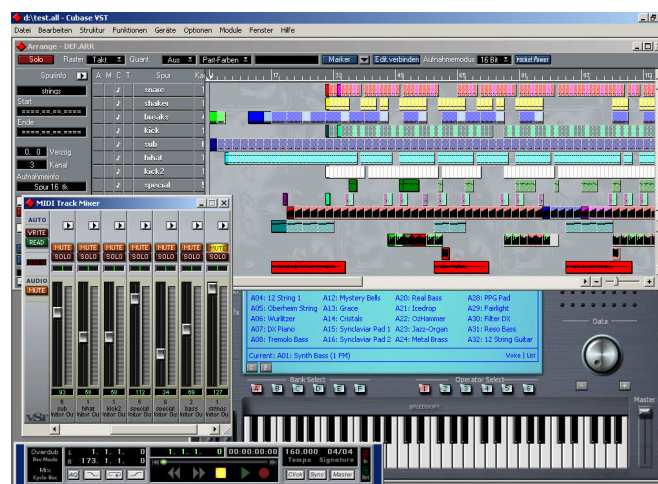


Abb. 1 Das von Steinberg hergestellte Software-Sequencer-Programm *Cubase VST* bietet neben den MIDI-Funktionen diverse andere Features wie Software-Synthese, Harddiskrecording und Echtzeit-Audioeffekte.

Ursprünglich als Programm zur Aufzeichnung und Bearbeitung beziehungsweise Komposition von MIDI-basierter Musik haben sich die Software-Sequencer in vielfältiger Hinsicht weiterentwickelt. So bieten sie die Möglichkeit, Audio-Daten zusammen mit MIDI-Events in einer Umgebung zu editieren. Diese Audio-Spuren können wie in einer realen Studioumgebung geschnitten, mit Effekten versehen und mit Equalizern verändert werden. Zusätzlich können Software-Klangerzeuger wie Sampler, Synthesizer und Drummachines in die Oberfläche integriert und angesprochen werden.

Die verbreitetsten Vertreter sind die Programme *Cubase* von *Steinberg* und *Logic* von *Emagic*. Beide bieten in etwa den gleichen oben beschriebenen Funktionsumfang.

2.5.2 Hardware Sequencer

Hardware Sequencer sind abgesehen von ihren seltenen analogen Varianten eigenständige digitale Geräte mit eigens programmierter und fix eingespeicherter Software.

Hardware Sequencer haben gegenüber ihren oft leistungsfähigeren Softwareversionen deswegen zwei Vorteile: sie gelten weithin als robuster und weniger anfällig in Hinsicht auf Softwareabstürze und sie sind durch ihre Oberfläche und Konzeption meist besser für den Live-Einsatz geeignet.

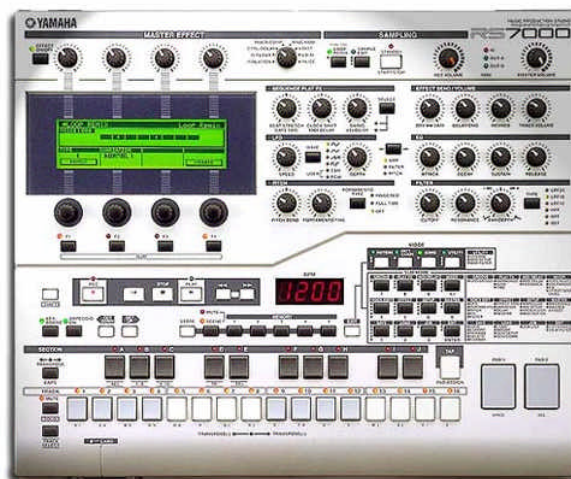


Abb. 2 Der von Yamaha produzierte Hardware-Sequencer RS7000 mit Sample- und Klangerzeugungseinheit ist eine Universallösung zur Produktion elektronischer Musik.

Sie gelten weiters als besonders timing-stabil, was bei einem komplexen System, wie einem PC nicht garantiert werden kann, bei einem Hardware-Sequencer wo Hard- und Software aus einer Hand stammen jedoch kein Problem ist.

Darüber hinaus enthalten viele dieser Geräte eine eigene Klangerzeugung und/oder Sampleeinheit, was sie zu einer Universallösung für elektronische Musik macht.

Eine oft in Keyboards anzutreffende kleine Variante eines Sequencers ist der Arpeggiator¹: die Noten eines auf dem Keyboard gehaltenen Akkords werden nacheinander automatisch gespielt. Rhythmus und Reihenfolge der gehaltenen beziehungsweise ergänzenden Noten werden über wählbare Algorithmen wie *Up* (die Noten werden von der niedrigsten aufwärts gespielt), *Down* (die Noten werden von der höchsten abwärts gespielt), *Random* (die Noten werden in einer zufälligen Reihenfolge gespielt) bestimmt.

2.6 Syntheseformen

Die verschiedenen Synthese- und Klangerzeugungsverfahren sind für die vorliegende Arbeit insofern relevant als sie im Idealfall spezifische Interfaces erfordern und besitzen. Die Schnittstelle für einen subtraktiven Analogsynthesizer mit einem Oszillator muß sich zwangsläufig von dem eines Programms zur granularen Synthese unterscheiden. Darüber hinaus brachte die Einführung von neuen Technologien in der Geschichte der elektronischen Musik stets auch neue Ansätze und Denkweisen für die Betrachtung der älteren Geräte, wie die Renaissance der analogen Synthesizern als virtuell analoge Instrumente Anfang der 1990er Jahre zeigte.

2.6.1 Subtraktive Synthese

Die subtraktive Synthese ist jene Syntheseform, deren Klang am ehesten mit dem allgemein als „Synthesizer“ bezeichneten Instrument in Verbindung gebracht wird. Durch die durch analoge Bauteile vergleichsweise einfach und billig realisierbare Bauweise war diese Syntheseform eine der ersten massenhaft verbreiteten. Bei der subtraktiven Synthese ist das Ausgangsmaterial ein obertonreicher Klang oder ein Geräusch. Dieses Ausgangssignal wird meistens durch eine Kombination

¹ *arpeggio*: musikal. Spielanweisung: »in der Art einer Harfe« zu spielen, d.h. die Töne eines Akkords nacheinander erklingen lassen. [Lexi96]

von 2 bis 3 spannungsgesteuerten Oszillatoren¹ und einem zuschaltbaren Rauschgenerator erzeugt. Die Oszillatoren bieten meist verschiedene Wellenformen wie Puls-, Sinus-, Sägezahnwelle an. Oft ist auch einer der Oszillatoren – Suboszillator genannt – über ein einstellbares Tonverhältnis an einen anderen Oszillator gekoppelt.

Ein oder mehrere Filter verändern das Klangspektrum des Ausgangssignals, indem ein Frequenzbereich in einstellbarer Stärke unterdrückt wird. Meist sind verschiedene Filtertypen wählbar: Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß oder Bandsperre. Der Tiefpaßfilter läßt nur tiefe Frequenzen durch, der Hochpaß nur hohe während der Bandpaß ein Spektrum an Frequenzen in mittleren Lagen durchläßt und das Bandsperrefilter eben jene entfernt. Üblicherweise läßt sich für das Filter ein Wert für die Resonanz angeben, was eine Verstärkung des Spektrums an der Filtereckfrequenz bewirkt.

Hüllkurven für die Lautstärke (VCA), die Filtereckfrequenz (VCF) sowie die relative Tonhöhe können zusätzlich den Klang modulieren. Low Frequency Oscillators (LFO) steuern darüber hinaus periodisch die selben oder weitere Parameter.

2.6.2 FM-Synthese

Die von John Chowning Ende 1960er Jahre entwickelte Frequenzmodulationssynthese für Audiosignale beruht auf der Beeinflussung der Frequenz eines Trägersignals (Carrier) durch ein Modulationssignal (Modulator) derart, daß die Trägerfrequenz entsprechend der aktuellen Amplitude und Frequenz des Modulators von ihrer Ursprungsfrequenz abweicht.

Üblicherweise werden für Carrier und Modulator Sinusschwingungen benutzt und mehrere Oszillatoren über wählbare Algorithmen verschaltet.

¹ übliche englische Bezeichnung: Voltage Controlled Oscillator (VCO)

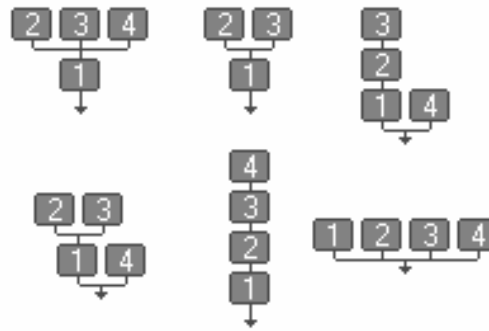


Abb. 3 Eine Auswahl an Algorithmen zur Verschaltung von FM-Oszillatoren, wie sie in Synthesizern von Yamaha ab 1983 zur Anwendung kamen.

Durch die Vielzahl der Algorithmen und die schwer verständlichen Zusammenhänge zwischen Parameteränderung und Änderung des Klanges, ist die Programmierung von FM-Sounds kompliziert und wenig intuitiv [Hoen98]:

Ein schnelles und intuitives Vorgehen bei der Klangprogrammierung ist kaum möglich – einerseits kann eine kleine Werteänderung einen Sound total umkippen lassen. Andererseits müssen oft mehrere Werte geändert werden, um beispielsweise das Ausklingen der Lautstärke zu verkürzen.

Dennoch wurden FM-Synthesizer von Yamaha ab 1983 in großem Umfang gebaut und zu einem kommerziellen Erfolg. Diese Syntheseform war die erste volldigitale Klangerzeugung, die in großem Maßstab zur Anwendung kam.

2.6.3 Additive Synthese

Die additive Synthese oder Fouriersynthese ist die Umkehrung der Fourieranalyse. Mit der von Jean Fourier¹ entwickelten Methode läßt sich jede periodische Schwingung – also auch jedes Audiosignal – als Summe einzelner Sinusschwingungen darstellen, was es in der Umkehrung ermöglicht, einen beliebigen Klang durch gezielte Addition einzelner Teiltöne exakt nachzubilden. Will man dabei einen natürlichen Klang nachbilden spricht man von Resynthese. Diese Nachbildung wirft jedoch einige Probleme auf: jeder natürliche Klang ändert sich permanent. Lautstärke, Frequenz, Phasenlage der einzelnen Teiltöne sind im

¹ Fourier [Jean-Baptiste] Joseph Baron de (ab 1808), * Auxerre 21. 3. 1768, † Paris 16. 5. 1830, frz. Mathematiker und Physiker. [Lexi96]

ständigen Wandel. Insbesondere bei geräuschhaften Sounds wird der Versuch, diese exakt nachzubilden scheitern müssen.

Dennoch existieren additive Synthesizer schon seit den Mitte der 1950er Jahre, wenn auch anfangs nur in den *Bell Telephone Laboratories* unter der Leitung von Max Matthews¹. Kommerzielle Modelle mit additive Synthese waren und sind eher selten. Als einer der ersten erfolgreichen Instrumente wird in [Lind96] der *E-mu Systems Emax SE* angeführt. Eigentlich als Sampler konzipiert, konnten für einen Klang die Lautstärken der ersten 16 Harmonischen angegeben und mittels „Zeitscheiben“ Wechsel in der Struktur der Obertöne erreicht werden. Der daraus resultierende Klang konnte anschließend errechnet und als Sample weiterverwendet werden – von Echtzeit-Synthese also keine Spur. Erst spätere Instrumente wie die Reihe von der Firma *Kawai* der additive Synthesizer *K5000* sollten dieses Manko beheben.

2.6.4 Sampling

Genaugenommen ist Sampling keine Synthese sondern eine Wiedergabe von aufgezeichneten Klängen. Die über einen Analog-Digital-Wandler vom Benutzer aufgezeichneten Schallereignisse lassen sich in verschiedenen Tonhöhen abspielen. In den meisten Fällen wird dies über eine Beschleunigung beziehungsweise Verlangsamung des Samples erreicht was den bekannten Mickey-Mouse-Effekt² verursacht. Deswegen bieten Sampler die Möglichkeit des Multisamplings, was eine Verteilung von mehreren Samples eines Instruments in unterschiedlicher Originaltonhöhe auf der Tonskala bedeutet. Diese Methode begrenzt die maximal nötige Transposition, da ein Sample nur noch wenige Noten abdecken muß, reduziert die Nebeneffekte der Transponierung und erhöht dadurch die Natürlichkeit eines imitierten Instruments.

Üblicherweise bieten Sampler noch die Klangformungsmittel der subtraktiven Synthese, wie Hüllkurven, LFOs, Filter und Effekte und sind so eine Mischung aus Synthesizer und Schallreproduktionsgerät.

¹ siehe Kapitel 3.6.1

² Änderung der Klangfarbe eines digitalisierten Klages bei Transponierung nach oben [Musi98]

2.6.5 Wavetable Synthese

Die Wavetable¹ Synthese ist eine Weiterentwicklung der Subtraktive Synthese. Anstatt der einfachen Oszillatoren mit ihren Standard-Wellenformen kommen Wavetable-Oszillatoren, die auf eine Vielzahl von in einem Wavetable gespeicherten Wellenformen zurückgreifen können. Dabei kann die Tabelle durchfahren werden und somit eine sich über die Zeit ändernde Wellenform generieren. Bei den meisten Instrumenten kann auch zwischen zwei Wavetable-Einträgen interpoliert werden, was beispielsweise eine Mischung aus Sinus und Dreieckssignal bewirken kann. Manche Varianten können auch analog zum Sampler vom Benutzer definierte Wavetables mit neuen Wellenformen laden.

Die übrigen Mittel zur Klangformung entsprechen denen der Subtraktiven Synthese: Hüllkurven, LFOs, Filter und Effekte.

Bekannte Instrumente mit Wavetable Synthese sind die aus dem *PPG Wave* weiterentwickelten *MicroWave* Synthesizer der Firma *Waldorf*.

2.6.6 Physical Modeling Synthese

Die Physical Modeling Synthese versucht anders als die anderen besprochenen Syntheseformen nicht vordergründig eine Wellenform zu erzeugen, sondern modelliert die physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Spielmöglichkeiten von realen Instrumenten. Die daraus resultierenden Klänge können äußerst natürlich und lebendig klingen wie in [Hind01] beschrieben wird:

The results of physical modeling can be surprisingly natural and life-like, as it is possible to give an instrument some notion of its own current state. So, for example, like a real musician playing a real instrument, a good physical model will never produce exactly the same waveform twice.

Die PM-Synthese wird in diversen Synthesizern verwendet, die auf Nachahmung von Naturklängen oder besonders natürliche Spielweise ausgelegt sind.

2.6.7 Granularsynthese

Nach einem 1947 entworfenen Modell des Physikers Dennis Gábor kann ein Klang durch eine Serie von akustischen Quanten beschrieben werden [Elec01]:

¹ Die Wavetable Synthese ist nicht mit der mißbräuchlichen Verwendung des Begriffs Wavetable in Soundkarten zu verwechseln, die eher Sampleplayer darstellen.

Granular synthesis of sound is the generation of thousands of short sonic grains which are combined linearly to form large scale audio events. The characteristics of the grains are definable, and these combine to give the characteristics of the overall sound. However the parameters used in defining the grains do not map directly to the parameters of the large scale event. It is the interaction of the various grain parameters which define the micro structure of an event. The macro structure of an event is generated by the change in the characteristics of the grains.

Ähnlich den Einzelbildern eines Films wird ein kontinuierlicher Klang vorgetäuscht, der in Wahrheit aus vielen Teilen besteht. In Versuchen fand Barry Truax 1988 heraus, daß eine Abfolge von Grains bis zu einer Länge von 50 Millisekunden als kontinuierliche Klangtextur empfunden werden, während längere Grains vom Hörer als einzelne Schallereignisse identifiziert werden. Andere Experimente ergaben obere Schwellen von 20 Millisekunden beziehungsweise 1-2 Millisekunden. Üblicherweise werden bei der Granularen Synthese tausende Ereignisse pro Minute produziert, weshalb nicht für jedes Grain spezifische Eigenschaften angegeben werden können. Daher beschränken sich Anwendungen dieser Synthese auf einen Strom von Ereignissen für den bestimmte Charakteristiken generell bestimmt werden.

Weiter verbreitet ist die Anwendung der Granularen Synthese zur Resynthese von gesampelten Material. Hierbei wird der aufgezeichnete Klang analysiert und in eben jene Grains zerlegt um sie nachträglich wieder zusammenzusetzen. Dies bietet gegenüber der herkömmlichen Sampleabspielmethode den Vorteil, die Geschwindigkeit des Abspielvorgangs zu beeinflussen, ohne die Tonhöhe zu verändern oder die Tonhöhe zu verändern, ohne die Abspielgeschwindigkeit zu beeinflussen. Erreicht wird dies über die Vervielfachung der Grains bei Streckung des Materials beziehungsweise Pitch-Shifting der einzelnen Grains.

Programme, die diese Manipulationen in Echtzeit ermöglichen, sind beispielsweise *Reaktor* von *Native-Instruments* oder *MAX/MSP* von *Cycling'74*.

2.7 Zusammenfassung

Musikinstrumente für elektronische Musik sind elektrische oder elektronische Geräte, die zur Erzeugung musikalisch verwertbarer Klänge geeignet sind. Eine gebräuchliche Schnittstelle für die Kommunikation zwischen diesen Geräten ist

MIDI, eine Kombination aus Schnittstelle und Protokoll. Hardwaresequencer oder Softwareprogramme können einen Datenstrom aus MIDI-Befehlen generieren und an Klangerzeuger wie Synthesizer schicken.

Zur Klangerzeugung werden Synthesizer aber auch Programmen für gewöhnliche Computer verwendet. Diese arbeiten nach verschiedenen Syntheseprinzipien, deren gebräuchlichste die subtraktive Synthese darstellt, während die neuste der kommerziellen Syntheseformen die granulare Synthese bis jetzt nur in Software realisiert worden ist.

3 Geschichte

3.1 Überblick

Der folgende Abriß über die Geschichte der elektronischen Musik ist in den Grundzügen bis 1980 [Sadi84] und [Obso01] entnommen.

Er beginnt mit den Vorformen und Grundlagen, die für späteren Instrumente die Basis bildeten. Danach folgen die Geräte wie der *Musical Telegraph* und das *Telharmonium*, die aus Mangel an Verstärkern auf den Telegrafennetzen als Tonübertragung aufbauten. Anschließend werden die Instrumente der Vakuumröhrenära mit dem *Theremin* als wichtigstem Vertreter beschrieben. Die ersten Synthesizer der Nachkriegszeit schließlich bilden den Übergang zur beginnenden Kommerzialisierung der elektronische Musikinstrumente. Die 1980er Jahre mit der einsetzenden Digitalisierung und der Erfindung der MIDI-Schnittstelle sind dann schließlich die letzte Zeitperiode, die ausführlich beschrieben wird. Die Jahre ab 1990 werden nur mehr überblicksartig und als Vorausschau dargestellt. Schließlich ist noch schwer abschätzbar, welche geschichtlichen Auswirkungen einzelne Erfindungen und Produkte haben werden oder schon gezeitigt haben. Darüber hinaus ist Literatur, die diesen Zeitraum in historischer Hinsicht behandelt, praktisch nicht vorhanden.

Eine interessante Unterscheidung zwischen Instrumenten, die ungefähr ab 1960 mit dem Auftauchen der ersten in größeren Mengen produzierten Geräten zum Tragen kommt, ist jene zwischen kommerziellen und experimentellen Entwürfen. Waren es anfangs nur einzelne Wissenschaftler, die sich der Entwicklung elektronischer Musikinstrumente widmeten, so wurden diese nach dem zweiten Weltkrieg von großen wissenschaftlichen Institutionen und vor allem den Entwicklungsabteilungen der Firmen wie *Yamaha* oder *Roland* abgelöst. Anfang der 1980er Jahre hingegen wurden wieder vermehrt Einzelpersonen und kleine Gruppen aktiv, die stark experimentelle und nicht kommerziell verwertbare Designs bauten. Mit der Etablierung des Internets schließlich entstanden Plattformen zur Verbreitung dieses Wissens zum Selbstbau und ein reger Austausch an experimentellen Entwürfen.

3.2 Vorformen

1761 erfand Abbé Delaborde in Paris das *Clavecin Électrique* eine Art elektrisches Cembalo. Charles Grafton Page entdeckte 1837 das grundlegende Prinzip der elektronische Glocke: durch das Verbinden einer Batterie mit einer Spule und einem Permanentmagneten konnte er hörbare Knackser produzieren. Philip Wagner erfindet in Frankfurt den *Wagner Hammer*, bei dem eine Feder in einem elektromagnetischen Feld vibriert und somit einen Ton generiert.

1838 konstruierte Charles Delezenne von Lille das erste rotierende Tonrad, dessen gezackte Form eine oszillierende Spannung erzeugte.

Pétrina von Prag baute 1856 eine *Elektrische Harmonika* aus vier unterschiedlich gestimmten *Wagner Hämmer*. Im selben Jahr baute Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz ein elektrisch kontrollierbares Instrument den *Helmholtz Resonator*, um Kombinationen von Tönen zu erforschen. Das Gerät bestand aus einer auf elektromagnetischem Weg zum Schwingen gebrachten Stimmgabel mit einem Resonanzkörper aus Glas oder Metall.

Helmholtz verwendete die Maschine nur für seine Forschungen¹ über die Konstituenten, die komplexe Klänge erzeugen und hatte kein Interesse an musikalischen Anwendungen.

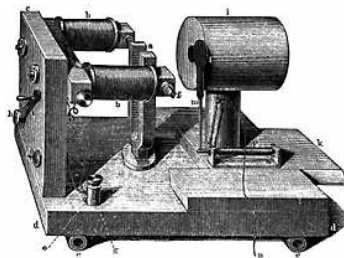


Abb. 4 Der von Hermann L. F. von Helmholtz gebaute *Helmholtz Resonator* bestand aus einer auf elektromagnetischem Weg zum Schwingen gebrachten Stimmgabel mit einem Resonanzkörper aus Glas oder Metall.

Das erste elektrische Telefon konstruierte zwischen 1860 und 1861 der Deutsche Philipp Reis. Sein Gerät produzierte allerdings fast unverständliche Sprache, da es nur die „Umrisse“ des Gesprochenen übertrug. Diese Erfindung inspirierte die

¹ er veröffentlichte 1863 sein Werk „Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik“ und wurde damit einer der Begründer der modernen musikalisch-akustischen Forschung.

Forscher der damaligen Zeit, der wirkliche Durchbruch gelang aber erst Alexander Graham Bell 1876.

Ein Jahr danach erfand Thomas Alva Edison bei seinen Forschungen für Telegrafen und Telefone durch Zufall die „Talking Machine“. Sein später *Phonograph* genanntes Gerät zeichnete Schall auf Zinnfolie auf, bis diese 1888 durch Wachszylinder ersetzt wurden.

3.3 1876 - 1915 Erste elektronische Instrumente

Elisha Gray baute 1876 den *Musical Telegraph* oder *Harmonic Telegraph* mit einer zwei-oktavigen Klaviatur. Die Klangerzeugung erfolgte durch vibrierende Stahlkontakte, die über Elektromagneten angeregt wurden. Spätere Modelle enthielten noch ein zusätzliches Rad zur Tonkontrolle und einen einfachen elektromagnetischen Lautsprecher.



Abb. 5 Der 1876 von Elisha Gray erfundene *Musical Telegraph*. Die Klangerzeugung erfolgte durch vibrierende Stahlkontakte, die über Elektromagneten angeregt wurden.

Der englische Physiker William Du Bois Duddell entdeckte, als er 1899 das Summen der Bogenlampen der öffentlichen Beleuchtung untersuchte, in der Hoffnung die Straßen vom ständigen Pfeifen zu befreien, eine Möglichkeit, die Tonhöhe zu variieren. Duddell schloß eine Klaviatur an die Bogenlampen und schuf damit eines der ersten elektronischen Instrumente und das erste, das unabhängig vom Telefonnetz als Verstärker beziehungsweise Lautsprecher funktionierte. *The Singing Arc* kam jedoch nie über den Status ein Kuriosität hinaus, Ideen wie die Verbreitung von Musik über das Beleuchtungssystem wurden von Duddell nicht weiterverfolgt



Abb. 6 1899 wurde von William Du Bois Duddell eine Klaviatur an mehrere gestimmte Bogenlampen angeschlossen. Das so entstandene Musikinstrument nannte er *Singing Arc*.

1897 ließ Thaddeus Cahill jenes Gerät patentieren, das später *Telharmonium* oder *Dynamophon* genannt werden sollte. Vollendet und präsentiert wurde das wohl größte Instrument der Geschichte aber erst 1906 in Holyoke, Massachusetts. Das *Telharmonium* bestand im wesentlichen aus 145 modifizierten Dynamos und daran angeschlossenen Induktoren, die eine Wechselspannung im Audiofrequenzbereich erzeugten. Diese Signale wurden von anschlagdynamischen Keyboards (sieben Oktaven, 36 Noten pro Oktave, stimmbar in Frequenzen zwischen 40 und 4000Hz) und zusätzlichen Reglern gesteuert.

Die Klänge wurden, da zu dieser Zeit der elektrische Verstärker noch nicht erfunden war, über große Hörner (wie beim Grammophon) hörbar gemacht, spätere Modelle speisten die Musik direkt in das Telefonnetzwerk oder eine Reihe von Telefonapparaten mit speziellen Muscheln. Cahill plante, die Musik des *Telharmoniums* in Hotels, Restaurants, Theatern und Privatwohnungen zu übertragen. Diese visionäre Idee wurde aber von den Telefonbetreibern verhindert, als entdeckt wurde, daß durch die Übertragungen massive Störungen im lokalen Telefonnetz auftraten.

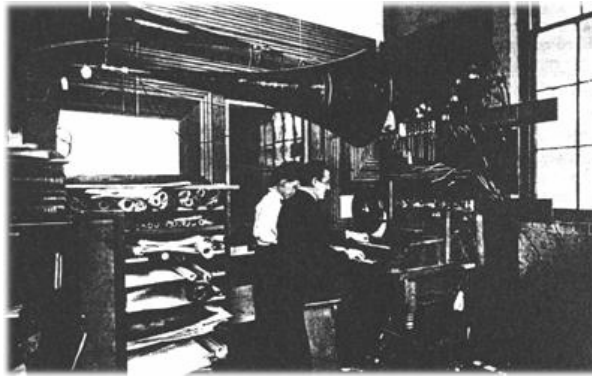


Abb. 7 Das 1897 von Thaddeus Cahill patentierte *Telharmonium*, das wohl größte Musikinstrument der Geschichte. Das *Telharmonium* bestand im wesentlichen aus 145 modifizierten Dynamos und daran angeschlossenen Induktoren, die eine Wechselspannung im Audiofrequenzbereich erzeugten.

Unter den vielen akustischen Instrumenten, die zu dieser Zeit mittels Elektromagneten „elektrifiziert“ wurden sind I.B. Schalkenbachs *Elektrisches Orchester* (1893), in welchem Instrumente und Soundeffekte durch zwei Manuale ferngesteuert werden konnten, und Antonio Paganis *Streichquartett* (1884-1898), in welchem jedes Instrument über zwei gesteuerte Bögen gespielt wurde, die ungewöhnlichsten.

3.4 1915 - 1945 Die Vakuumröhre

Lee De Forest erfand im Jahr 1906 die Trioden-Vakuumröhre eine viel empfindlichere Weiterentwicklung von John A. Flemings Dioden-Vakuumröhre. Die eigentliche Anwendung der Triode war die Radiotechnologie, De Forest entdeckte aber eine Möglichkeit hörbare Frequenzen mittels der *heterodyning*¹/*beat-frequency*-Methode [Obso01] zu erzeugen: durch die Kombination zweier hochfrequenter Signale ergab sich eine zusammengesetzte niedrigere Frequenz im hörbaren Bereich.

Das *Audion Piano* wurde von Lee De Forest 1915 gebaut und war das erste Vakuumröhreninstrument. Obwohl es nur ein einfaches Keyboardinstrument darstellte, war es doch das erste Instrument, daß den heterodyning-Effekt und die kapazitive Wirkung des menschlichen Körpers zur Kontrolle von Tonhöhe und Timbre ausnutzte. Das *Audion Piano* besaß je eine Triode für eine Oktave sodaß

¹ *heterodyne*: To generate new frequencies by mixing two or more signals in a nonlinear device such as a vacuum tube, transistor, or diode mixer. [Stan01]

eine Note pro Oktave gespielt werden konnte. Polyphonie war somit nur über mehrere Oktaven möglich. Hörbar wurden die Klänge über eine Anzahl an Lautsprechern, die im Raum platziert werden konnten, um so einen 3D-Effekt zu erzielen. De Forest beschreibt die Steuerungsmöglichkeiten seines Instruments, die der des Theremin oder späteren Analogen Synthesizern ähneln [Obso01]:

The Pitch of the notes is very easily regulated by changing the capacity or the inductance in the circuits, which can be easily effected by a sliding contact or simply by turning the knob of a condenser. In fact, the pitch of the notes can be changed by merely putting the finger on certain parts of the circuit. In this way very weird and beautiful effects can easily be obtained

De Forest arbeitete auch mit dem Erfinder des *Telharmoniums* Thadeus Cahill zusammen, dabei sollten Konzerte mittels Radiosender übertragen werden. Cahill bestand aber auf eine Übertragung via Telefonleitungen, was wesentlich zum Untergang des *Telharmoniums* beitrug.

Die Vakuumröhrentechnologie wurde in elektronischen Instrumenten bis zur Erfindung des Transistors 1960 verwendet. Die Triode ermöglichte auch erstmals den Bau von Verstärkern, sodaß nicht mehr das Telefonnetz verwendet werden mußte.

Der Maler und russische Futurist Wladimir Baranoff-Rossiné begann um 1916 mit der Arbeit an seinem *Optophonischen Piano* (Piano Optophonique). Das Instrument produzierte Klänge und projizierte Bilder durch ein starkes Licht, welches mittels rotierender von Baranoff-Rossiné bemalter Glasscheiben, Filtern, Spiegeln und Linsen variiert wurde. Diese Variation wurden über ein Keyboard gesteuert und durch eine fotoelektrische Zelle aufgefangen, die die Tonhöhe eines Oszillators steuerte. Baranoff-Rossiné schreibt in einem seiner Texte über sich in der dritten Person [Bara97]:

Imagine that every key of an organ's keyboard immobilises in a specific position, or moves a determined element, more or less rapidly, in a group of transparent filters which a beam of white light pierces, and this will give you an idea of the instrument Baranoff-Rossiné invented.

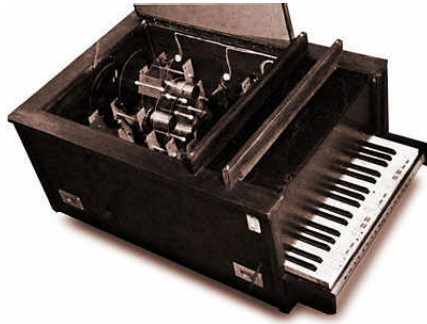


Abb. 8 Das ab 1916 entwickelte *Optophonische Piano* von Baranoff-Rossiné. Mittels rotierender Glasscheiben konnten Töne erzeugt und bewegte Bilder projiziert werden.

3.4.1 Das Theremin

Die Entdeckung des heterodyning-Effekts durch De Forest ermöglichte es einigen Ingenieuren Musikinstrumente zu bauen. Ein Problem dieser Klangerzeugung war allerdings die Tatsache, daß sich die Frequenz der Oszillatoren änderte, sobald jemand den Schaltkreisen nahekam. Der russische Cellist und Elektronikingenieur Leon (oder Lev) Sergeiwitsch Termen erkannte, daß diese üblicherweise unerwünschte Störung der Klangerzeugung zur Kontrolle des Tons verwendet werden konnte.

Sein erstes 1917 in der UdSSR gebautes Instrument genannt *Aetherophon* besaß noch ein Fußpedal, um die Lautstärke zu kontrollieren und einen Schaltermechanismus für die Tonhöhensteuerung. Die Weiterentwicklung dieses Prototyps mündete schließlich in das *Thereminvox* oder *Theremin* (nach dem Erfinder Leon Termen). Dieses Gerät bestand aus einem – einem Stehpult ähnlichen – Holzkasten, auf dessen linker Seite eine Metallschleife herausragte sowie einer senkrecht stehenden Antenne. Das Instrument wird durch Bewegungen der Hand in der Nähe der Antenne sowie der Metallschleife gespielt. Direkter körperlicher Kontakt ist nicht notwendig. Bewegungen der linken Hand in der Nähe der Schleife regeln die Lautstärke des kontinuierlichen Tons, Bewegungen in der Nähe der Antenne steuern die Höhe desselben.



Abb. 9 Die Version des *Thereminvox* oder *Theremin* von 1920. Die Lautstärke wird durch Bewegung der Hand in der Nähe der Metallschleife auf der linken Seite gesteuert, während die Tonhöhe durch die rechte Hand an der Antenne verändert wird.

Termens Erfindung erregte großes Aufsehen in der UdSSR und Europa. So traf er unter anderem Maurice Martenot, dessen frühe Versionen seines *Ondes Martenot* Ähnlichkeiten in der Steuerung der Tonerzeugung aufwiesen. Er entwickelte in Folge Variationen des Theremins, wie den *Terpistone* (1930), eine Adaption für Tanz (Die Kontrollantenne wurde durch ein Blech ersetzt, das unter dem Tanzboden angebracht war), das *Keyboard Theremin* (1930), sowie das *Theremin Cello*. Das *Theremin Cello* wurde um 1930 von Leon Termens Firma *Teletouch* in New York, USA gebaut. Anstatt der Saiten eines herkömmlichen Cellos besaß das Instrument nur ein Griffbrett, das auf Druck einen Ton produzierte während die Tonhöhe durch die Position des Finger auf dem Brett definiert wurde.

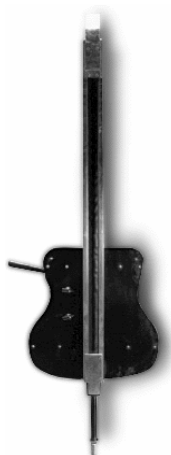


Abb. 10 Das *Theremin Cello* (1930) besaß anstatt der Saiten eines herkömmlichen Cellos nur ein Griffbrett, das auf Druck einen Ton produzierte während die Tonhöhe durch die Position des Finger auf dem Brett definiert wurde.

Leon Termens Erfindungen waren und sind nach wie vor Inspirationsquelle¹ für gestische Interfaces für elektronische Musik. Nach ihrer Wiederentdeckung in den 60er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurden *Theremins* sowohl in der Popmusik² als auch der modernen Konzertmusik³ verwendet.

3.4.2 Das Sphärophon

Der Musiker Jörg Mager entwickelte speziell für mikrotonale⁴ Musik ab 1921 eine Reihe von Instrumenten beginnend mit dem *Elektrophon*. Dieses Instrument basierte auf dem heterodyning-Effekt und wurde über einen Hebel kontrolliert, den der Musiker über eine halbkreisförmige Skala bewegte. So konnte ein kontinuierlicher Glissandoeffekt erzielt werden.

Das *Kurbelsphärophon* war ein weiterentwickeltes *Elektrophon* mit zusätzlichen Filtern und zur Vermeidung von Glissandi besaß das Instrument zwei stimbare Hebel und zwei Fußpedale mit denen die Lautstärke gesteuert werden konnte. Das *Kurbelsphärophon* wurde 1923 fertiggestellt und 1926 am Donaueschingen Festival präsentiert, wo es im großen und ganzen ignoriert wurde.



Abb. 11 Jörg Mager spielt das 1923 gebaute *Kurbelsphärophon*. Das Instrument wurde über zwei Hebel und zwei Fußpedale bestimmt. Diese steuerten die Tonhöhe und die Lautstärke.

¹ Um 1929 waren mindestens drei mehr oder weniger exakte Kopien des *Theremins* konstruiert worden: Michel Billaudots und Pierre Duvaliers *croix sonore*, die *elektronische Zaubergeige* und die *Electronde*. In der frühen 30er Jahren des 20ten Jahrhunderts folgten weitere wie die von G. Leithäuser fabrizierte Heimversion und das *Ethonium*.

² der Song „Good Vibrations“ der Beach Boys als prominestes Beispiel.

³ z.B. Elisabeth Schimanas Theremin Orchester [Schi01].

⁴ *In the most obvious definition, microtonality is the use of intervals smaller than the usual whole-tones and semitones of the best-known Western European compositional traditions, although the use of such intervals is a routine feature of many world musics.* [Schu01]

Mager entwarf im Folgenden mehrere Tasteninstrumente deren Spezialität in der Verkürzung der Tasten bestand. So konnten mit einer Hand mehrere Manuale gleichzeitig bedient werden. Vertreter dieser Instrumente sind das *Klaviatursphärophon* und das *Partiturophon*. Beide konnten mikrotonal gestimmt werden.

Ähnliche Bedienung wie das *Kurbelsphärophon* wiesen später das *Ondium Péchadre* (gebaut von H.C.R.Péchadre 1930) und das *Dynaphone* (gebaut von René Bertrand 1927) auf. Bei beiden wurde die Tonhöhe über Hebel eingestellt und die Lautstärke über Druckknöpfe gesteuert.

3.4.3 Das Ondes-Martenot

Maurice Martenot, ein Cellist und Radiotelegraph traf den Erfinder des *Theremins* Leon Termen 1923, was ihn auf die Idee brachte ein Instrument basierend auf Termens Konzepten zu bauen. Das erste Modell das *Ondes-Martenot* wurde 1928 patentiert. Martenots Ziel war es, ein Instrument zu schaffen, das Orchestermusikern sofort vertraut vorkam. Erste Versionen des Geräts sahen noch grundlegend anders aus, als nachfolgende Produktionsversionen. Sie wurden noch über eine Schnur an der ein Fingerring befestigt war, gesteuert. In späteren Versionen wurde ein Standardkeyboard hinzugefügt und die frühere Steuerung als zusätzliches Griffbrett oberhalb des Manuals belassen. Weiters gab es Tasten, mit denen das Timbre und der Charakter der Klänge verändert konnte. Es existierte auch eine Version von 1938, die eine mikrotonale Stimmung nach den Spezifikationen des Dichters Rabindranath Tagore und dem Musiker Alain Danielou besaß.

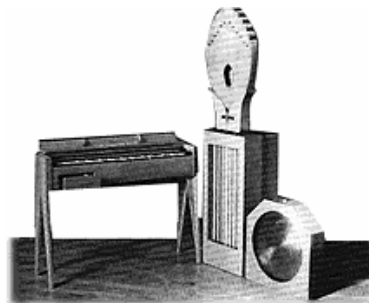


Abb. 12 Das Ondes-Martenot wurde 1928 von Maurice Martenot gebaut. Es besaß ein Keyboard sowie ein Griffbrett zur kontinuierlichen Steuerung der Tonhöhe.

Das *Ondes-Martenot* wurde das erste erfolgreiche elektronische Musikinstrument und verdrängte das *Theremin*. Die gewohnte Art des Spiels über eine Klaviatur

sowie das zusätzliche Griffbrett für Vibrato und Glissando¹ machten das Instrument für Keyboardspieler leicht benutzbar, während das *Thereminspiel* speziell erlernt werden mußte.

Aus heutiger Sicht ist meiner Meinung nach die Bedeutung des *Theremins* nach seiner Wiederentdeckung um 1960 allerdings weitaus höher einzuschätzen.

Ein weiteres Instrument, das ein kontinuierliches Griffbrett besaß, war das vom Elektroingenieur Peter Lertes und dem Pianisten Bruno Hellberger 1929 gebaute *Hellertion*. Das Griffbrett, welches eine herkömmliche Klaviatur ersetzte, bestand aus einem metallenen in Leder eingehüllten Widerstandsstreifen, der auf Druck einen Schaltkreis schloß. Abhängig davon, wo der Streifen berührt wurde, änderte sich die Tonhöhe des Oszillators. Die Stärke des Drucks bestimmte die Lautstärke des Signals. Markierungen halfen dem Spieler die gewünschte Tonhöhe zu finden. Während das erste Modell nur eines dieser Griffbretter besaß, wurden in späterer Folge Versionen mit vier und schließlich sechs der kontinuierlichen Controller gebaut. Damit konnte vier- beziehungsweise sechsfach polyphon gespielt werden. 1931 wurde noch ein mikrotonal gestimmtes *Hellertion* mit 10 Unterteilungen einer Oktave produziert.

3.4.4 Das Trautonium

Unter den anderen Instrumenten mit Griffbrett wie das *Emirotion* (gebaut 1932 von A. Ivanov und A. Rimsky-Korsakov) und dem *Sonar*² (gebaut 1930 von N. Anan'yev) war das *Trautonium* das interessanteste.

Das *Trautonium* wurde ab 1930 vom Elektroingenieur Friedrich Adolf Trautwein gebaut und in Deutschland präsentiert. Das Instrument wurde zwischen 1932 und 1935 von der Firma *Telefunken* gebaut und vermarktet. Ein Anzahl von Komponisten unter ihnen Paul Hindemith schrieben Stücke für das *Trautonium*.

¹ *glissando* [fr.-it.]: (Mus.) a) schnell mit der Nagelseite des Fingers über die Klaviertasten gleitend; b) bei Saiteninstrumenten mit dem Finger auf einer Saite gleitend. [Lexi96]

² laut Berichten konnte das *Sonar* einfache Sprachphrasen wie „mama“ und „papa“ aussprechen als auch konventionelle Instrumente imitieren. Meine Erfahrungen mit der originalen Sprachmaschine von Kempelen und einem aktuellen Nachbau derselben lassen diese Berichte allerdings stark anzweifeln (siehe [Kemp91]). Selektive Wahrnehmung scheint in allen diesem Berichten eine große Rolle zu spielen.

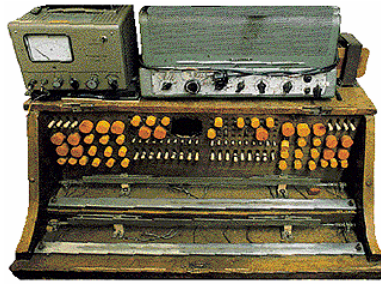


Abb. 13 Das ab 1930 von Friedrich Trautwein gebaute *Trautonium* wurde mittels „Griffbrett“ gespielt. Eine Kombination aus Neonröhrenoszillatoren und Filtern ergab eine frühe Form der subtraktiven Synthese.

Das original *Trautonium* besaß ein Griffbrett bestehend aus einem Widerstandsdraht, der über eine chromatisch¹ markierte Metallschiene gespannt war. Bei Druck auf den Draht wurde der Kontakt mit der Metallschiene geschlossen und die daraus resultierende Spannung zur Tonhöhensteuerung eines Neon-Oszillators verwendet. Das *Trautonium* hatte einen Tonumfang von drei Oktaven und konnte mittels Schalter transponiert werden. Mittels zusätzlicher Schaltkreise konnte das Timbre des Instruments verändert werden, so konnten die Harmonischen² verstärkt oder nicht Harmonische durch selektive Filterung hinzugefügt werden. Das Gerät war damit einer der ersten subtraktiven Synthesizer und konnte zu dieser Zeit völlig neuartige Klänge produzieren.

Der Trautoniumvirtuose und Komponist Oskar Sala entwickelte 1936 das *Konzerttrautonium* und schließlich die Halbleiterversion das *Mixturtrautonium* (1952). Die Klangproduktion des letzteren basierte auf subharmonischer Mischung und bot die Möglichkeit, auf zwei der Trautoniummanuale gleichzeitig zu spielen.

3.4.5 Weitere Instrumente

Das von Givelet and Coupleaux 1929 gebaute *Givelet* (oder *Coupleaux-Givelet-Orge*) kombinierte eine polyphone Klangerzeugung durch Vakuumröhren mit einer Steuerung durch Lochstreifen. Tonhöhe, Lautstärke, Anschlag, Hüllkurve, Tremolo und Timbre konnten so „programmiert“ werden.

¹ Chromatische Tonleiter: die aus 12 gleichen Halbtönen innerhalb der Oktave gebildete Tonleiter. [Lexi96]

² Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches einer Grundschwingung ist [Lexi96]. In diesem Fall sind die harmonischen Obertöne gemeint.

Der *Saraga-Generator* wurde 1931 von Wolja Saraga in Berlin entwickelt. Er bestand aus einer in einer weiß gestrichenen Kiste montierten Fotozelle auf die durch einen Schlitz in einer der Wände Neonlicht gestrahlt wurde. Unterbrechungen des Lichtstrahls bewirkten eine Veränderung der Tonhöhe. Hüllkurve und Klangfarbe wurden durch ein handliches Gerät mit Schaltern manipuliert, die Lautstärke wurde mittels Fußpedal kontrolliert.

F. Sammis baute 1936 das *Singing Keyboard* einen Vorläufer der heutigen Sampler. Das Instrument spielte elektro-optische Aufzeichnungen von Wellenformen auf 35mm-Filmstreifen ab, wenn eine Keyboardtaste gedrückt wurde. Das spätere *Mellotron* verwendete eine ähnliche Technik, nur daß anstatt des Films Magnettonband verwendet wurde.

3.5 1945 - 1960 Nachkriegszeit

3.5.1 Voder

Der Physiker Homer W. Dudley baute 1939 den Voder, den ersten sprechenden elektronischen Synthesizer [Flan65]:

Probably the first electrical synthesizer which attempted to produce connected speech was the Voder (Dudley, Riesz and Watkins). It was basically a spectrum-synthesis device operated from a finger keyboard. It did, however, duplicate one important physiological characteristic of the vocal system, namely, that the excitation can be voiced or unvoiced.

Der *Voder* bestand aus einem zwischen Rauschen und mittels Pedal in der Höhe veränderbarem Ton umschaltbaren Oszillator dessen Signal anschließend in 10 Bandpaßfilter, die die Frequenzen der Sprache umfaßten, geleitet wurde.

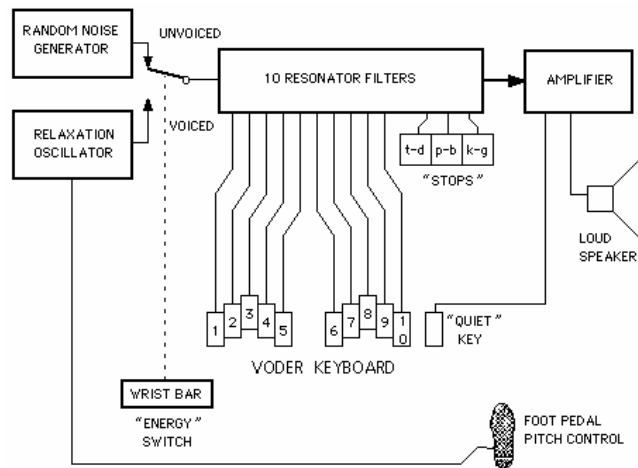


Abb. 14 Schematisches Diagramm des *Voders*, des ersten elektronischen Sprachsynthesizers. Er wurde 1939 von Homer W. Dudley gebaut.

Über 10 Tasten konnten die Lautstärken der Filterausgänge reguliert werden, drei zusätzliche Tasten waren für die Plosivlaute¹ vorgesehen.

Tatsächlich konnte die Maschine verständliche Sprache hervorbringen, sofern sie von Geübten (das Training dafür dauerte circa ein Jahr) bedient wurde.

3.5.2 Electric Orchestra

Um 1945 baute John Hanert für die *Hammond Organ Company* den *Hanert Synthesizer* oder *Electric Orchestra*. Das als Apparatur für die Automatische Produktion von Musik² beschriebene Gerät war ein Instrument für die Komposition und Synthese elektronischer Musik und ähnelte dem späteren *RCA Synthesizer*. Anstatt wie dieser Lochkarten zu verwenden hatte der *Hanert Synthesizer* einen mechanischen Lesekopf der sich über einen 60 Fuß langen Tisch bedeckt mit 11 mal 12 Zoll langen Papierkarten bewegte. Diese Karten speicherten die Klangparameter (Tonhöhe, Dauer, Klangfarbe und Lautstärke) in Form von Graphitmarken, die vom Lesekopf durch elektrischen Kontakt erkannt wurden. Die Elektronik zur Klangerzeugung umfaßte einen ganzen Raum und bestand aus einer Reihe von Vakuumröhrenoszillatoren, einem Rauschgenerator und Waveshapern. Beschleunigung und Verlangsamung der Musik konnte durch Geschwindigkeits- und Richtungsänderung des Lesekopfs erreicht werden. Genauso leicht konnte die

¹ Laut, bei dessen Artikulation der von innen nach außen drängende Luftstrom im Mundraum oder am Hintergaumen völlig gestoppt wird [Meye90]. Im Deutschen sind dies die Laute: p, b, t, d, k, g

² Apparatus for Automatic Production of Music [Obso01]

Reihenfolge der Karten verändert und neue Marken mit einem Graphitstift hinzugefügt werden.

3.5.3 Electronic Sackbut

Der kanadische Komponist, Physiker und Erfinder Hugh Le Caine entwarf eine Reihe innovativer Instrumente und war ein früher Befürworter von benutzfreundlichen Interfaces für moderne Technologien. Sein *Electronic Sackbut*¹ (1945) war das erste Gerät, das man auch nach heutigen Maßstäben einen Synthesizer nennen würde. Das Instrument besaß ein anschlagdynamisches Keyboard, einen Streifen für stufenloses Portamento², Modulationscontroller für Vibrato und Timbre und eine eingeschränkte Voltage Control.



Abb. 15 Hugh Le Caine spielt auf dem *Electronic Sackbut*, dem ersten Synthesizer mit Voltage Control. Das Instrument besaß ein anschlagdynamisches Keyboard, einen Streifen für stufenloses Portamento und Modulationscontroller für Vibrato und Timbre.

Mit Hilfe dieser Steuerungseinrichtungen war ein expressives Spiel trotz der Einschränkung des Instruments auf Monophonie möglich.

3.5.4 Free Music Machine

Die *Free Music Machine* wurde im Jahr 1948 vom Musiker und Sänger Burnett Cross und dem australischen Komponisten Percy Grainger entwickelt. Grainger hatte als Schüler von Busoni die Idee der *Free Music* seit 1900 vorangetrieben: basierend auf acht Tönen, vollständiger Freiheit im Rhythmus und notiert auf

¹ *Sackbut, musical instrument, the immediate predecessor of the modern trombone, made of thin, hammered metal, with a shallow, flat mouthpiece and a narrow, nonflaring bell* [Enca01]

² *Portamento: das Hinüberziehen eines Tones zu dem darauffolgenden, aber abgehobener als legato.* [Lexi96]

Millimeterpapier. Er experimentierte früh mit mehreren *Theremins* und Phonographen, deren Geschwindigkeit er modifizierte. Seine Forschungen brachten ihn über Versuche mit *Player Pianos*¹, die andere Instrumente kontrollierten, zu seiner *Free Music Machine*.

Das Gerät steuerte die Tonhöhe, Lautstärke und Timbre von acht Oszillatoren über zwei große Rollen zwischen denen 16 lange Papierstreifen aufgespannt waren, deren ausgeschnittene Konturen von mechanischen Armen abgetastet wurden. Diese Papierstreifen waren auf ein „Hauptpapier“ mit den Unterkanten aufgenäht, während die Oberkante von den Armen abgetastet wurde.

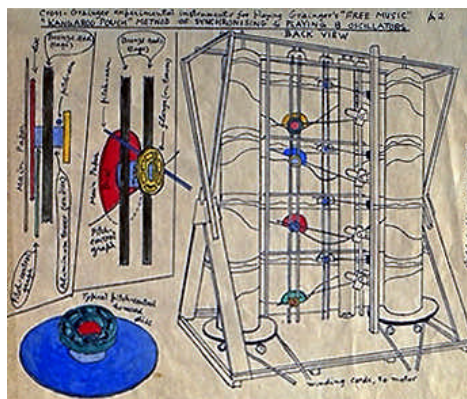


Abb. 16 Diagramm der von Percy Grainger 1948 gebauten *Kangaroo Pouch Free Music Machine*. Das Bild zeigt die zwei großen Rollen, auf denen die Papierstreifen aufgenäht sind. In dem Zwischenraum zwischen „Hauptpapier“ und den aufgenähten Streifen wurden die Abtastarme eingehängt, die die Parameter für die Oszillatoren ermittelten.

Percy Grainger beschreibt in seinen eigenen Worten das obige Diagramm wie folgt [Obso01]:

Each of the 8 oscillators has its own special pitch control graph and sound strength control graph. To the front of the main paper are attached 4 pitch-control graphs (mauve and greenish paper) and 4 tone-strength control graphs (pinkish paper), their top edges cut into "hills and dales" in accordance with the intervals & tone strength desired. These graphs operate oscillators 1,2,3,4. To the back of the Main Paper are attached 4 additional pitch control graphs & amp; 4 additional tone strength control graphs, operating oscillators 5,6,7,8 The bottoms of these 16 graphs are sewn onto

¹ Player Piano: a piano that mechanically plays music recorded by means, usually, of perforations on a paper roll or digital memory on a computer disc. [Brit01a]

the main paper at various heights but the top of each graph is left unattached. Into each pouch thus formed (between the main paper and the graph paper) is inserted a towered metal disc, the tower riding the upon the top edge of the graph & following its up and down movements. These movements are passed on to the axle and tone strength control box of each oscillator by means of metal arms, causing whatever changes in pitch and volume are intended. The blue-and-white discs controlling tone strengths are smaller than the variously coloured discs controlling pitch

3.5.5 Electronic Music Box

Die *Electronic Music Box* wurde als Synthese- und Kompositionsgerät von Dr. Earle L. Kent im Auftrag von *C.G.Conn Ltd.* einer Firma für Elektrische Orgeln in Indiana (USA) entworfen. Wie die frühere *Givelet* arbeitete das Instrument mit Lochstreifen und ermöglichte so dem Komponisten Musik zu schreiben, die kein menschlicher Spieler je hätte aufführen können. Das Gerät sollte mit größerer Geschwindigkeit und einer größeren Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten arbeiten, als es ein Mensch hätte zustande bringen können. Die Klangerzeugung erfolgte mit dem 1951 schon fast veralteten Heterodyning-Effekt bot aber dennoch eine ungewöhnliche Flexibilität in den Manipulationsmöglichkeiten. So konnten Formant-Filter, Lautstärke, Tiefe und Frequenz des Tremolos sowie das „Slurring¹“ zwischen Noten verändert werden.

Die *Electronic Music Box* beeinflusste Harry Olson, der Funktionen des Instruments in den *RCA Synthesizer* übernahm. Das Instrument selbst wurde aber von der Firma *Conn* nicht weiterentwickelt oder kommerziell vermarktet.

3.5.6 Clavivox & Electronium

1950 begann der Komponist und Ingenieur Raymond Scott mit der Entwicklung eines kommerziellen Keyboardinstruments des *Clavivox*. Das Geräte wurde über eine dreioktavige Klaviatur sowie mehrere zusätzliche Tasten und Drehregler kontrolliert. Scotts Idee war es, das kontinuierliche Spiel des Theremins auf eine Tastatur zu übertragen. So besaß die Maschine drei Tasten, mit denen die Parameter der Hüllkurve beeinflusst werden konnten. Ein Mitarbeiter Scotts Robert

¹ slur² [sl3:] v/t mus. Töne binden. [Lexi96]

Moog holte sich von diesem Vorläufer der späteren Synthesizer wertvolle Inspirationen für seine eigenen Instrumente, die Mitte der 60er Jahre des Zwanzigsten Jahrhunderts produziert wurden.

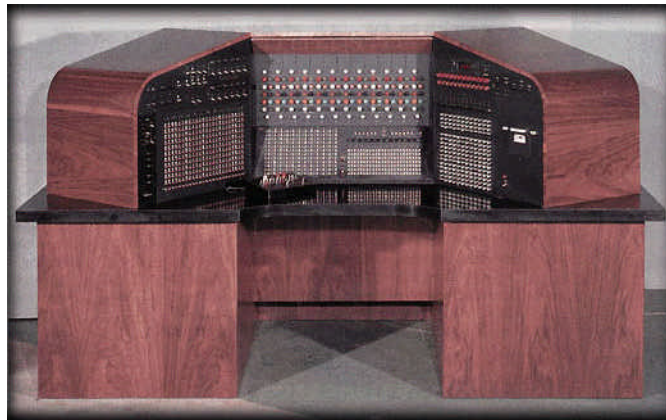


Abb. 17 Das von Raymond Scott gebaute *Electronium* eine *composition-performance-machine*. Die Besonderheit des Instruments bestand in einem Tonhöhen-Sequencer, der aus Relays konstruiert war.

Um 1950 baute Scott einen Prototypen des *Electroniums*, ein riesiges Instrument, dessen Besonderheit ein Tonhöhen-Sequencer war. Aus Hunderten von Relays, die zu jener Zeit in der Telefonvermittlung eingesetzt wurden, konstruiert, benötigte dieser Teil des Geräts eine spezielle Schallisolierung, um das Rattern der elektromechanischen Bauteile zu dämpfen. Die Klänge wurden von 16 Oszillatoren, einer modifizierten *Hammond-Orgel*, einem *Ondes-Martenot* und zwei *Clavivox* erzeugt. Die Apparatur besaß kein Keyboard und wurde von Scott als

instantaneous composition-performance machine, the Electronium is not a synthesizer and it cannot be used for the performance of existing music. The instrument is designed solely for the simultaneous and instantaneous composition-performance of musical works

beschrieben [Obso01]. Er benutzte die Maschine für eigene elektronische Musik um 1960 mit repetitiven Elementen, die minimalistische Musik vorwegnehmend.

3.5.7 Composer-Tron

Osmond Kendall entwickelte 1953 für die kanadische *Marconi Company* das Analoge Synthese- und Kompositionsinstrument *Composer-Tron*. Herausragendstes Merkmal war ein Kathodenstrahleingabegerät, das Muster lesen konnte, die mit einem Fettstift auf die Oberfläche gemalt wurden. Diese Kurve konnte das Timbre

der Noten definieren oder die Hüllkurve bestimmen. Rhythmische Sequenzen konnten mittels bemalter Filmstreifen programmiert werden. Zweck des *Composer-Trons* war es, die Lücke zwischen Komponist und Interpret zu schließen und alle Aspekte der Musik vom Komponist steuerbar zu machen.

3.5.8 RCA-Synthesizer

Der *RCA Synthesizer* wurde von den bei den *RCA Princeton Laboratories* angestellten Harry Olsen und Herbert Belar 1956 entwickelt. Das Ziel war es, ein Gerät für die automatische Generierung von populärer Musik zu schaffen. Aufgrund von zufälligen Variationen von populärer Musik sollten neue erfolgreiche Stücke entstehen, was aber an der damaligen zu geringen Rechenkapazität und der wenig tragfähigen Theorie scheiterte.

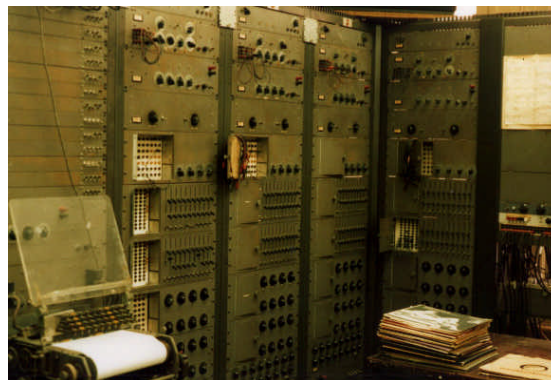


Abb. 18 Der von Harry Olsen und Herbert Belar gebaute *RCA Synthesizer*. Er wurde über Lochstreifen gesteuert und besaß eine Aufzeichnungsmöglichkeit auf Schallplatte.

Dennoch war der *RCA Synthesizer* eine Inspirationsquelle für viele Komponisten elektronischer Musik in den 50er Jahren des Zwanzigsten Jahrhunderts.

Die Klangerzeugung erfolgte über Vakuumröhrenoszillatoren¹, die über Lochstreifen in den verschiedensten Parametern kontrolliert wurden. So konnten die Oszillatoren gemischt und der Klang durch Divider, Filter, Hüllkurvenfilter, Modulatoren und Resonatoren verändert werden. Das resultierende Signal wurde über zwei Lautsprecher mitgehört und auf eine Schallplatte aufgezeichnet. Sechs konzentrische Rillen, jede drei Minuten lang, konnten danach wieder auf eine zweite Schallplatte gemischt und aufgenommen werden. Erst 1959 ersetzen die Konstrukteure die Aufzeichnungsvorrichtung durch Tonbandrekorder.

¹ 12 Oszillatoren in der ersten Version des Instruments und 24 in der zweiten.

3.6 1960 - 1980 Modulsysteme und Massenproduktion

Für die Entwicklungen ab 1960 waren neue Technologien wie der massenhafte Einsatz von Transistortechnik und die Verwendung der Spannungssteuerung (Voltage Control) von großer Bedeutung. So wurden erstmals portable und flexible Modulsysteme möglich und auch für Einzelpersonen finanziell erschwinglich. Durch die Einführung des *Minimoogs* ab 1970 war der Verwendung des Synthesizer in breiten Musikkreisen keine Schranke mehr gesetzt. Elektronische Musikinstrumente gehörten ab nun zum Standardinstrumentarium verschiedenster Stilrichtungen.

3.6.1 MUSIC I-V

Max Matthews¹ begann 1957 Musiksoftware für IBM Computer zu entwickeln. Ziel seiner Bemühungen war es, ein System zur digitalen Synthese von Musik zu schaffen. Sein Programm *MUSIC I* konnte noch keine komplexen Klänge erzeugen, es war aber die erste klangerzeugende Computersoftware der Geschichte. *MUSIC III* war um 1959 nach dem Umstieg von den langsamen IBM 704 Röhrenrechnern auf die weitaus schnelleren und bedeutend einfacher zu bedienenden IBM 7094 Transistorcomputern die erste Version, die von Komponisten als direktes Syntheseprogramm genutzt wurde. Mit der Version 4F schließlich wurde das Programm 1965 von Arthur Roberts in FORTRAN übersetzt und somit plattformunabhängig. *MUSIC V* sollte dann 1968 die letzte von Max Matthews geschriebene Version sein, die Ideen wurden jedoch weitergeführt bis hin zu *CSound*² (1986) von Barry Vercoe, das noch heute auf zahlreichen Plattformen verfügbar ist.

3.6.2 MUSYS III

Das hybride System bestehend aus zwei PDP8-Rechnern und der *MUSYS III* Hardware wurde 1962 von Peter Zinovieff, David Cockerell (Hardware) und Peter Grogono (Software) entwickelt. Die Klangerzeugung wurde dabei von 252 Oszillatoren, die in Gruppen zu je 84 aufgeteilt waren, bewältigt. Pro Oszillator waren die Wellformen Sinus und Rechteck oder eine Kombination aus diesen beiden

¹ Die Musiksoftware *MAX* ist nach Max Matthews benannt.

² mehr Information zu *CSound* in [Dupr01].

möglich. Des weiteren enthielt das System vier digital kontrollierte Oszillatoren, die auch als LFOs verwendet werden konnten, zwei Rauschgeneratoren, eine Filterbank mit 64 Bandpaßfiltern mit angeschlossenem Oszilloskop, eine zusätzliche Filterbank mit 12 Bändern, drei Hüllkurvengeneratoren, eine Haupthüllkurve mit Integrator und zahlreiche weitere Baugruppen. Der größte Teil der Klangerzeugung war über die Computer steuerbar, der Synthesizer war unter anderem in der Lage, Klänge additiv nachzubilden und monophon spielbar zu machen. Die Eingabe erfolgte über ein Standard-Computerkeyboard und eine anschlagdynamische Klaviatur.

Peter Zinovieff gründete 1969 die Firma EMS und David Cockerell wurde Mitarbeiter im Entwicklungsteam.

3.6.3 Buchla Synthesizer

Der Avantgarde-Komponist Morton Subotnik beauftragte im Jahr 1960 Don Buchla mit dem Bau eines Instruments für Live-Elektronik und Komposition. Der erste modulare Synthesizer wurde 1963 von Buchla unter dem Namen von Subotniks Studio „San Francisco Tape Music Center“ vollendet. Buchlas früher Synthesizer waren ganz auf experimentelle Musikproduktion ausgerichtet und enthielten ungewöhnliche Controller wie druck- und widerstandsempfindliche Platten oder auch erste analoge Sequencer.

Die Konstruktion von Modulsystemen wurde erst durch die Einführung der Voltage Control, die zuvor unter anderem von Harald Bode entwickelt worden war, möglich. Eine Definition von Voltage Control findet sich in [Buch01]:

Voltage control may be defined as the use of electrical voltages to determine the instantaneous values of musical parameters. The concept was introduced to the electronic music studio in 1963 (at the San Francisco Tape Music Center) and was instrumental in making electronic music composition a real-time process (instead of a tedious tape-splicing exercise).

Mit Hilfe dieser Technik konnten also einzelnen Module des Systems logisch verschaltet werden.



Abb. 19 Das *Buchla 100* Modulare System aus dem Jahr 1963 entworfen von Don Buchla. Über 30 verschiedene Module konnten zu einem flexiblen System kombiniert werden.

3.6.4 Mellotron

Das *Mellotron* wurde 1963 als Vorläufer des modernen Samplers von den Brüdern Leslie, Frank und Norman Bradley produziert und von der Firma *Mellotronics* (später *Streetly Electronics*) vermarktet. Jeder Taste der Klaviatur war ein Tonband zugeordnet, das der Tonhöhe der zu spielenden Note entsprach. Bei Tastendruck spielte das Instrument die Aufnahme ab und führte beim Loslassen derselben den Abspielkopf an den Anfang des Bands zurück. Diese Technik ermöglichte das verklingen einer Note, beschränkte aber die Notenlänge auf ungefähr acht Sekunden. Die meisten Modelle hatten dreispurige Bänder, die mit unterschiedlichen Klängen bespielt waren, die über Regler am Instrument ausgewählt werden konnten. Eine Position zwischen zwei Spuren ergab eine Mischung aus beiden Klängen. Trotz der verhältnismäßig unzuverlässigen Mechanik besaß das Instrument Vorteile gegenüber zu dieser Zeit existierenden Synthesizern wie die vollständige Polyphonie (bis auf die Rückspulzeit der Bänder) und die relativ gute Nachahmung von Natursounds. Grundsätzlich war es jedoch nicht möglich, eigene Klänge einzuspielen, lediglich im Werk konnten Sonderanfertigungen in Auftrag gegeben werden.

3.6.5 Moog Synthesizer

Im Jahr 1964 baute Robert Moog¹ ein früherer Mitarbeiter Raymond Scotts, der sich 1961 mit einer Firma für Theremin-Bausätze selbständig gemacht hatte, den

¹ Moog wird bemerkenswerterweise wie das englische Wort *rogue* ausgesprochen.

ersten seiner Synthesizer in einer Reihe von Modellen. Die Designs der Instrumente entstanden in Zusammenarbeit mit den Komponisten Herbert A. Deutsch und Walter¹ Carlos.

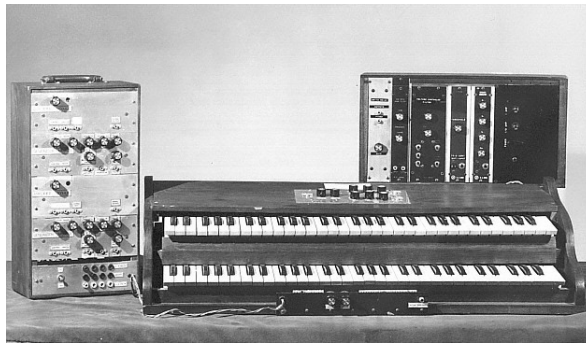


Abb. 20 *This Moog synthesizer is one of two prototypes built by Robert Moog from July-September 1964, with additional modules added in 1964 and 1965. One was taken to Toronto University that 1965, while this one was kept by the inventor and his colleague, Herbert Deutsch. [Moog00]*

Nach dem unerwarteten Erfolg von Carlos *Switched On Bach*, einer 1968 ausschließlich mit Moog-Synthesizern als Klangerzeugern aufgenommen Platte, lieferte Moogs Firma eine Vielzahl von Modulsystemen an diverse Musiker. Waren es zuvor hauptsächlich Komponisten und experimentelle Musiker gewesen, so waren es nun auch Popmusiker, die sich für die neuen Instrumente interessierten.



Abb. 21 Der ab 1970 gebaute *Minimoog* „Modell A“. Die meisten Verbindungen zwischen den einzelnen Module waren bei diesem Instrument schon fix verkabelt, einzig einige Schalter und Drehregler waren zur Bedienung notwendig.

Besonders der 1970 herausgebrachte *Minimoog* wurde durch seine kompakte Bauweise und sein vereinfachtes Interface ein ideales Bühneninstrument. Die meisten Verbindungen zwischen den einzelnen Module waren bei diesem Instrument fix verkabelt, sodaß die fehlerträchtige Patchverkabelung wegfiel, einzig

¹ später: Wendy Carlos

einige Schalter und Drehregler waren – überschaubar angeordnet – zur Bedienung notwendig.

Der 1973 vermarktete *1130 Drum Controller* war das erste kommerziell erhältliche Instrument, mit dem elektronische Schlagzeugklänge live gespielt werden konnten. Das Gerät, das wie eine akustische Snare-Drum aussah, besaß einen Sensor, der den Schlag auf das Fell messen konnte, diese Impulse wurden dann über ein Modularsystem (der *Drum Controller* war ein Modul) hörbar gemacht.

Trotz der aufsehenerregenden Erfolge der Synthesizerlinie überlebte Moogs Firma kaum ein Jahrzehnt, größere und auch geschäftstüchtigere Firmen wie *Roland* und *ARP* führten die Ideen weiter und entwickelten in Folge sowohl kostengünstigere als auch komplexere Instrumente.

3.6.6 Synket

Der 1964 für den Komponisten John Eaton gebaute Synthesizer genannt *Synket* nach dem Konstrukteur Paul Ketoff war der erste dezidiert als portables Live-Instrument gebaute Synthesizer. Es war im Grunde kein Modularsystem, besaß jedoch ein Patchpanel an dem über steckbare Kabel zusätzliche Modulationsverbindungen definiert werden konnten.

3.6.7 ARP Synthesizer

Nach dem Erfolg von Carlos Platte *Switched On Bach* gründete Alan R. Pearlman 1969 die Firma *ARP Instruments*. 1970 kam dann der erste Synthesizer *ARP 2500*¹ auf den Markt. Das Instrument besaß anstatt der bis dahin üblichen Buchsen für die Verkabelung der Patchverbindungen Längsregler, die über Farbkodierungen gekennzeichnet waren und das selbe leisteten, wie die gebräuchlichen aber umständlichen Kabelstränge. Allerdings bereitete diese Technik Probleme, da einzelne Verbindungen zum Übersprechen² neigten. In späteren Modellen wurde daher teilweise wieder davon abgegangen.

Der *ARP 2600*, einer dieser Nachfolger wurde als Einsteigermodell in die elektronische Klangerzeugung konzipiert ohne jedoch allzu viele Beschränkungen

¹ originally labeled "Tonus, Inc" [Synth00]

² Übersprechen ist eine spezielle Form der Leitungsbeeinträchtigung. Dabei wird die Störung nicht allgemein im Umfeld, sondern durch Ströme und Spannungen von Signalen erzeugt, die auf eine benachbarte Leitung übertragen werden. [Bund98]

zuzulassen. Der modulare Synthesizer war mit einer Anzahl an fest verdrahteten Verbindungen ausgestattet, die dem Benutzer eine Standardfunktionalität bereitstellten. Über Patchkabel konnte der erfahrene Benutzer diese Verbindungen ersetzen oder ergänzen. Dadurch war es für Anfänger leicht, einen Einstieg in die Bedienung des Geräts zu finden, ohne Fortgeschrittene User in ihren Möglichkeiten einzuschränken.

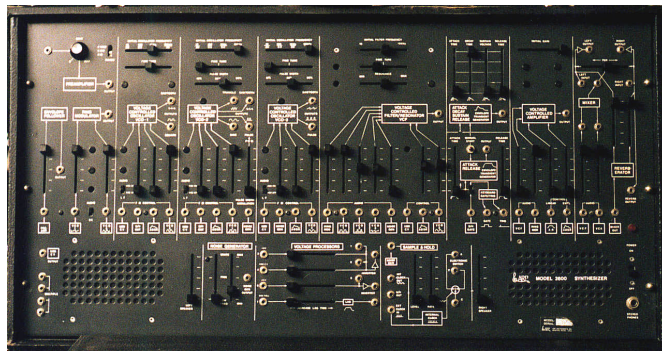


Abb. 22 Das Interface des ARP 2600 mit aufgedruckter Beschreibung. Der modulare Synthesizer war mit einer Anzahl an fest verdrahteten Verbindungen ausgestattet, die dem Benutzer eine Standardfunktionalität bereitstellten. Über Patchkabel konnte der erfahrene Benutzer diese Verbindungen ersetzen oder ergänzen.

3.6.8 EMS Synthesizer

Die englische Firma *EMS (London) Ltd.* wurde vom Elektronikingenieur und Komponisten Peter Zinovieff gegründet. Das bekannteste Produkt wurde der 1969 vorgestellte Synthesizer *VCS 3*¹, ein monophones Instrument mit 3 spannungsgesteuerten Oszillatoren, einem Joystick und einer Routing-Matrix. Dieses Patchboard, das im Grunde die Kabelverbindungen der modularen Synthesizer ersetzte, bestand aus einem Steckfeld, in das kleine Stifte gesteckt wurden. Diese schlossen einen Kontakt und verbanden so eine Matrixzeile mit einer Spalte.

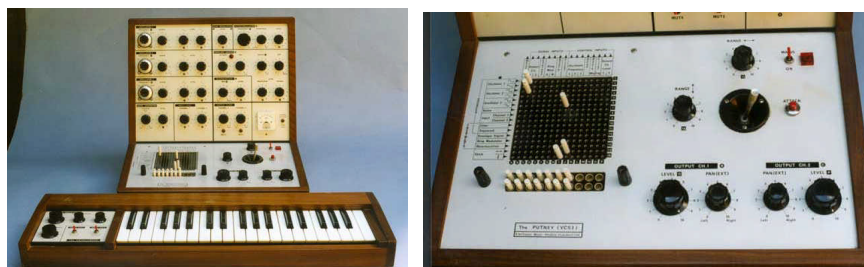


Abb. 23 Der 1969 von EMS gebaute VCS 3 „Putney“. Er besaß eine 16x16-Steckmatrix, über die die Patchverbindungen mit kleinen Stiften gesteckt werden konnten.

¹ auch *Putney* genannt

Der *Putney* erhielt noch einige Nachfolger, deren Mehrzahl ebenfalls die erprobte Steckmatrix besaßen. Der *EMS Synthi 100* hatte zum Beispiel zwei 60x60 Matrizen, wodurch die Irrtumswahrscheinlichkeit beim programmieren des Instruments allerdings nicht geringer wurde.

Obwohl die Firma *EMS* nach 1979 mehrmals verkauft wurde, wird eine geringe Zahl an Geräten nach den ursprünglichen Spezifikationen noch immer produziert.

3.6.9 Crackle Box

Hugh Le Caine baute 1962 das *Printed Circuit Keyboard*, eine Tastatur, die mit der Leitfähigkeit der Finger arbeitete. Wird eine Taste berührt, fließt ein kleiner Strom von einer Elektrode zur anderen und schließt so den Kontakt.

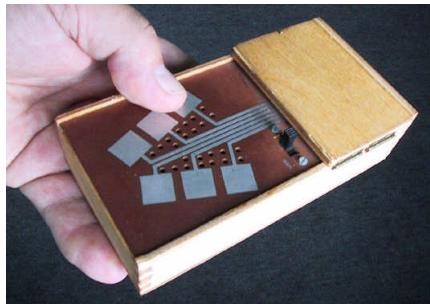


Abb. 24 Die von Michel Waisvisz 1969 gebaute *Kraakdoos* oder *Cracklebox*. Das Instrument verwendet die Leitfähigkeit der Finger und des Körpers zur Klangveränderung.

Michel Waisvisz benutzte 1969 eine ähnliche Technik für seine *Kraakdoos* oder *Cracklebox*. Wie beim Circuit-Bending¹ werden einzelne Kontakte des Instruments durch Berührung mit den Fingern verbunden. Die je nach Druckstärke, Feuchtigkeit der Haut, Art des Fingers etc. unterschiedliche Leitfähigkeit überträgt andere Spannungswerte an den verbundenen Kontakt. So kann mehr oder weniger intuitiv das Instrument gespielt werden, eine Variation im Fingerdruck oder ein Wechseln des Fingers oder der Hand ändert den Klang.

Michel Waisvisz schreibt in [Wais01]:

The Cracklebox was probably the first portable selfpowered analog synthesizer with inbuilt loudspeaker.

4000 dieser kleinen Instrumente wurden von STEIM in Amsterdam verkauft.

¹ mehr zum Thema Circuit-Bending unter [Ghaz00].

Der Nachfolger der *Kraakdoos* wurde 1976 der *Crackle Synth*. Er bestand aus den Komponente von 3 *Crackleboxen*, die über Kontakte miteinander verbunden werden konnten. Regler steuerten den Grad der Kontrollierbarkeit des Systems, wobei ein Minimum an Kontrollierbarkeit bedeutete, daß das Instrument alleine stundenlang spielen konnte. Der *Crackle Synthesizer* war wie der kleine Vorläufer portabel und unanhängig von einer Stromquelle. Eingebaute Batterien, Verstärker und ein tragbarer Lautsprecher, machten das Instrument überall einsetzbar.

Der Klang des Synthesizers muß nach einer Anekdote in [Wais01] zu schließen für gewöhnliche Ohren zumindest seltsam gewesen sein, was meine eigenen Versuche mit Circuit-Bending bestätigt:

Michel Waisvisz was once brought to a police station in the Ardennes after having been found playing on a clear night in the woods. The policemen thought they captured some kind of spy. They didn't believe this was music even after a short concert at the police station. He was however released.

Ab 1976 entstanden noch einige ähnliche Performanceinstrumente, wie die *Crackle Family*, eine Installation, in der das Besteck eines imaginären Mahls auf leeren Tellern die Klänge steuerte.

3.6.10 Lyricon und Electronic Valve Instrument

Das *Lyricon*, das aus einer Art Klarinette und einem angepaßten Synthesizer besteht wurde 1975 von Bill Bernardi für die Firma *Computone Inc.* entwickelt. Die Blasströme werden dabei in elektronische Spannungen umgewandelt, die wiederum den Synthesizer ansteuern. Das monophone Instrument besitzt einen Basisoszillator mit fünf hinzumischbaren Suboszillatoren, die den Obertongehalt bestimmen.

Eine zweite verbesserte Version des *Lyricons* kam 1979 auf den Markt. Das Instrument besaß die Form einer Klarinette mit 14-Klappen Mechanik und verfeinerter Tonerzeugung. Letztere ist über zwei VCOs duophon gestaltet und bietet die Wellenformen Sägezahn und Rechteck. Neben diversen Parametern, die auch über den Lippendruck oder den Blasdruck verändert werden konnten wie Intervall zwischen den Oszillatoren, Filtermodus, LFO-Geschwindigkeit konnte das Instrument auch Steuerspannungen für externe Synthesizer liefern.

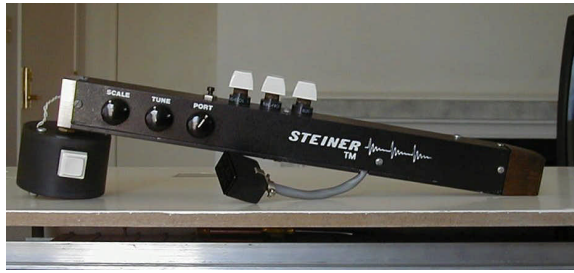


Abb. 25 Ein von Nyle Steiner entworfenes *Electronic Valve Instrument*, ein der Trompete nachempfundenes Interface für elektronische Musik.

Das von Nyle Steiner gebaute *Steiner Horn* war 1975 das erste in einer Reihe von sogenannten *Electronic Valve Instruments (EVI)*, denen die *Electronic Wood Instruments (EWI)* nachfolgten sollten. Als Trompeter beschäftigte sich Steiner schon seit 1964 mit der Idee, ein Interface für elektronische Musik zu entwickeln, das einem Blasinstrument nachempfunden sein sollte. Die ersten Versuche, eine Trompete möglichst genau zu imitieren waren nicht sehr erfolgversprechend, sodaß sich Steiner entschloß, das Interface von dem der Trompete abweichend zu gestalten, dafür aber die Mächtigkeit des Instrument zu steigern. Später Modelle verwendeten Luftdrucksensoren für die Anblasdruckmessung, einen Vibratosensor, einen Lippendrucksensor für Portamentoeffekte und Regler für Pitch-Bend. Das *EVI* wurde an mehrere Synthesizer, unter anderem auch an das Mellotron oder die von Steiners Firma *Steiner-Parker* produzierten Geräte, angepaßt. Nach der Einführung von MIDI gab es von *AKAI Electric Co.* produzierte MIDI-fähige Varianten des *EVI* und des *EWI*, einem eher den Holzblasinstrumenten ähnlichen Modell.

3.6.11 Der Käfig

Wolfgang Flür und Florian Schneider – Mitglieder der deutschen Band *Kraftwerk* – bauten 1976 für die Bühnenshow der Gruppe den sogenannten *Käfig*. Dieser war ein mannshoher Quader, der nur aus den Kanten bestand und auf dem UV-Lichtschranken befestigt waren. Der Spieler konnte im Inneren des Instruments durch Bewegungen die Lichtschranken unterbrechen und so Schlagzeugklänge auslösen. Allerdings fielen bei stärkerem Licht wegen der unzureichenden Sensortechnik oft die Sensoren aus, was schließlich den Ausschlag gab, das Instrument nicht weiter zu verwenden.

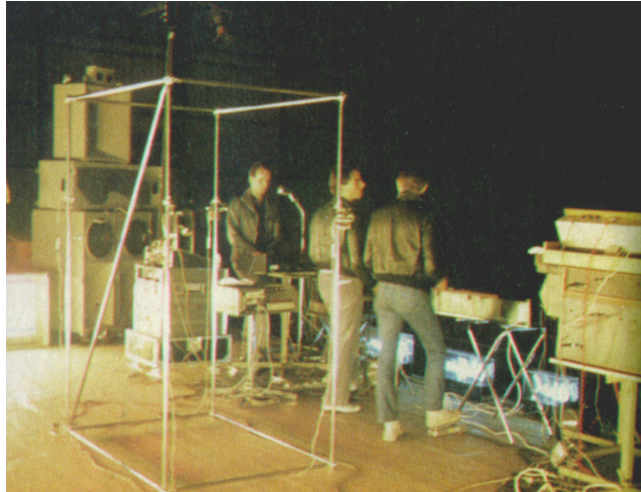


Abb. 26 Der 1976 von den Mitglieder der Band Kraftwerk Wolfgang Flür und Florian Schneider gebaute Käfig. Der Spieler konnte im Inneren des Instruments durch Bewegungen die UV-Lichtschranken unterbrechen und so Schlagzeugklänge auslösen.

3.7 1980 - 1990 Digitalisierung und MIDI

Zwei zentrale Technologien wurden nach 1980 entwickelt beziehungsweise kamen zum Durchbruch: die digitale Klangerzeugung und die Musikschnittstelle MIDI. Während erstere der Beginn einer fortdauernden Entwicklung bis hin zur heutigen Softwaresynthese markierte, ermöglichte es MIDI erstmals ab diesem Zeitpunkt, beliebige Musikgeräte wie Klangerzeuger, Keyboards, alternative Controller, ja sogar Lichtsteuerungsanlagen miteinander zu verbinden. Trotz diverser Beschränkungen erwies sich der MIDI-Standard als ungeheuer erfolgreich und ist bis heute in Kraft.

Die ersten digitalen Klangerzeuger waren die von Max Matthews konzipierten Musiksysteme *MUSIC I-V*. Diese nicht echtzeitfähigen Rechnersysteme konnten (siehe Kapitel 3.6.1) digitale Klänge berechnen und über Lautsprecher ausgeben. Aufgrund zu geringer Rechenkapazität konnten diese Algorithmen allerdings nicht live gespielt werden, erst mit dem Fortschritt der Rechenleistung und der Erfindung der FM-Synthese konnten erstmals digitale Synthesizer für den Live-Einsatz gebaut werden. Mit dem Aufkommen digitaler Sampler ab 1975 wurde dann eine weitere digitale Klangerzeugungstechnik bedeutsam.

3.7.1 FM-Synthese

1972 publizierte der an der Stanford University forschende Dr. John Chowning die Ergebnisse seiner Studien zur Klangerzeugung durch Frequenzmodulationen. Ein Jahr darauf begann die Firma *Yamaha* mit der Weiterentwicklung dieser Syntheseform und brachte schließlich 1981 die ersten FM-Synthesizer *GS1* und *GS2* auf den Markt. Diese 16-stimmigen Preset-Instrumente waren der Markttest für den ab 1983 produzierten *DX7*, der sich als enorm erfolgreich erwies.



Abb. 27 Der ab 1983 von *Yamaha* vermarktete Fm-Synthesizer *DX-7*. Das 16-stimmige Instrument war überaus erfolgreich und hatte eine stattliche Anzahl an Nachfolgemodellen.

Durch die Komplexität der Parameter und die schwer verständliche Auswirkung auf das Klangergebnis entstand bald ein Markt für Soundbibliotheken von Drittanbietern. Der Preisdruck der relativ billigen und stimmenstarken FM-Synthesizer zwang andere Hersteller nach dem Vorbild von Yamaha, Bedienelemente einzusparen, was viele der Modelle auf Grund der daraus resultierenden mangelhaften Usability praktisch zu reinen Preset-Geräten machte, was sich erst mit der Wiederbelebung der alten Analog-Synthesizer-Konzepte Anfang der 90er Jahre zu ändern begann. Der *DX7* war auch eines des ersten Instrumente, das mit der MIDI-Schnittstelle ausgestattet war. Zusätzlich war noch eine Buchse für den Anschluß eines Breath-Controllers vorhanden. Dieser Controller bestand aus einem Mundstück, mit dem das Timbre des Synthesizers verändert werden konnte.

3.7.2 Sampler

Das 1979 von *Fairlight* veröffentlichte *Computer Music Instrument* war der erste kommerziell erhältliche digitale Sampler. Das *Fairlight CMI* besaß zwei sechsoktavige Manuale ein Computerkeyboard und einen interaktiven Monitor auf dem mit einem Lichtgriffel Wellenformen gezeichnet und editiert werden konnten. Durch den extrem hohen Preis war das System nur für die größten Studios erschwinglich. Beeindruckt von den Fähigkeiten des *Fairlight CMI* begannen Dave Rossum und Scott Wedge von der Firma *E-mu* mit der Entwicklung eines Instruments, das den firmeninternen Namen *Sampler* trug. Das spätere 1981 produzierte Instrument, der *Emulator*, konnte durch neue Speichertechnologie vergleichsweise günstig hergestellt werden und wurde bald ein Erfolg.



Abb. 28 Der *Emulator II* der Nachfolger des von *E-mu* produzierten ersten Modells. Das Samplingkeyboard bot 17,6 Sekunden 8-Bit-Samples bei einer Samplerate von 27,5kHz.

Der *Emulator* war achtfach¹ polyphon hatte eine Samplekapazität von 2 Sekunden bei 27,5kHz und acht Bit Breite, ein 5¼"-Floppydisklaufwerk und ein 49-Tasten-

¹ es existierten auch 2- und 4-stimmige Modelle.

Keyboard. Wegen eines Designfehlers – das Instrument besaß keinen VCA, weshalb lange Samples stets vollständig ausgespielt wurden – wurden erst die Nachfolger, der *Emulator II* und der *Drumulator*, eine samplebasierte Drummachine, wirklich große Erfolge.

Die heute *E-mu* gehörende Firma *Ensoniq* stellte 1984 das Samplekeyboard *Mirage* vor. Die Leistungsdaten waren ähnlich, allerdings war das Instrument wesentlich preiswerter als der *Emulator*.

3.7.3 Wavetable Synthesizer

Die 1975 von Wolfgang Palm in Hamburg gegründete Firma *PPG* oder *Palm Productions GmbH* brachte 1981 den *PPG Wave 2* auf den Markt. Dies war der erste in einer Reihe von Wavetable-Synthesizern, mit digitalen Wavetable-Oszillatoren und analogen Filtern und VCAs. Aufgrund der neuen Synthese besaßen die Instrumente einen charakteristischen und bis dahin ungehörten Klang. Gesteuert wurden die Geräte über eine 5-oktavige Klaviatur und etliche Drehregler am Gehäuse. Palm hatte auch ein proprietäres Kommunikationsprotokoll entwickelt, mit dem die einzelnen Geräte Daten austauschen konnten, als jedoch ein Jahr später MIDI Industriestandard wurde, gab er dieses Protokoll bald zugunsten der neuen Schnittstelle auf. Mit Hilfe des separaten *Waveterms*, eines speziell entwickelten Computers, konnten neue Wavetables durch die Angabe von Punkten eines Graphen oder durch Sampling in den Synthesizer geladen werden. Kurz bevor die Firma wurde 1987 geschlossen wurde, wurde noch an Prototypen für den wohl ersten Harddiskrekorder genannt *HDU* für *Hard Disk Unit* gearbeitet. Ein weiteres innovatives Projekt wurde durch die Auflösung von *PPG* nie realisiert [Vail00]:

Although PPG didn't stay in business long enough to get the Realizer into production, Palm did get it to perform some pretty interesting tricks. The Realizer had all four basic kinds of sound generation: an analog model, an FM model, wavetable synthesis, and a sampler. But it never was finished, because it was too big a project.

Wolfgang Palm arbeitete nach dem Ende seiner Firma bei *Waldorf Electronics* weiter, die bis heute Wavetable-Synthesizer wie den *Microwave XT* herstellt.

3.7.4 Elektronische Drums

Mit den Designs von Dave Simmons und Konkurrenten wurden elektronische Drums Mitte der 1980er Jahre populär. Besonders die Modelle *SDS 8* und *SDS V* von *Simmons* waren bald ein erfolgreicher Quasistandard. Die Kombination aus einem analogen Drumsynthesizer und fünf hexagonalen, flachen und gut spielbaren Pads machten die *SDS* Serie beliebt bei Musikern.

In weiterer Folge wurden auch Varianten, deren Klangerzeugung digital mit Samples funktionierte, produziert. Mit dem 1987 eingeführten *SDX*, einem Drumsampler mit der damals erstaunlichen Qualität von 44,1 kHz und 16 Bit, teilte Simmons die Drum-Pads in Zonen auf: je nach Position und Schlagstärke konnten unterschiedliche Samples oder MIDI-Noten getriggert werden. Das *SDX* war mit einem Bildschirm und Diskettenlaufwerk ausgestattet und für die besonders gelungene Benutzerführung bekannt.



Abb. 29 Das von Dave Simmons entwickelte *SDS V*. Die Kombination aus einem analogen Drumsynthesizer und fünf hexagonalen, flachen und gut spielbaren Pads machten die *SDS* Serie zu einem erfolgreichen Produkt.

Die 1983 in Schweden gegründete Firma *Clavia* brachte im selben Jahr ein Vorserienmodell der *Digital Drum Plate 1* heraus. Das digitale Instrument sah in etwa wie eine einzelne elektrische Heizplatte aus und konnte auf EPROM-Karten gespeicherte einzelne Klänge in feinen Abstufungen und sehr natürlich spielen. Dieses und die darauf folgenden nunmehr *ddrum* genannten Instrumente waren die ersten mit digitaler Klangerzeugung.

Dem einzelnen Drumpad folgte bald ein ganzes Drumkit, das dann auch aus mit echten Trommelfellen ausgestattet war und so dem Spieler eher entgegenkam als die bis dahin üblichen Gummiplatten.

3.7.5 Dataglove

Das erste bekannte Gerät zu Messung von Handpositionen wurde von Dr. G. Grimes von *AT & T Bell Labs* im Jahr 1983 patentiert. Der sogenannte *Digital Data Entry Glove* war ein Handschuh mit Biegesensoren an den Fingern, Tastsensoren auf den Fingerspitzen und Sensoren für die Position der Hand im Raum. Das Gerät war als eine Alternative zu herkömmlichen Computertastaturen gedacht, wurde aber auch als ein System zur Übersetzung der Gehörlosensprache verwendet.

Das erste kommerziell erhältliche Produkt war der von Thomas Zimmerman und Jaron Lanier entwickelte *VPL DataGlove*. Zimmermans Motivation zu diesem Projekt war es, ein Eingabegerät zu entwickeln, mit dem er „Luftgitarre“¹ spielen konnte [Zimm96]:

The dataglove started as a project in the last 1970's with my friend Sam Wantman to build an electronic air guitar so we could play just like Jimi². I also experimented with wiring dancers with bend sensors so their motions would create sound

Er hatte nach 1983 Software und Prototypen produziert, mit denen er auf einem *Atari 400* Computer „Luftgitarre“ spielen konnte. Dazu hatte er Sensoren für die Messung der Fingerkrümmung aus Lichtleitern entwickelt, die an einem Gartenhandschuh befestigt wurden.



Abb. 30 Der erste kommerziell erhältliche Datenhandschuh war der *VPL DataGlove*. Das ab 1983 entwickelte Gerät war mit dem Ziel geschaffen worden, damit wie Jimi Hendrix „Luftgitarre“ spielen zu können.

Zusammen mit Jaron Lanier und anderen gründete er die Firma *VPL Research*, deren erstes Produkt 1986 der *DataGlove* war. Zimmerman verließ 1987 die *VPL*, Jaron Lanier entwickelte die Idee weiter bis hin zum *Cyber-Sax* [Lani01].

¹ Gitarre spielen ohne physikalisches Instrument

² im HTML-Original verweist hier ein Link auf ein Foto von Jimi Hendrix.

Im Jahr 1989 brachte *Mattel* den *PowerGlove*, einen Datenhandschuh nach dem Vorbild und den Patenten des *VPL*-Produkts, als Peripheriegerät für *Nintendos* Videospielconsole *NES* auf den Markt. Etliche Musiker benutzten darauf den *PowerGlove* als Eingabegerät, teilweise über Interfaceboxen und spezielle Software.

3.7.6 Very Nervous System

Die interaktive, ab 1986 entwickelte Installation *Very Nervous System* von David Rokeby bestand aus drei Videokameras und speziellen Verarbeitungsprozessoren, die Synthesizer ansteuerten.

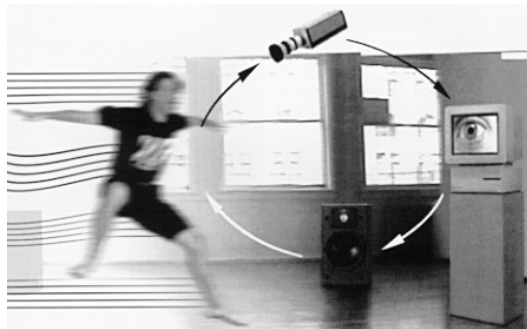


Abb. 31 Schematische Darstellung der Installation *Very Nervous System* von David Rokeby. Sie bestand aus drei Videokameras und speziellen Verarbeitungsprozessoren, die Synthesizer ansteuerten und so den beobachteten Raum zum Musikinstrument machten.

Im beobachteten Raum entstand so der Eindruck eines dreidimensionalen Musikinstruments. In einem Interview erzählt Rokeby [Coop95]:

Well, I once demonstrated the work to a 5-year-old blind child. Amazing. The edges of the active area were like physical walls for him. He literally bounced off them the first time he ran into them. Walking into the space through silence and then hitting the edge where he was visible to the camera: suddenly he was making noise. It was quite startling.

3.7.7 The Hands

Michael Waisvisz – der Erfinder der *Kraakdoos* und Gründer der Amsterdamer STEIM Foundation – zeigte im Jahr 1984 zum ersten Mal im Amsterdamer *Concertgebouw* seine Midi-Controller *The Hands*.



Abb. 32 Michael Waisvisz spielt mit der zweiten 1989 entwickelten Version seiner Midi-Controller *The Hands II*.

Das Instrument bestand aus etlichen Sensoren und Tasten, die auf zwei Keyboards montiert waren und an den Händen befestigt werden konnten. Die Signale der Sensoren wurden an einen kleinen Computer, der ebenfalls am Körper des Spielers befestigt war, übertragen und von diesem in MIDI-Daten umgesetzt. Dieser Computer konnte für jede Performance neu programmiert werden und war so flexibel und ermöglichte dem System eine ungewöhnliche Ausdrucksstärke. *The Hands* wurde mehrfach überarbeitet und neu programmiert bis schließlich 1989 die zweite Version *The Hands II* fertig war. Waisvisz verwendet das Instrument noch heute bei seinen Performances arbeitet aber bereits an der dritten Version.

3.7.8 Radio Baton

Der *Radio Baton*¹ wurde 1986 von Max Matthews in Zusammenarbeit mit Bob Boie in den *Bell Labs* entwickelt. Zwei Schlegel, die von einem Xylophon stammen könnten (nur mit angeschlossenen Kabeln), wurden über eine Platte bewegt, die die Position derselben im Raum registrierte und als MIDI-Daten weitersendete. Technisch funktionierte das über kapazitive Messung, die zwei Schlegel wurden dadurch unterschieden, daß in ihren Spitzen Oszillatoren zwei verschiedene Frequenzen aussendeten.

¹ manchmal auch *Radio Drum* genannt.



Abb. 33 Max Matthews spielt den von ihm in Zusammenarbeit mit Bob Boie erfundenen *Radio Baton*. Die Position der zwei Schlegel im Raum über der Platte wird erfaßt und in MIDI-Daten übersetzt.

Der *Radio Baton* war Anfangs als Gerät gedacht, das den Abspielvorgang eines vom Computer gesteuerten Stücks kontrollieren sollte. Wie ein Dirigent sollte mit den beiden Schlegeln der Musiker die Abfolge der Noten verlangsamen oder beschleunigen können. Bei dieser Anwendung bewegte der Dirigent die Schlegel im Raum oberhalb der Sensorplatte, es gab jedoch auch die Anwendung, die *Radio Drum* genannt wurde, in der die Schlegel die Platte berührten, wie ein perkussiver Controller [Marr00]:

The Radio Drum has been used by numerous composers and performers over the years, but the Radio Baton has not enjoyed as much widespread success. According to one professional conductor, this is because the Radio Baton's sensing mechanism requires that the baton remain above a small table-like surface to generate every beat; this is not natural for someone who has been trained in traditional conducting technique, and is impractical if she also has to communicate to assembled musicians.

Von diesem Instrument existieren ungefähr noch zwanzig Exemplare, Andrew Schloss, ein *Radio-Baton*-Pionier der ersten Stunde entwickelt zur Zeit eine verbesserte Version, die vor allem eine erhöhte Auflösung, eine niedrigere Latenz¹ und einen größeren Sensorraum besitzen soll [Schl01].

¹ Latenz ist die Zeitspanne vom Eintreten des Ereignisses bis zur Ankunft des Events am Synthesizer

3.8 1990 - 2000 Software Synthese und Virtualisierung

Die Jahre ab 1990 machten elektronische Musik und elektronische Instrumente zum Mainstream. Der Erfolg von Hip-Hop und der mit Techno und House verwandten Musikrichtungen rückte auch die Geräte zur Musikproduktion in den Vordergrund. So waren plötzlich wieder die schon veralteten analogen Synthesizer wegen ihrer Flexibilität und Bedienoberfläche gefragt. Alte Geräte wie *Moogs* und *Rolands* Synthesizer sowie Modulsysteme waren mit einem Mal wieder viel wert. Das gipfelte schließlich darin, daß der Baßsequencer *Roland TB-303* Ende der 1990er Jahre mehr als das doppelte des Einführungspreises im Jahr 1982 wert war. Diese Entwicklung bereitete den Boden für eine neue Syntheseform: die virtuell analoge Synthese.

3.8.1 Virtuell analoge Synthesizer

Für den Massenmarkt konnten keine analogen Instrumente zu einem vernünftigen Preis produziert werden, deshalb ging man ab 1995 dazu über, die Eigenschaften und die Klänge der subtraktiven Synthesizer mit Hilfe von digitalen Signalprozessoren zu emulieren. Einschränkungen wie Stimmenzahl und VCOs waren ab diesem Zeitpunkt nur mehr eine Frage der Rechenleistung der Prozessoren. Der erste kommerziell erhältliche virtuell analoge Synthesizer war der ab 1995 produzierte *Nord Lead* von *Clavia*. Er bot den gleichen Bedienkomfort wie die alten analogen Geräte mit einem annähernd ähnlichen Klang, war aber den meisten alten Modellen an Stimmenzahl und Zuverlässigkeit überlegen. Es folgten bald darauf viele ähnliche Instrumente von diversen Firmen und mit den unterschiedlichsten Ausstattungsmerkmalen.



Abb. 34 Der *Nord Lead II*, Nachfolger des ersten *Nord Lead*, dem ersten kommerziellen virtuell analogen Synthesizer. Das 1995 produzierte Gerät bot den gleichen Bedienkomfort wie die alten analogen Geräte mit einem annähernd ähnlichen Klang, war aber den meisten alten Modellen an Stimmenzahl und Zuverlässigkeit überlegen.

3.8.2 Softwaresynthesizer

Während einerseits analoge Algorithmen in digitalen Geräten nachgebildet wurden, deren Oberflächen herkömmlichen Synthesizern entsprachen, wurden andererseits ähnliche Synthesiformen auf normalen Computern implementiert. Die Leistungssteigerung der Rechner machte es möglich, Mitte der 1990er Jahre Software-Synthese in Echtzeit durchzuführen.

Die Firma *Steinberg* hatte 1991 den Software-Sequencers *Cubase* mit Funktionen für Harddiskrecording und Audibearbeitung ausgestattet. Dieser hatte zwar noch keine Möglichkeit der Softwaresynthese, war aber die Vorstufe für die späteren *VST*¹ Versionen des Programms. Der erste kommerzielle Realtime-Software-Synthesizer war ein Produkt von *Seer*. Zusammen mit *Intel* wurde eine Art virtuelles Soundmodul produziert. Später folgte dann von der gleichen Firma das Produkt *Reality*.

Der wirkliche Durchbruch kam aber 1996 mit dem von *Native Instruments* entwickelten modularen Software-Synthesizer *Generator*. Wie bei einem analogen Modulsystem konnten auf dem Computer mit der Maus Module vernetzt werden und dann das so geschaffene in Echtzeit System gespielt werden. Diesem folgte 1999 *Reaktor* nach, das im wesentlichen um Samplingfunktionen erweitert worden war.

Im selben Jahr wurde *Cubase VST 3.5* von *Steinberg* veröffentlicht. Mit dieser Version konnten Echtzeit-Effekte auf die Audiospuren des Sequencers angewandt werden. Sogenannte Plugins arbeiteten wie reale Effektgeräte im Studiosetup. In den nachfolgenden Versionen sollte dann auch die Integration von Software-Synthesizern in die Sequenceroberfläche möglich werden.

Ein gewaltiger kommerzieller Erfolg sollte die 1997 von *Propellerheads* veröffentlichte Software *Rebirth 338* werden. Sie emulierte in Echtzeit die beinahe unerschwinglich gewordenen analogen Maschinen *Roland TB-303* und *Roland TR-808*. Die von Techno-Anhängern kultisch verehrten Maschinen waren in Software auferstanden, mitsamt dem umständlichen und wenig intuitiven Interface der alten Geräte. Mittlerweile ist eine Nachfolgeversion auf dem Markt, die noch zusätzlich den ebenfalls angebotenen Drumcomputer *Roland TR-909* emuliert. Die etwas generellere Fortsetzung dieser Idee mündete in das 2000 herausgebrachte

¹ VST: Virtual Studio Technology

Programm *Reason*, welches etliche Klangerzeuger wie Synthesizer, Drummaschinen und Sampler sowie Effektgeräte, Sequencer und Mixer emuliert.

Dieser wirtschaftlich erfolgreiche Trend in der Musiksoftwareentwicklung fand auch im akademischen Bereich eine Parallele. Das von Miller Puckette Mitte der 1980er Jahre am Pariser IRCAM für Macintosh Computer entwickelte modulare Programm *MAX*¹ war anfangs nur für die algorithmische Verarbeitung von MIDI-Daten gedacht. 1989 entwickelte allerdings das IRCAM für eine Realtime-Synthese-Karten für NeXT Computer eine Version mit Echtzeit-Audio Ausgabe, die *MAX/FTS* genannt wurde. Dieses System wurde im IRCAM und 30 weiteren Forschungsinstitutionen genutzt.

1996 begann Miller Puckette an der Universität in San Diego (Kalifornien) mit der Entwicklung von *pd* oder *Pure Data*. Das neue Programm war dezidiert auf Echtzeitproduktion von Audio ausgelegt und beeinflusste David Zicarelli, der die Weiterentwicklung von *MAX* am IRCAM übernommen hatte, dahingehend, daß er ebenfalls ein Modul namens *MSP* für Realtime-Synthese für *MAX* in Angriff nahm.

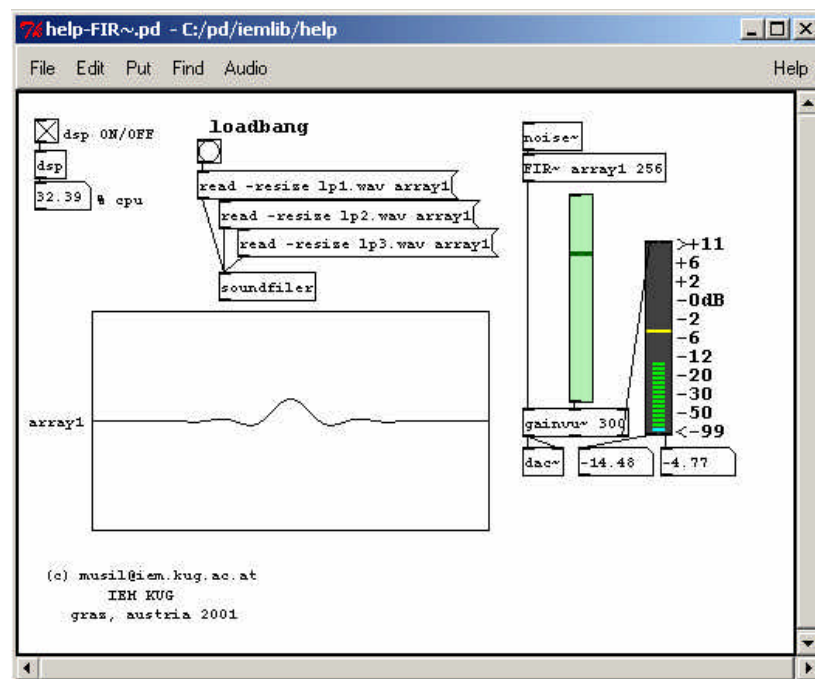


Abb. 35 Screenshot des Programms *pd* oder *Pure Data* von Miller Puckette. Das Programm ist auf Echtzeitproduktion von Audio ausgelegt und beeinflusste die Weiterentwicklung des Programms *MAX* am IRCAM.

¹ benannt nach dem Pionier der Computer-Musik Max Matthews

Die Zukunft der Software-Synthese ist keinesfalls abzusehen, die momentane Entwicklung bietet aber Grund genug für die Annahme, daß diese Art der Klangerzeugung von immer größerer Bedeutung werden wird. Schon jetzt ist es nicht mehr notwendig für eine Aufnahme elektronischer Musik, den virtuellen Raum des Studios im Computer zu verlassen. Jeder Schritt von der Klanggenerierung, über Mischung bis hin zum Mastering können digital im Rechner erledigt werden. Es ist anzunehmen, daß mehr als bisher, Computer die zentrale Rolle in der elektronischen Musik einnehmen werden.

Sergi Jordà der Entwickler der Software *SMS* einem Spectral-Modelling-Synthesizer dazu [BePi00]:

Es wird auf Hardware-Seite immer Möglichkeiten geben, die jenseits der Grenzen von Software liegen. Das soll nicht etwa heißen, daß ich Software weniger interessant finden würde – ganz im Gegenteil. Software wird immer freier sein; sie gibt mehr Raum für Experimente, weil die Herstellung von Software nicht teuer ist.

3.9 Zusammenfassung

Seit den Anfängen der Experimente mit elektrischem Strom waren die Wissenschaftler an einer Verwertbarkeit der Ergebnisse zur Erzeugung von Musik interessiert. Erfinder entdeckten Ende des 19. Jahrhunderts Prinzipien, wie Schall elektrisch aufgezeichnet oder erzeugt werden konnte. Daraus wurden Musikinstrumente wie der *Musical Telegraph* oder das *Telharmonium* entwickelt, die aus Mangel an Verstärkern nur über das Telefonnetz gehört werden konnten. Mit der Einführung der Vakuumröhre konnte dieser Umstand 1915 behoben werden und auch komplexere Instrumente in vertretbarer Größe gebaut werden. Ein Gerät aus dieser Periode – das *Theremin* – hat sich dank seines unverwechselbaren Klanges und seiner charakteristischen Spielweise als klassisches elektronisches Instrument etablieren können und wird heute noch verwendet.

Die Instrumente ab 1945 wurden größtenteils im Rahmen wissenschaftlicher Forschung entwickelt und bildeten zusammen mit der Erfindung des Transistors die Grundlage für die ersten kommerziell erfolgreichen Synthesizer ab 1960 wie den Geräten der Firma *Moog*. Nach einer ersten Hochblüte der elektronischen Musikerzeuger bis 1980 setzte mit der Digitalisierung die massenhafte Verbreitung

ein. Von der MIDI-Schnittstelle und der FM-Synthese bis hin zum Sampler reichten die Innovationen der 1980er Jahre.

Mit Anfang der 1990er Jahre setzte eine Entwicklung ein, deren Ende noch nicht abzusehen ist: die „Virtualisierung“ der Synthese und des Samplings. Waren die Synthesizer zuvor noch eigenständige und teilweise unförmige Geräte, ist der Trend, Synthese- und Klangverarbeitungsalgorithmen als digitale Softwareemulation zu realisieren kaum zu übersehen. Eine Vielzahl der „klassischen“ Synthesizer aus den 1960er Jahren liegt bereits in Form von Plugins für Studiosoftware vor. Gleichzeitig werden laufend neue Arten der Klangerzeugung realisiert.

Die Zukunft der Software-Synthese ist keinesfalls abzusehen, die momentane Entwicklung bietet aber Grund genug für die Annahme, daß diese Art der Klangerzeugung von immer größerer Bedeutung werden wird. Schon jetzt ist es nicht mehr notwendig für eine Aufnahme elektronischer Musik, den virtuellen Raum des Studios im Computer zu verlassen. Jeder Schritt von der Klanggenerierung, über Mischung bis hin zum Mastering können digital im Rechner erledigt werden. Es ist anzunehmen, daß mehr als bisher, Computer die zentrale Rolle in der elektronischen Musik einnehmen werden. Daher wird es aber auch notwendig sein, Interfaces für diese Art von Software zu entwickeln, die das Spielen von Musik erleichtern oder überhaupt erst ermöglichen. Herkömmliche Eingabegeräte für Computer wie Maus und Tastatur scheinen dafür nur bedingt geeignet.

4 *Kategorien der Interaktivität*

4.1 *Überblick*

Im Folgenden möchte ich zuerst zwei Klassifizierungen von Benutzerschnittstellen für elektronische Musik aus der Literatur erläutern, um dann aus der Kritik an diesen beiden meinen eigenen Versuch einer Einteilung zu skizzieren.

Die bei meiner Unterteilung verwendeten Kriterien werden aufgeführt und auf ihre Relevanz als Parameter für ein elektronisches Musikinstrument hin untersucht.

4.2 *Klassifizierungen*

4.2.1 nach Joseph Paradiso

In seinem Aufsatz *Electronic Music Interfaces* [Para98] versucht Joseph A. Paradiso eine grobe Einteilung der Benutzerschnittstellen für elektronische Musik:

- **Keyboards**

Alle jene Instrumente, die im weitesten Sinne ein Keyboard besitzen. Das reicht vom herkömmlichen von Klavier und Orgel gewöhnten, bis hin zu den Manualen des *Trautoniums*, die aus Laschen, die auf einen Widerstandsdraht gedrückt wurden, bestanden. Dabei ist die Anzahl der Tasten nicht nur auf die europäisch-klassische Anordnung mit zwölf Tönen pro Oktave beschränkt. Das für mikrotonale Musik ausgelegte *MicroZone* mit 768 Tasten, die in einer 8 mal 96 Matrix angelegt sind, sprengt diesen Rahmen bei weitem.

- **Percussion**

Controller, die für Schlagzeug-Spiel entwickelt wurden. Das können einzelne Drumpads oder ganze elektronische Drumkits wie die der Firma *Simmons* sein. Fraglich ist, ob in diese Kategorie auch Instrumente wie die *Radiodrum* (siehe 3.7.8), das auch unter Kategorie „Baton“ eingeordnet werden könnte oder der *Drumsuit* von Laurie Anderson, der auch als „Wearable“ klassifiziert werden könnte, eingeordnet werden sollten.

- **Batons**

In diese Kategorie sind Controller einzuordnen, die von der Idee des Dirigentenstabs abgeleitet wurden. Das Instrument kann hierbei aus einem

oder zwei stabähnlichen Geräten bestehen. Die Abgrenzung zur Kategorie „Noncontact Gesture“ erscheint mir problematisch.

- **Guitar Interfaces**

Geräte, denen die (elektrische) Gitarre als Vorbild diente oder Vorrichtungen, die Gitarren „MIDifizieren“. Die Einführung dieser Kategorie erscheint mir nur durch die besondere Bedeutung der Gitarre in der Pop- und Rockmusik zu rechtfertigen.

- **Andere Saiteninstrumente**

Saiteninstrumentähnliche Controller außer den Gitarrenähnlichen. Das reicht von der mit Sensoren ausgestatteten Violine bis hin zum von Miya Masaoka entwickelten *Koto Monster*, einem harfenähnlichen Riesen-Instrument.

- **Wind-Controller**

Blasinstrumenten nachempfundene Controller finden sich in dieser Kategorie. Unter anderem sind dies die von Nyle Steiner entwickelten *EWI* und *EVI* (siehe 3.6.10) sowie das *Lyricon* (ebenfalls 3.6.10).

- **Stimme**

Geräte und Systeme, die die menschliche Stimme als Ausgang zur Generierung musikalisch weiterverwendbarer Daten heranziehen. Im wesentlichen sind dies erweiterte Pitch-Tracker, wie der am MIT entwickelte *Singing Tree*.

- **Noncontact Gesture**

Diese Kategorie beinhaltet Instrumente, die weitgehend ohne körperlichen Kontakt mit dem Musiker auskommen. Dies reicht vom klassischen *Theremin* bis zu Videoanalysesystemen wie Tom DeMeyers *BigEye* oder das *Very Nervous System* von David Rokeby.

- **Wearables**

Musik-Controller, die direkt am Körper wie ein Kleidungsstück getragen werden. In diese Kategorie fallen sowohl Datenhandschuhe, der *Miburi* von Yamaha als auch Experimente, wie das *Musical Jacket* von Maggie Orth. Aber auch bioelektrische Geräte, die Muskelspannung oder Hirnwellen messen, werden hier von Paradiso genannt.

Diese Einteilung weist augenscheinlich einige Schwächen auf, da es zum einen Überschneidungen zwischen den Kategorien gibt: zum Beispiel kann *Maggie Orths* Musical Jacket sowohl als Wearable als auch als Keyboard angesehen werden. Zum anderen ist es möglich, die einzelnen Kategorien hierarchisch übereinander anzuordnen oder weisen starke Ähnlichkeiten in den Eigenschaften der Interfaces auf, sodaß die Frage gestellt werden muß, warum zum Beispiel die Kategorie der Saiteninstrumente in zwei Klassen geteilt ist, während die unzähligen Keyboardinstrumente in einer Gruppe zusammengedrängt sind. Darüber hinaus ist die Einteilung unvollständig, so fehlt die wichtige Klasse der Fader- oder Knobcontroller, die bei den analogen Modulsystemen das vorherrschende Interface bilden.

4.2.2 nach Axel Mulder

Axel Mulder behandelt in *Design of Virtual Three-dimensional Instruments for Sound Control* [Mul98] nur eine Teilmenge der Controller. Diese Gruppe, die er mit *alternate Controller that expand the gestural range*

beschreibt, teilt er in drei Klassen ein:

- **Touch Controllers**

Die Notwendigkeit, ein physisches Interface zu berühren, ist charakteristisch für diese Kategorie. Obwohl die meisten dieser Controller an den Benutzer anpaßbar sind, können grobe Änderungen nur mit technischem Wissen vorgenommen werden und erfordern meistens auch sehr viel Zeit.

Ein Beispiel wäre das *aXiO*, ein im Stehen zu bedienendes Instrument mit Drehknöpfe, Fadern und Tasten.

- **Expanded Range Controllers**

Bei diesen Controllern ist physischer Kontakt nur eingeschränkt notwendig oder gar nicht erforderlich, wobei die Menge der steuernden Gesten beschränkt ist. Es ist also möglich Gesten ohne musikalische Bedeutung zu machen, dem Instrument gleichsam zu entkommen.

Vertreter dieser Gruppe sind *The Hands* von Michael Waisvisz, die *Radio Drum* oder das *Theremin*. Bei letzterem ist es zum Beispiel möglich, aus dem Sensorfeld herauszutreten oder Gesten mit der Hand zu machen, die keine Tonänderung hervorrufen.

- **Immersive Controllers**

Diese Klasse beinhaltet Systeme, bei denen es wenig oder keine Beschränkungen in Hinsicht auf die bedeutungsvollen Gesten gibt. Dies wird oft mit Hilfe von Datenhandschuhen oder Datenanzügen erreicht. Mit heutiger Technologie kann bei diesen Systemen allerdings kaum Touch- oder Force-Feedback gewährleistet werden.

Die Klasse der Immersive Controllers kann nach Mulder in drei Unterkategorien geteilt werden:

- **Internal Controllers**

Die Visualisierung der Parameter der Kontrolloberfläche ist hier der menschliche Körper selbst. Das bedeutet, daß zum Beispiel die Beugungswinkel der Gelenke eins zu eins in Werte des kontrollierenden Systems umgesetzt werden.

- **External Controllers**

Hier ist die Visualisierung so unterschiedlich vom Eindruck des menschlichen Körpers, daß eine andere Art der Darstellung gewählt werden muß. Es besteht keine einfache eins zu eins Beziehung zwischen Körpermerkmalen und musikalischen Parametern.

- **Symbolic Controllers**

In dieser Kategorie ist die Visualisierung der Oberfläche auf Grund der Komplexität fast unmöglich oder kann nur zum Teil abgebildet werden. Formalisierungen wie Zeichensprache oder Gesten eines Dirigenten werden zur Steuerung von strukturellen Aspekten der Musik verwendet.

Obwohl in Mulders Aufsatz nur eine Teilmenge der in meiner Arbeit besprochenen Instrumente abdeckt wird, ist diese Herangehensweise doch viel systematischer als Paradisos Einteilung. Im Nachfolgenden will ich eine eigene Klassifizierung versuchen.

4.3 Versuch einer Einteilung

Aufgrund der Unzulänglichkeiten der beiden vorangegangenen Einteilungen versuche ich im Folgenden eine mögliche Art der Klassifizierung zu skizzieren. Einer Idee aus [Müll95] folgend ordne ich die Instrumente anhand von einigen Parametern in einem imaginären mehrdimensionalen Raum an.

Die mir wichtig erscheinenden Eigenschaften eines elektronischen Musikinstrument sind:

- Immersion
- Generizität
- Intelligenz des Instruments bzw. des Mappings¹
- Feedback
- Expressivität

4.3.1 Immersion

Für die Beurteilung eines Musikinstruments ist die Frage, welche Gesten oder Bewegungen musikalisch bedeutsam sind interessant. Herkömmliche Geräte bieten eine klar von der Umgebung trennbare Schnittstelle wie eine Tastatur oder Saiten. Nur ein Griff oder das Bewegen einer Vorrichtung kann das Instrument zum Klingen bringen. Spätestens seit der Erfindung der *Theremins* ist das aber nicht mehr notwendig. Nicht die physische Manipulation sondern alleine die Nähe oder Entfernung zu den Antennen verändert den Klang. Einmal in der richtigen Position kann beim *Theremin* mit den Händen kaum eine musikalisch bedeutungslose Geste gemacht werden. Der Spieler ist also viel mehr in das Instrument „eingebunden“ als beispielsweise bei einem Keyboard, wo er nur die Hände von den Tasten zu heben hat und von der Musikalität seiner Bewegungen befreit ist.

Dieses Eintauchen wird Immersion genannt, was Witmer und Singer [WiSi98] so definieren:

a psychological state characterized by perceiving oneself to be enveloped by, included in, and interacting with an environment that provides a continuous stream of stimuli and experiences

¹ für eine Definition von „Mapping“ siehe Kapitel 4.3.3.

Mit der Entwicklung des Datenhandschuhs wurde eine Vorrichtung geschaffen, die in Bezug auf die Hand jede Bewegung potentiell musikalisch verwertbar macht. Unter der Bedingung, daß die Daten drahtlos zum klanggenerierenden Teil des Systems übertragen werden, macht also der Dataglove den Performer unabhängig vom Ort. Das Verändern seiner Position im Raum befreit ihn nicht mehr wie beim Theremin aus der Immersion. Dennoch kann er aber mit anderen Körperteilen unbedeutende Gesten ausführen.

Durch eine Erweiterung des Datenhandschuhs zum Datenanzug oder durch Erfassung größerer Flächen mittels Videokameras oder anderer Sensoren wird auch diese letzte „Freiheit“ des Musikers beseitigt. Jede Bewegung ist musikalisch auswertbar, die Immersion ist vollkommen.

Wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben unterteilt Mulder [Mul98] den Grad der Immersion in drei Kategorien: Touch-Controller, Extended-Range und Immersive Controller.

Diese Einteilung habe ich im Wesentlichen übernommen, einzig die letzte Kategorie in zwei gespalten:

- Teil-Immersive Controller
Hier sind die Datenhandschuhe zu nennen oder andere immersive Geräte, die nur einen Teil des menschlichen Körpers erfassen und somit noch musikalisch bedeutungslose Gesten zulassen.
- Voll Immersive Controller
Der ganze Körper wird erfaßt. Bedeutungslose Gesten sind weitgehend unmöglich.

4.3.2 Generizität

Zur Wahl einer Eingabetechnologie für einen Computer schreibt Bill Buxton in [BaGr95]:

Choosing the input technologies to be used with a workstation generally involves making a trade-off between two conflicting demands. On the one hand, each task has specialized needs that can be best addressed by a specialized technology. On the other hand, each workstation is generally used for a multitude of tasks. Supplying the optimum device for each task is generally out of the question. A trade-off must be made.

Dies ist eine Erkenntnis, die sich auch auf elektronische Instrumente übertragen läßt. Ein Windcontroller beispielsweise ist gut geeignet, Physical Modeling Synthesizer zu steuern, für allgemeinere Aufgaben wird sich aber eher eine Faderbox anbieten, die wiederum zwar PM-Synthesizer steuern kann, dafür aber weniger geeignet, da zu allgemein angelegt, scheint.

Bei herkömmlichen akustischen Instrumenten ist zwar das Spektrum der erzeugbaren Klänge weit, die Prinzipien der Tonerzeugung sind aber durch den Aufbau des Geräts begrenzt. Viele elektronische Controller sind in der Lage anstatt direkt Sound zu produzieren, Daten¹ zur Weiterverarbeitung an beliebige Klangerzeuger zu schicken. Diese Generalisierbarkeit kann mit Hilfe eines Computers oder Mikroprozessors zu fast beliebiger Komplexität gesteigert werden. Beispielsweise kann mit dem Programm MAX² jedes nur erdenkliche Mapping programmiert werden.

Derartig flexible Systeme werfen aber die Frage auf, wo die Unterscheidung zwischen Instrument und Komposition zu ziehen ist. Ein komplexes Mapping, bei dem zum Beispiel eine einzige Reglerbewegung eine Vielzahl an Manipulationen oder Modi-Änderungen in der Klangerzeugung bewirkt kann ebenso gut auch als Teil der Komposition angesehen werden.

4.3.3 Intelligenz/Mapping

Donald A. Norman schreibt in [Norm88]:

Mapping is a technical term meaning the relationship between two things, in this case between the controls and their movements and the results in the world. Consider the mapping relationships involved in steering a car. To turn the car to the right, one turns the steering wheel clockwise.

Im Kontext von Musikinstrumenten kann diese Definition folgendermaßen eingengt werden [HuWa00]:

the word 'mapping' refers to the liaison or correspondence between control parameters (derived from performer actions) and sound synthesis

¹ In den meisten Fällen werden dies MIDI-Daten sein

² siehe Kapitel 3.8.2

parameters. This concept is illustrated in fig. 1¹ that represents a general computer-based musical instrument; what might be called a 'composite electronic' musical instrument.

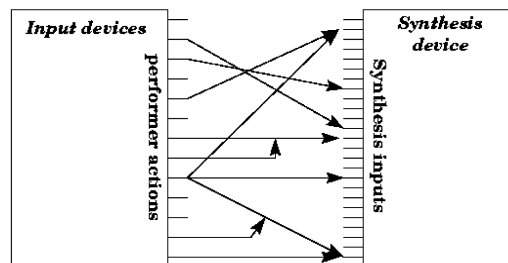


Abb. 36 Mapping of performer actions to synthesis parameters [HuWa00]

Das Verhältnis von Aktionen oder Gesten des Benutzers kann auf unterschiedlichste Weise erfolgen. Eine übliche und einfache Art ist das eins-zu-eins-Mapping, bei dem beispielsweise jeder Reglerbewegung eine Änderung eines Synthesizer-Parameters zugeordnet wird. Es werden aber auch komplexere Methoden wie Gesten angewandt bis hin zur Zeichensprache, die von neuronalen Netzwerken erkannt und in musikalische Daten umgewandelt wird.

Although intelligent and interface are often used in the same sentence, few user interfaces really manifest much intelligence. [...] Some interfaces, however, may appear to be intelligent, from the perspective of the user, simply by making the right response at the right time. This appearance or illusion of intelligence aids user interaction by fostering a sense of confidence or reasonableness in the interface, and can add a powerful positive quality.

Intelligenz soll auch hier wie in [Laur90] nicht im Sinne von Artificial Intelligence verstanden werden, sondern eher als Hilfe zur Komplexitätsbewältigung. Dem User soll eine erwartete Antwort auf eine Aktion geliefert werden.

4.3.4 Feedback

[Diam01] definiert Feedback im HCI-Kontext als:

a reaction to a behavior that has the potential to influence the original behavior. In other words, when a user does something, the computer responds so that the user has some understanding of how the computer

¹ hier ist die Abb. 36 gemeint.

interpreted the user's action. When the user moves the mouse, the pointer moves on the screen. When the user types, the keys click. When the user selects an icon, it hilites. When the user selects a menu item, it flashes and some action takes place.

Without responsive and relevant feedback, users question whether their actions have been recognized and understood correctly.

Feedback ist also eine Rückmeldung über eine Aktion des Benutzers, wobei hier auditive, visuelle, haptische und kinästhetische¹ Kanäle möglich sind. Bei Musikinstrumenten, wo die Produktion von Sound das vordringliche Ziel ist, kann jedoch kein akustisches Feedback abseits der eigentlichen Klangproduktion gegeben werden. Ein Klick-Sound beim Drücken einer Taste beispielsweise wäre undenkbar, sofern er nicht selbst das eigentlich erwünschte Klangergebnis darstellt.

Maura Sile O'Modhrain & Chris Chafe schreiben über Feedback in musikalischen Anwendungen [OmCh00]:

Though musicians rely primarily on their sense of hearing to monitor and adjust the sound being produced by their instrument, there exists a second path through which valuable information about the instrument's behavior can be observed - namely the feedback received via the haptic senses, the senses of touch and kinesthesia.

Klassische akustische Instrument liefern alle außer dem akustischen Feedback, das für das Spielen, vor allem aber für das Erlernen eines Instrument essentiell ist, noch zumindest haptische Rückmeldungen. Das erfolgreiche Drücken einer Taste am Piano wird genauso wie das Vibrieren des Mundstücks einer Posaune über den Tastsinn registriert. Generell sehe ich jede Veränderung von Gegenständen (ausgenommen der Körper des Spielers selbst) im Raum durch eine Aktion des Performers als haptisches Feedback an. Dazu gehören auch kinästhetische Aktionen wie das Verändern einer Reglerstellung oder das Drücken einer beweglichen Taste. Bei Instrumenten mit elektronischer Klangerzeugung ist diese Rückmeldung zum einen nicht mehr technisch notwendig – das beim Piano mechanisch notwendige

¹ kinästhetische Empfindungen [griech./dt.] (Kinästhesie, Bewegungsempfindungen), die Fähigkeit, Lage und Bewegungsrichtung von Körperteilen zueinander und in bezug zur Umwelt unbewußt-reflektorisch zu kontrollieren und zu steuern [Lexi96]

wirkliche Drücken der Taste könnte in elektronischen Geräten beispielsweise durch Folientastatur ersetzt werden, wodurch das haptische Feedback, ob die Taste tatsächlich angeschlagen wurde wegfällt – zum anderen auch gar nicht möglich. Zum Beispiel ist eine taktile Rückmeldung beim *Theremin* kaum vorstellbar und bei Datenhandschuhen nur durch aufwendige Außenskelettkonstruktionen¹ möglich. Während visuelles Feedback bei herkömmlichen Instrumenten kaum existiert, wird dieses bei elektronischen Geräten oft als Ersatz für haptische Rückmeldungen verwendet. So besitzen Anwendungen des Datenhandschuhs fast immer eine visuelle Komponente, die die Bewegungen der Finger und ihre Auswirkungen sichtbar macht. Generell stärkt die Verwendung von Software als klang- und datenverarbeitender Teil des Instruments den Einsatz optischer Feedbackmöglichkeiten. Status- oder Datenanzeigen benötigen keine über die Standardausrüstung eines Computers hinausgehende Hardware und können daher billig und einfach implementiert werden.

4.3.5 Expressivität

This is for me the ultimate instrument in dealing with expressivity in electronic music -- if you move one finger, everything else moves. It's multiple controls to multiple variables in the sound...

sagt Laetitia Sonami in [Elec00] über ihr zusammen mit Bert Bongers entwickeltes Instrument *Lady's Glove*². Tatsächlich ist die Expressivität eines Instruments eine wichtige Kenngröße für die Beurteilung. Je mehr musikalische Parameter über das Gerät kontrolliert werden können, desto facettenreicher kann mit ihm gespielt werden. Bei nicht-elektronischen Instrumenten ist die Breite der Ausdrucksmöglichkeiten groß, da oft über mechanische Manipulation direkt in den physikalischen Prozeß der Klangerzeugung eingegriffen werden kann. Beispielsweise kann beim Saxophon durch in das Mundstück Singen³ der Klang modifiziert werden oder ein Piano anstatt über die Klaviatur direkt mit den Saiten gespielt werden. Elektronischen Instrumenten stehen solche Eingriffe meist nicht zur Verfügung⁴ hier

¹ vergleiche hierzu [LaSm01], [Bouz01] und [Imm01]

² siehe Kapitel 5.6

³ diese Technik wird auch als *growling* bezeichnet.

⁴ wenn man von Methoden wie *Circuit Bending* (vgl. hierzu Kapitel 3.6.9) absieht.

muß eine klare Schnittstelle die Möglichkeiten der Klangmanipulation definieren. Obwohl auf den ersten Blick die Klanggestaltungsmöglichkeiten elektronischer Musikinstrumente den klassischen akustischen Geräten überlegen zu sein scheint, ist oft die Anzahl der gleichzeitig steuerbaren Parametern weitaus geringer. So sind bei Synthesizern wie dem *MiniMoog*, der ein Keyboard ohne Aftertouch sowie etliche Drehregler besitzt, nicht wesentlich mehr als zwei Parameter, wie zum Beispiel Tonhöhe und Geschwindigkeit des LFO gleichzeitig änderbar.

Für erfahrene Musiker ist größere Expressivität wünschenswert, sie wollen ein Instrument, welches ein weites Spektrum an Ausdrucksmöglichkeiten zur Verfügung stellt. Für Anfänger hingegen stellt eine höhere Expressivität eine größere Hürde beim Erlernen des Instruments dar. Da es kaum klassische elektronische Geräte außer vielleicht dem *Theremin* gibt, ist wahrscheinlich jeder, der sich mit Controllern für elektronische Musik beschäftigt ein Anfänger. Dieses Problem, das beim klassischen akustischen Instrumenten ebenfalls auftritt, dort aber durch eine Vielzahl an Lehrern und Anschauungsmaterial gemildert wird, könnte durch adaptive Geräte, die ähnlich wie bei Computerspielen mit Geschicklichkeitsstufen operieren, gelöst werden. Je besser der Spieler wird, desto mehr verfeinern sich die Ausdrucksmöglichkeiten des Geräts, was vorher an unbeabsichtigten Parametersprüngen geglättet wurde, kann in einem höheren Level direkt ohne Fehlerkorrektur umgesetzt werden¹.

¹ vgl. hierzu [FeHi95]

4.3.6 Graphen

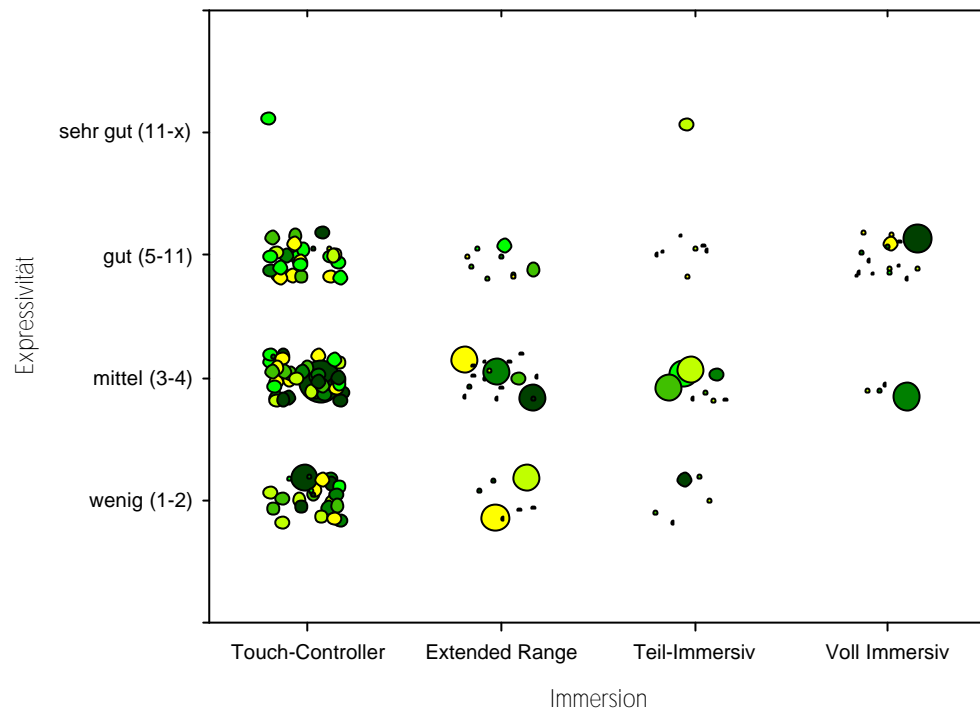


Abb. 37 Diese Abbildung zeigt die Verteilung der von mir in Kapitel 7 erfaßten Instrumente nach den Eigenschaften Immersion und Expressivität in X- und Y-Richtung, sowie den Feedbackmöglichkeiten als Kreisgröße an.



Abb. 38 Die Größe der Kreise gibt die Art des möglichen Feedbacks an. Dabei bedeuten die Kreise von links nach rechts: nur akustisches Feedback; akustisches und haptisches Feedback; akustisch und visuell; akustisches, haptisches und visuelles Feedback

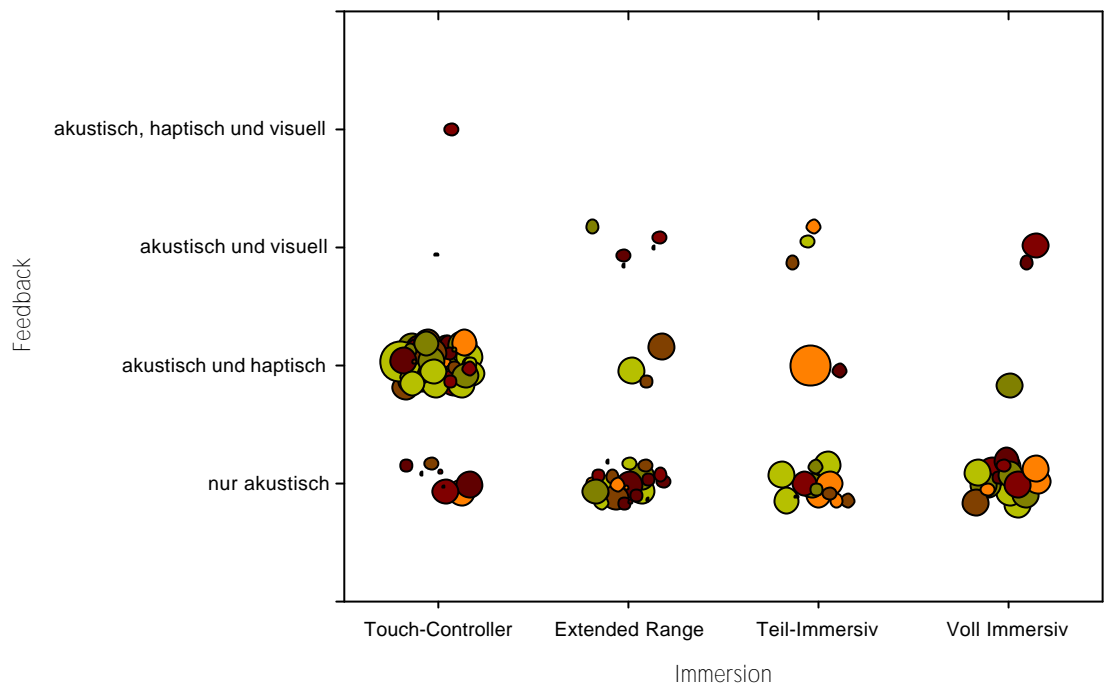


Abb. 39 Diese Abbildung zeigt die Verteilung der von mir in Kapitel 7 erfaßten Instrumente nach den Eigenschaften Feedback und Immersion in X- und Y-Richtung, sowie der Expressivität als Kreisgröße an.



Abb. 40 Die Größe der Kreise gibt den Grad der Expressivität an. Dabei bedeuten die Kreise von links nach rechts (in Klammern jeweils die Anzahl der gleichzeitig durch das Instrument steuerbaren Parameter): wenig expressiv (1-2), mittel (3-4), gut (5-11), sehr gut (11-?)

4.3.7 Erläuterung und Interpretation der Graphen

Diese zwei von mir erstellten Grafiken zeigen die Verteilung der erfaßten Instrumente (siehe Kapitel 7) über die Eigenschaftspaare Expressivität/Immersion und Feedback/Immersion. Ein Kreis steht für jeweils ein Instrument, wobei Größe des Kreises die jeweils fehlende Eigenschaft verdeutlicht. Das heißt, im ersten Graph bedeutet der kleinste Kreis, daß dieses Instrument nur über akustisches Feedback verfügt und der größte Durchmesser zeigt akustische, haptische und visuelle Rückmeldungen an. Analog verhält es sich im zweiten Graphen, der Radius ist hier ein Maß für die Expressivität.

Die Verteilung der Kreise um die Schnittpunkte der zwei Eigenschaften ist mit einer kleinen zufälligen Abweichung versehen, da diese sich sonst gegenseitig verdecken

würden. Die Häufungen in Gruppen erfolgt auf Grund von vierstufigen Einteilungen, die minimalen Abweichungen sind bedeutungslos und dienen nur der besseren Visualisierung. Genauso sind die Farben bedeutungslos, sie dienen nur der besseren Unterscheidung der einzelnen Kreise.

Die Kategorien Feedback und Immersion erklären sich aus den vorangegangenen Abschnitten, der Grad der Expressivität ist in vier Stufen unterteilt, wobei die Zahl in Klammern die Anzahl der gleichzeitig steuerbaren Parameter angibt. Mit einem Controller aus Drehknöpfen sind beispielsweise nur zwei Parameter gleichzeitig steuerbar, während bei *The Matrix*¹ eine sehr große Zahl an Werten auf einmal kontrollierbar ist.

Auf den ersten Blick kann man eine Häufung bei den Touch-Controllern erkennen, hier finden sich jene Geräte wie Tasteninstrumente und Faderboxen, die physischen Kontakt erfordern. Gleichzeitig bieten die meisten von ihnen auch ein haptisches Feedback, einige wie die *Crackle-Box* bieten nur akustische Feedback, die blanken Kontakte dieses Synthesizers bieten keine wirklich spürbare Rückmeldung an. In Bezug auf Expressivität sind die Touch-Controller fast annähernd gleich auf die ersten drei Stufen verteilt, die dritte Stufe ist im gesamten nur äußerst schwach vertreten.

Ab den Extended-Range-Controllern verschiebt sich der Schwerpunkt dann eher in Richtung gut bis mittel, je immersiver die Instrumente werden, desto mehr Parameter können ermittelt und in musikalische Daten umgesetzt werden. Dafür werden die Rückmeldungen zusätzlich zum akustischen Feedback seltener.

Haptisches Feedback ist in den meisten Fällen unmöglich und visuelles wird wenig aber wenn, dann vor allem bei der Verwendung von Datenhandschuhen, genutzt.

4.4 Zusammenfassung

Die Einteilungen von Paradiso und Mulder gehen in zwei unterschiedliche Richtungen. Paradiso teilt die Instrumente eher nach traditionellen Gesichtspunkten in Instrumentkategorien wie Tasteninstrumente, Stringcontroller etc. auf, während Mulder nach einzelnen Eigenschaften ordnet. Mein Versuch orientiert sich an einem Set von Parametern, die für die Beurteilung eines Instruments von Bedeutung sind.

¹ vergleiche hierzu [Over00] und siehe Kapitel 5.3

Anhand von Immersion, Generizität, Mapping, Feedback und Expressivität erfasse ich die Geräte und ordne sie in ein Diagramm, das die Verteilung veranschaulicht.

5 Beispiele

5.1 *Überblick*

Im Folgenden möchte ich einige Beispiele für zeitgenössische Instrumente zur Steuerung elektronischer Klangerzeuger geben. Dabei will ich auch immer eine Einordnung ins Kategorisierungsschema des vorigen Kapitels versuchen, wobei über Parameter, über die ich keine Angaben in der Literatur zu den jeweiligen Instrumenten gefunden habe, geschwiegen wird. Die einzelnen Instrumente sind stellvertretend für einige wichtige Interfaces ausgewählt worden, sind aber keinesfalls repräsentativ. Für eine umfassendere Liste von historischen und besonders zeitgenössischen Instrumenten siehe Kapitel 7.

Der Großteil der im Folgenden vorgestellten Instrumente ist eher experimenteller und nicht oder mäßig kommerzieller Natur. Das liegt zum einen daran, daß in den letzten Jahren wieder – wie in den Anfangstagen der elektronischen Musik – verstärkt Einzelpersonen oder auch Künstlergruppen an neuen Entwürfen forschten, sich aber zum anderen große Firmen kaum experimentierfreudig zeigen, was wirklich neue Interfaces anlangt.

5.2 *Fader- und Knobboxen*

In der elektronischen Musik nach wie vor sehr gebräuchliche Interfaces zur Steuerung von Parametern sind Fader- und Knobboxen. Diese Beliebtheit resultiert sicher aus der Tatsache, daß das Prinzip dieser Steuerungsgeräte sehr einfach aber dennoch flexibel ist. Meistens sind die Interfaces adaptierbar und können unzählige Parameter gleichzeitig und hintereinander steuern. Gebräuchlich sind sowohl reine Steuerungsgeräte ohne eigene Klangerzeugung als auch die häufigere Variante der in einen Synthesizer integrierten Controller.

Die Veränderung der Parameter kann über Drehknöpfe oder durch Fader (Schieberegler) erfolgen. Beide Varianten bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile. Der augenscheinlichste Nachteil von Drehknöpfen besteht darin, daß mit einer Hand jeweils nur ein Knopf bedienbar ist, während mehrere Fader mit den Fingern einer Hand simultan veränderbar sind. Geschickte User können also maximal 10 Parameter mittels Fader gleichzeitig verändern, sofern dies die

Anordnung der Bedienelemente zuläßt, jedoch können nur 2 Werte über Drehknöpfe gesteuert werden.

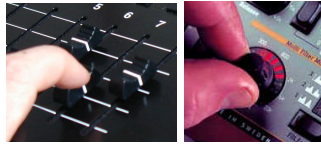


Abb. 41 Die Veränderung der Parameter kann über Drehknöpfe oder durch Fader (Schieberegler) erfolgen. Geschickte User können maximal 10 Parameter mittels Fader gleichzeitig verändern jedoch können nur 2 Werte über Drehknöpfe gesteuert werden.

Dennoch gibt es mehrere Gründe warum ein Drehknopfinterface die bessere Wahl sein kann. Für die Hersteller der Instrumente ist oft das Kostenargument ausschlaggebend. Qualitativ hochwertige Fader sind wesentlich teurer, was bei 20-30 Kontrollelementen stark ins Gewicht fallen kann. Darüber hinaus ist der Platzbedarf für Drehregler geringer, bei einem Design wird daher auch manchmal eine Kombination aus beiden Reglern gewählt.

Meistens sind an einem Instrument weniger Drehknöpfe oder Fader als steuerbare Parameter vorhanden, weshalb die Kontrollelemente mehrfach belegt werden. Digitale Geräte bieten auch meist die Möglichkeit Parametersets (sogenannte Patches) abzuspeichern und wieder aufzurufen. Beide Tatsachen führen in der Praxis zu einer Diskrepanz zwischen der physischen Stellung der Regler und der im Instrument gespeicherten Parameterwerten. Wenn beispielsweise über einen Regler die Filter-Cutoff-Frequenz im Livebetrieb auf den Wert 23 eingestellt wurde steht der Drehknopf bei herkömmlichen Interfaces auf ca. 8 Uhr. Bei einem Wechsel der Parametereinstellungen durch Abruf eines abgespeicherten Patches des Geräts wird der Wert für die Filter-Cutoff-Frequenz auf 110 gestellt. Der Drehregler befindet sich jedoch immer noch auf der alten Position. Eine leichte Drehung des Reglers würde dann in Folge einen großen Parametersprung von 110 auf vielleicht 24 bewirken. Dieser Umstand ist in den meisten Fällen nicht vom Benutzer erwünscht.

Für Drehknöpfe sind zwei Lösungen des Problems gebräuchlich:

Die billigere Variante befreit die Steuerung des Parameters solange von der Position des Potentiometers, bis die physische Einstellung des Knopfes mit dem abgerufenen Wert übereinstimmt. Erst nach dieser „Abholung“ des Wertes wird der Parameter wieder direkt an das Kontrollelement gebunden.

Komfortabler aber auch teurer ist die Ersetzung der Potentiometer durch digitale Endlosdrehregler. Hier gibt es keine physische Entsprechung der Stellung des

Reglers mit dem internen Parameter des Instruments mehr. Eine Drehung des Knopfes bewirkt keine Widerstandsänderung eines Potentiometers sondern sendet nur die Information ob der Knopf nach rechts oder links gedreht wurde. Dadurch wird die physische Anzeige von den internen Parametern entkoppelt, was für feine Einstellungen ein zusätzliches Feedback notwendig macht. In den meisten Fällen geschieht dies über die LCD-Anzeige des Geräts, indem einfach der Wert des Parameters als Zahl ausgegeben wird. Vereinzelt werden aber auch LED-Kränze um die Regler zur Anzeige benutzt¹.

Bei Faderinterfaces ist das „Abholen“ der Werte ebenfalls möglich, die zweite Variante analog zu den Drehknöpfen muß aber klarerweise ausfallen. Eine sehr teure Art der Anpassung der physischen Repräsentation an die Parameterwerte des Geräts ist die Verwendung von Motorfadern. Hier verstellen kleine Motoren blitzschnell die Faderstellung bei einem Wechsel des Patches oder bei einer Änderung der Belegung des Faders.

Die Umsetzung der Regler auf interne Parameter des Instruments erfolgt bei Fader- oder Knobboxen meistens in Form eines 1:1-Mappings. Es gibt jedoch auch einzelne Instrumente bei denen mit einem Regler mehrere Parameter gleichzeitig verändert oder Parametersets ineinander übergeblendet werden können. Letzteres wird als Morphing bezeichnet und findet sich in virtuell analogen Synthesizern wie dem *Nord Lead 3* und dem von *Yamaha* gebauten *AN1x*.

Clavia der Hersteller des *Nord Lead 3* schreibt auf seiner Webpage [Clav01a] dazu:

The Morph function lets you continuously control defined ranges of up to 26 parameters in a sound, using only a single control source. This lets you produce radical changes to a sound in a very fast and easy way. There are four separate Morph groups available per sound and you may assign up to 26 parameters to each of the four Morph groups. [...] When you control Morph groups, the values of every assigned parameter are shown in real-time by the corresponding LED graphs.

Anstatt der beiden Varianten Fader oder Drehknöpfe gibt es vereinzelt auch verwandte Controller, die andere Kontrollmöglichkeiten vorsehen. Ein Beispiel dafür

¹ siehe Abb. 41.

ist der von *Midiman* vorgestellte *Surface One*. Das noch im Projektstadium [Midi01] befindliche Produkt wird aus eine Kombination aus Drehknöpfen und druck- und positionsempfindlichen Ribboncontrollern bestehen. Letztere ähneln Fadern können jedoch zusätzlich die Druckstärke abnehmen und in MIDI-Parameter umwandeln. Fader- und Knobboxen sind in Bezug auf Immersion Touch-Controller und bieten daher akustisches und haptisches Feedback. Bei Reglern mit LED-Kränzen kommt noch ein beschränktes visuelles Feedback hinzu. Die Expressivität ist bei Controllern mit Knöpfe niedrig, da mit einer Hand jeweils nur ein Knopf gleichzeitig bedient werden kann, bei Fadern hingegen kann die Expressivität durchaus als gut angesehen werden, 5 bis 10 Fader kann ein geschickter User gleichzeitig bedienen. Die Intelligenz bzw. das Mapping und die damit verbundene Generizität ist von Gerät zu Gerät unterschiedlich, kann von kaum programmierbar bis sehr flexibel reichen. In Verbindung mit Software als Klangerzeuger wird diese Aufgabe jedoch meist ohnehin von der Software, die im Allgemeinen sehr flexibel ist, übernommen.

5.3 *The Matrix*

Das von Daniel James Overholt im Jahr 2000 als Master-Thesis entwickelte Instrument genannt *The Matrix* oder *The Emonator* besteht aus einer in etwa handgroßen 12 mal 12 Matrix an drückbaren Stäben [Over00]:

A user interacts with the Emonator by manipulating the surface formed by a bed of rods at the top of the Emonator. The user's movements are analyzed and used to control several music and sound generation engines as well as video streams in real-time.

Die Motivation dazu war für Overholt, ein Instrument zu bauen, das eventbasierter¹ und kontinuierlicher² Controller in einem sein sollte. Zwar finden sich ähnliche Eigenschaften auch bei einem herkömmlichen MIDI-Keyboards mit Aftertouch, auch hier kann nach dem Event –dem Drücken der Taste – noch kontinuierliche Information durch Halten und fortgesetztes stärkeres Drücken gesendet werden, jedoch ohne wirkliches mechanisches Feedback wie beim *Emonator*.

Um sowohl musikalischen Laien als auch erfahrenen und anspruchsvollen Musikern ein befriedigendes Instrument zur Erzeugung elektronischer Musik zu bieten,

¹ z.B. ein Keyboard

² Fader- oder Drehknopfinterface

entwarf Overholt drei verschiedenen Applikationen. Auf drei unterschiedlichen Stufen kann der Benutzer mit dem Gerät interagieren.

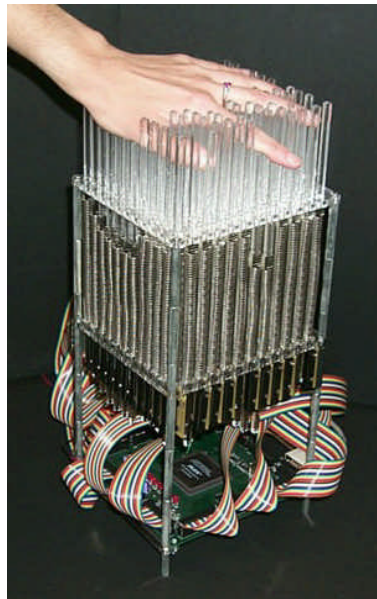


Abb. 42 Das von Daniel James Overholt als Master-Thesis entwickelte Instrument genannt *The Matrix* oder *The Emonator* besteht aus einer in etwa handgroßen 12 mal 12 Matrix an drückbaren Stäben.

Die Low Level Interaction beschreibt der Autor [Over00] so:

The low-level music software has been designed to allow people to utilize the Emonator for the creation of original sounds. In order to gain mastery of the sounds produced using such direct mappings, a performer or composer would have to develop considerable skill in controlling the Emonator. In the low-level mode, the surface of the Emonator is used as a way of sculpting the sound of a software synthesizer.

Der Musiker kontrolliert hier direkt das harmonische Spektrum eines additiven Synthesizers. Eine harmonische entspricht einem der 144 Stäbe. Bei dieser Applikation ist das Erzeugen musikalisch interessanter Ergebnis relativ schwierig, das Instrument neigt eher zu gleichförmigen Tönen ohne scharfen Attack mit diversen Obertönen. Musikalisch interessante Klänge können eher durch ein anderes Mapping der Stäbe, etwa durch zufälliges Zuordnen zu nicht unbedingt harmonischen Frequenzen erreicht werden, was aber auch die Ergebnisse schwerer kontrollierbar macht.

Aus diesem Grund wurde eine Medium Level Interaction Applikation entwickelt, die gesprochene Sprache über ein Mikrofon aufnimmt, diese Klänge in kleine Stücke

zerteilt und über Druck auf die Stäbe wiedergebar macht. Diese Methode entspricht in etwa einer langsameren Form der granularen Synthese. Keine neue Idee, wie Overholt betont, aber eine, die dennoch interessante Ergebnisse produziert.

Als High Level Interaction wurden zwei Programme entworfen, die sich mehr an unerfahrene aber musikalisch interessierte Laien richten als an Musiker. Das erste *Rhythmator* setzt die Bewegung von 12 Stäben in rhythmische Sequenzen um. Macht der Benutzer langsame und vorsichtige Eingaben, werden weiche und hohe Schlagzeugklänge wiedergegeben. Bei schnellerer Bedienung werden die Sounds lauter, variierter und härter.

Das zweite zur Zeit der Veröffentlichung der Arbeit noch im Entwicklungsstadium befindliche Programm hat die Umsetzung expressiver Gesten in musikalische Phrasen, die emotional belegt werden zum Ziel. Die Applikation soll an den User in Hinsicht auf Geschicklichkeit, Spielstil und Genre anpaßbar sein.

The Matrix ist als Touch-Controller konzipiert und bietet akustisches und haptisches Feedback. Als System mit dem Computer liefern die verschiedenen Applikationen auch zum Teil visuelle Rückmeldungen. Die Generalisierbarkeit ist hoch, was die unterschiedlichen Anwendungen beweisen. Je nach Art dieser Anwendung sind auch verschiedene Stufen der Intelligenz verfügbar. Davon ist auch der Grad der Expressivität abhängig, der von der physischen Beschaffenheit des Geräts potentiell sehr hoch ist.

5.4 *Miburi*

Der *Miburi* ist ein kommerzielles, 1996 von Yamaha exklusiv für Japan entwickeltes wearable Instrument, das über Ganzkörpergesten steuerbar ist.



Abb. 43 Der *Miburi* ist ein kommerzielles, von Yamaha exklusiv für Japan entwickeltes wearable Instrument, das über Ganzkörpergesten steuerbar ist. Zur Steuerung des Instrument erfand Yamaha eine Gestensprache, eine Mischung aus Tanz und Flaggenalphabet.

Das System besteht aus einer Jacke, Biegesensoren für Schulter, Ellbogen und Handgelenk, zwei Griffen für die Hände mit anschlagdynamischen Knöpfen für jeden Finger und einem Paar Schuheinlagen mit Piezo-Pickups für die Ferse und Zehen. Der *Miburi* dürfte das komplexeste kommerziell erhältliche wearable Musikinstrument sein. Bis vor einigen Jahren war es in Japan erhältlich, die Produktion wurde jedoch mittlerweile eingestellt.

Die letzten verfügbaren Modelle sendeten die von den Sensoren abgenommenen Daten über eine drahtlose Verbindung vom Performer zu einem in der Nähe befindlichen Empfänger. Zur Steuerung des Instrument erfand Yamaha eine Gestensprache, eine Mischung aus Tanz und Flaggenalphabet, mit der Noten über Armstellungen und Tastendrucke auf den Handcontrollern angegeben werden können. Dabei nicht benutzte Sensoren werden zur Steuerung des Timbres verwendet.

Das Instrument ist von der Anlage der Sensoren potentiell voll-immersiv, durch die Gestaltung der Gestensprache in der Erkennungssoftware sind aber bedeutungslose Bewegungen möglich. Das Feedback ist zum größten Teil rein akustisch, wenn man von den Druckknöpfen an den Handcontrollern absieht. Durch die Kombination zahlreicher Sensoren ist die Expressivität recht gut.

5.5 *Gesture Wall*

Die Erfindung des *Theremins* Anfang des 20ten Jahrhunderts inspirierte viele von Termens Zeitgenossen zu ähnlichen Instrumenten. Die meisten dieser Geräte unterschieden sich nur schwach vom Original und verschwanden auch wieder als die Erfindung des *Theremins* aus den Schlagzeilen kam. Erst ab 1990 wurde die Technologie des *Electric Field Sensing* [PaGe96] wieder im größeren Umfang zur Kreation neuer Musikinstrumente eingesetzt. Eine Vielzahl von derartigen Systemen wurde am MIT Media Lab entwickelt.

Stellvertretend dafür soll hier der von Joe Paradiso, Kai-yuh Hsiao, Chris Dodge, und Sharon Daniel entwickelte *Gesture Wall* besprochen werden.



Abb. 44 Beim am MIT Media Lab entwickelte *Gesture Wall* steuert eine Auf- oder Abwärtsbewegung der Hände die Tonhöhe der Notensequenzen, während eine Seitwärtsbewegung das Timbre verändert.

Dieses Gerät arbeitet mit der *Transmit Mode Electric Field Sensing* Methode, bei der der Benutzer im Gegensatz zum Theremin Kontakt mit einer Elektrode haben muß.

Beim *Gesture Wall* ist dies eine Metallplatte auf die der Spieler steigt, wonach er mit den Händen im Feld zwischen zwei Stangen Gesten ausführen kann. Um die unterschiedlichen Impedanzen der Sohlen der User ausgleichen zu können, muß zuerst eine Hand auf eine Kalibrierungselektrode gelegt werden.

Eine Auf- oder Abwärtsbewegung steuert die Tonhöhe der Notensequenzen, während eine Seitwärtsbewegung das Timbre verändert.

Zusätzlich projiziert das Gerät auch noch partikelbasierte, computergenerierte Bilder an eine im Spielbereich angebrachte Leinwand.

Wie viele der am MIT Media Lab entwickelten Instrumente ist meiner Meinung nach gerade der Klang eher uninspiriert und belanglos. Die im *Haus der Musik* in Wien installierte Version des *Gesture Walls* klingt, als ob Standardsounds eines MIDI-Expanders mittels Arpeggiator durchgespielt würden – ein Klang, der für ein universelles Instrument kaum ausreichen dürfte.

Der *Gesture Wall* ist ein Teil der *Brain Opera*, einem Projekt am MIT Media Lab unter der Leitung von Tod Machover [MITM01]:

The BRAIN OPERA is an interactive, musical journey into your mind, to be presented simultaneously in physical and cyber space

Im Rahmen dieses Projekts wurden eine Reihe ähnlicher Instrumente wie beispielsweise der *Sensor Chair* [MITM01a] entwickelt. Eine ausgiebige Dokumentation der sogenannten *Hyperinstruments* findet sich unter [MITM01b]. Der *Gesture Wall* ist den Extended-Range-Controllern zuzuordnen, wobei hier eine visuelle Feedbackmöglichkeit in Form eines Bildschirms besteht. Durch die Beschränkung auf zwei Dimensionen ist die Expressivität niedrig.

5.6 *Lady's Glove*

Ausgehend von den Datenhandschuhen der 1980er Jahre¹ baute Laetitia Sonami 1991 in Zusammenarbeit mit Paul DeMarinis für eine Performance bei der Ars Electronica in Linz ein Paar aus Gummihandschuhen gefertigte Datagloves. An den Fingerspitzen waren Halleffektschalter² angebracht, die Signale an einen Mikroprozessor sendeten sobald sie einen an der rechten Hand angebrachten Magneten berührten. Diese Signale wurden in MIDI-Daten umgewandelt und an diverse Synthesizer und Sampler geschickt.

Danach entwickelte Sonami einen Handschuh mit Biegesensoren, die einem *Mattel PowerGlove* entnommen worden waren. Dieser von ihr ironisch *Lady's Glove* genannte Controller konnte die Biegung der Finger und des Handgelenks sowie den Abstand der Hände zueinander und die Höhe der linken Hand messen. Zusätzlich besaß der Zeigefinger noch einen Drucksensor.

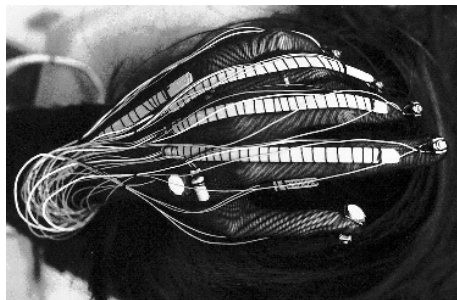


Abb. 45 Der von Laetitia Sonami gebaute *Lady's Glove* kann die Biegung der Finger und des Handgelenks sowie den Abstand der Hände zueinander und die Höhe der linken Hand messen.

Die aktuelle Version des *Lady's Glove* wurde 1994 von Laetitia Sonami und Bert Bongers in Den Haag entwickelt. Das Design entspricht weitgehend dem seiner

¹ siehe Kapitel 3.7.5

² Auf dem Weg durch eine flache Platte werden die Elektronen eines Hilfsstroms seitlich abgelenkt und erzeugen eine dem Magnetfeld proportionale Spannung an den Seitenflächen der Platte. Je dünner die Platte, desto stärker ist der Hall-Effekt. [Sche00]

Vorgänger, hinzugefügt wurden nur ein Quecksilberschalter und ein Beschleunigungsmeßgerät, das die Geschwindigkeit der Handbewegung erfaßt. Die Daten werden ebenso wie bei den vorigen Versionen von einem von STEIM entwickelten Mikrorechner genannt *Sensorlab* verarbeitet und an einen Laptop mit *Cycling'74* MAX/MSP-Software weitergeleitet. Das Mapping der Parameter ist dabei stets ein spezifischer Teil der Komposition. Manchmal werden auch Servos und Lichter als integraler Bestandteil des Stücks angesteuert.

Über die Beweggründe, dieses Instrument zu bauen schreibt Sonami [Sona00]:

The intention in building such a glove, was to allow movement without spatial reference (there is no need to position oneself in front or in the sight of another sensor), and to allow multiple, parallel controls. Through gestures, the performance aspect of computer music becomes alive, sounds are "embodied", creating a new, seductive approach.

Als teil-immersives Instrument mit einer guten Expressivität besitzt das Gerät im wesentlichen nur akustisches Feedback, wenngleich dieses auch manchmal in Performances durch optische oder mechanische Aktuatoren erweitert wird. Die Generalität ist durch die Verwendung der Software *MAX* hoch und damit das Mapping als Teil der Komposition wandelbar.

5.7 VMI

Axel Mulders Dissertation [Muld98] von 1998 beschreibt ein von ihm entwickeltes *Virtual Musical Instrument* (kurz: VMI). Das System besteht aus zwei Datenhandschuhen mit denen in Echtzeit dreidimensionale Objekte auf einem Bildschirm modifiziert werden können. Die Form der Objekte korreliert dabei mit bestimmten musikalischen Parametern, die durch Gesten der Hände verändert werden können.

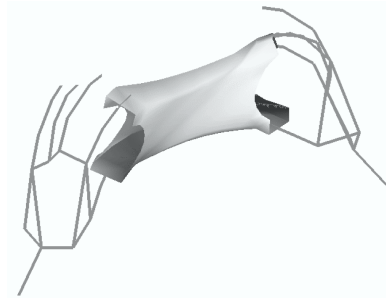


Abb. 46 Mulders *Virtual Musical Instrument* besteht aus zwei Datenhandschuhen mit denen in Echtzeit die Form dreidimensionaler Objekte und mit ihnen musikalische Parameter auf einem Bildschirm modifiziert werden können.

Die zwei implementierten Objekte „Ballon“ und „Fläche“ reagieren verschieden auf die Manipulation der Form durch den Benutzer und antworten mit unterschiedlichen Klangveränderungen.

Die Zielsetzung des Projekts beschreibt Mulder so [Muld98]:

The limitations imposed by physics can be overcome by using sensor technology that tracks the entire hands such as that used for immersive controllers and virtual environments. Then, in a virtual environment musical instruments can be created that exist only as software [...] All aspects of such a controller will be programmable and no constraints will be imposed by acoustic or other physics principles and the performer will not be required to hold physical components, so it will be maximally adaptable to the needs and capabilities of an individual performer.

Um diese maximale Flexibilität zu erreichen wurde die verarbeitende Software in MAX/FTS implementiert.

VMI ist ein teil-immersives System mit einer zentralen visuellen Feedbackkomponente. Die Expressivität ist mittel bis gut und wird durch die Programmierung

der Software in MAX/FTS bestimmt. Durch diese Softwarekomponente ist die Generizität hoch und das Instrument flexibel änderbar.

5.8 *Magic Carpet*

Der am MIT Media Lab entwickelte *Magic Carpet* ist ein Environment, bestehend aus einem „Teppich“ und Radarsensoren. Diese Kombination von Sensoren kann die Position und Bewegung des Spielers oder Tänzers erfassen. Dabei sind Geschwindigkeit der Bewegung und Druckstärke auf den Boden (beispielsweise durch Springen) zusätzlich relevante Parameter.



Abb. 47 Der am MIT Media Lab entwickelte *Magic Carpet* ist ein Environment, bestehend aus einem „Teppich“ und Radarsensoren. Diese Kombination von Sensoren kann die Position und Bewegung des Spielers oder Tänzers erfassen.

Die Sensorfläche – der eigentliche „Teppich“ – wurde durch eine 16 mal 32 Matrix aus piezoelektrischen Drähten realisiert. Dadurch kann das System Position und Beschleunigung durch Schritte oder Springen registrieren. Die Radarsensoren messen Bewegungen des Oberkörpers und der Hände.

Das Mapping der Sensordaten auf einer tiefen, mittleren und hohen Stimme eines MIDI-Expanders beschreiben die Autoren [PaAb97]:

The low voice basically acts as a pedal point; a single steady low note is triggered by stepping on the carpet and is sustained for a length of time. The middle voice, also triggered by the carpet, plays harmonizing fifths. The pitch and panning of the middle voice is controlled by the user's position on the carpet. The high voice is a twinkling melody line whose speed, pitch, and panning is controlled by the motion detected by the radars, and whose timbre and structure is controlled by the carpet. Finally, the direction of movement detected by the radar units controls the chord on which everything is played.

Wie bei anderen Arbeiten des MIT Media Lab wirkt auch hier die akustische Realisation uninspiriert und mehr wie eine technische Demonstration als ein Stück Musik.

Sofern sich der Spieler auf dem *Magic Carpet* befindet, funktioniert das System voll-immersiv und bietet eine erstaunlich hohe Expressivität bei rein akustischem Feedback. Das Mapping ist in der beschriebenen Anwendung statisch und mäßig komplex.

5.9 *Dance Sneakers*

Kooperationen mit Tänzern scheinen für gestische Controller nur natürlich. Zahlreiche Künstler kombinieren Sensortechnik und elektronische Musik zu mehr oder weniger gelungenen Performances. Darüber hinaus wurden spezielle Systeme für Tänzer geschaffen.



Abb. 48 Der am MIT Media Lab entwickelte *Dance Sneaker* ist ein speziell für Tänzer gebautes Gerät zur Verbindung von Tanz und Musikgenerierung in Form eines Schuhs.

Der 1997 von Joseph A. Paradiso und Eric Hu am MIT Media Lab entwickelte *Dance Sneaker* [PaHu97] ist ein solches Gerät in Form eines Schuhs. Das Kleidungsstück hat je einen Drucksensor für die große und die kleinen Zehen und einen für die Ferse. Ein weitere Sensoren messen die Biegung der Schuhsole und die Neigung in zwei Freiheitsgraden. Ein kleiner Kompaß ermittelt zusätzlich noch die Drehung des Fußes. Über Ultraschallmessung kann die Position des Schuhs in X- und Y-Richtung und durch Electric Field Sensing die Höhe erfaßt werden. Die Daten werden über eine drahtlose Verbindung an eine Basisstation gesendet und in musikalische Parameter umgewandelt.

Das nur mit akustischem Feedback ausgestattete teil-immersive Kleidungsstück bietet eine gute Expressivität. Bei einer Demonstration der *Dance Sneakers* auf der Ars Electronica 2001 war es besonders die wechselseitige Interaktion des Tänzers mit der generierten Musik, die die Expressivität zur Geltung brachte. Die

Bewegungen des Performers steuerten die Musik, auf die wiederum der Performer reagieren konnte, was eine spannungsreiche Wechselwirkung ergab. Gleichzeitig scheint diese Anwendung aber auch die einzige einleuchtende zu sein, eine allgemeine Verwendung als generisches Musikinstrument wird wohl eher nicht in Frage kommen.

Die von Mark Coniglio und Dawn Stoppiello gegründete Tanz-Company *Troika Ranch* entwickelte ab 1992 mit dem *MidiDancer* [Troi01] einen anderen Ansatz zur Verbindung von Tanz und live-generierter Musik. Das System beinhaltet ähnlich wie der *Miburi*¹ Biegesensoren, die am Körper getragen werden, um die Arm- oder Beinstellung zu messen. Ein kleines Gerät, das ebenfalls der Performer bei sich trägt übernimmt die Daten und funkt sie auf einer Distanz bis maximal 100 Meter zu einer Basisstation, wo sie auf Fehler geprüft und in MIDI-Events umgewandelt werden.

5.10 Biosignale

Eine spezielle Form der wearable Musikinstrumente sind jene Geräte, die auf bioelektrische Spannungen reagieren. Am Körper angebrachte Elektroden können auf Muskelbewegungen, Herzschlag oder Gehirnaktivität reagieren.

Der *BodySynth* – von dem Elektroingenieur Ed Severinghaus und dem Performancekünstler Chris Van Raalte entworfen – besitzt vier Sensoren zur Messung der Muskelspannung. Diese Daten werden in einem kleinen, tragbaren Gerät verstärkt, aufbereitet und drahtlos an eine größere Einheit weitergeschickt, wo die Wandlung in MIDI-Daten erfolgt. Das System kann auf acht Sensorkanäle ausgebaut werden und arbeitet mit einer Samplingrate von 40-80Hz. Etliche Performancekünstlerinnen und -künstler wie Laurie Anderson und Pamela Z verwenden das Gerät in ihren Aufführungen.

Ein ähnliches System ist *BioMuse*, ein Biocontroller, der mit Sensoren für Augenbewegung, Muskelspannung und Hirnwellen ausgerüstet werden kann. Ursprünglich als Hilfsmittel für Gehbehinderte gedacht, verwendeten bald Musiker das Gerät, nicht zuletzt deswegen weil es die Möglichkeit besitzt, MIDI-Daten auszugeben. Die hohe Samplingrate von 4kHz und die Vielzahl an DSP-Algorithmen

¹ siehe Kapitel 5.4

zur Analyse der Biodaten im Gerät selbst erhöhen die Brauchbarkeit für musikalische Anwendungen weiter.

Die Sensoren für Muskelspannung werden mittels Armband, die für EEG mit einem Stirnband befestigt. Dazu kommt ein leitfähiges Gel, das den Kontakt zwischen der Haut und den Elektroden sicherstellt. Beginnt der Performer zu schwitzen, löst sich dieses Gel allerdings, was zu einer Fehlfunktion der Sensoren führen kann.

Schwierigkeiten bereitet auch das Mapping der Daten auf musikalische MIDI-Parameter. Durch die hohe Samplingrate, die für eine zeitlich enge Kopplung vom Klang an die Bewegung vorteilhaft ist, und die Natur der Signale entsteht eine große Menge an Daten in kurzer Zeit. Der Medienkünstler Atau Tanaka entwickelt dafür als Doktorand am CCRMA in Stanford ein System mit MAX, um die Datenmenge zu filtern. Theresa Marrin schreibt darüber [Marr00]:

Tanaka wrote that his software patches mapped "incoming MIDI control data (representing EMG trajectories) to musical gestures. In this way, a physical gesture of the muscles effects melody, rhythm, timbral changes, and combinations."

Biosignalverarbeitende Geräte sind potentiell voll-immersiv, was aber von der Position der Sensoren und der Verarbeitung der Daten abhängig ist. Bei EEG-Messungen können beispielsweise nicht einmal mehr musikalisch „bedeutungslose“ Gedanken gedacht werden.

Das Feedback ist meistens rein akustisch während die Expressivität potentiell hoch ist. Die Generizität und die von der datenverarbeitenden Einheit geforderte Intelligenz ist hoch.

5.11 I-CubeX

Stellvertretend für eine Reihe an generischen Systemen zur Umsetzung von physischen Ereignissen in MIDI-Events soll hier *I-CubeX* von *Infusionsystems* [Infu01] besprochen werden.

Das 1995 von Axel Mulder entwickelte System ist Grunde ein Analog-Digital-Konverter mit MIDI-Schnittstelle. Über 32 Kanäle können diverse Aufnehmer wie Biegesensoren, Nähesensoren, Druckmeßgeräte, lichtempfindliche Widerstände, Neigungssensoren etc. angeschlossen und erfaßt werden. Diese werden vom Digitalisierer mit einer Auflösung von 7 oder 12 Bit gemessen und in MIDI-Events

umgewandelt. Zusätzlich können acht Kanäle für den Anschluß von Aktuatoren wie Relais oder Leuchtdioden genutzt werden.

Das System kann flexibel angepaßt werden und funktioniert sowohl in Verbindung mit einem Computer als auch als Controller für beliebige andere MIDI-Instrumente. Acht Kanäle können darüber hinaus als Ausgänge umkonfiguriert werden und bieten so die Möglichkeit, Lichter, Servos und Ähnliches zu steuern.



Abb. 49 Das 1995 von Axel Mulder entwickelte *I-CubeX* System ist Grunde ein Analog-Digital-Konverter mit MIDI-Schnittstelle. Über 32 Kanäle können diverse Aufnehmer wie Biegesensoren, Nähesensoren, Druckmeßgeräte, lichtempfindliche Widerstände, Neigungssensoren etc. angeschlossen und erfaßt werden.

Aufgrund der flexiblen Einsatzmöglichkeiten wird das System laut der Homepage des Herstellers [Infu01] für eine große Palette an künstlerischen Ausdrucksformen wie interaktiven Installationen, Tanzperformances, elektronische Musik etc. genutzt. Bei einem so generischen System wie *I-CubeX* können kaum Aussagen zur Bewertung des Geräts gemacht werden. Unter den in diesem Kapitel vorgestellten Instrumenten bietet dieses sicher ein Maximum an Flexibilität. So können sowohl die Feedbackmöglichkeiten, die Expressivität als auch der Grad der Immersion verändert werden. Die Basiseinheit – der Digitizer – kann ebenfalls programmiert und an unterschiedliche Anforderungen, was die MIDI-Daten betrifft, angepaßt werden.

5.12 Zusammenfassung

Durch die Vielzahl der zur Zeit am Markt befindlichen oder in experimentellen Labors oder von Performancekünstlern entwickelten Instrumente kann unmöglich ein Überblick über die aktuellen Geräte gegeben werden. Deswegen sind hier stellvertretend Beispiele für innovative oder exemplarische Systeme angeführt. So die nach wie vor relevanten Fader- oder Knobboxen und zwei aktuelle Vertreter von Dataglove-Interfaces. Als weitere Wearable Interfaces werden der mittlerweile nicht mehr in Produktion befindliche *Miburi* sowie der am MIT produzierte *Dance Sneaker*

besprochen. Für die Masse an Tasteninstrumenten wird *The Matrix* beschrieben, ein vom üblichen Keyboardlayout stark abweichendes Tasteninstrument.

Als Nachfolger des *Theremins* sind aktuelle Instrumente mit Field-Sensing-Methode der *Gesture Wall* und *Magic Carpet* aufgeführt und schließlich Biosignalsysteme, die auf Muskelspannungen oder Gehirnwellen reagieren.

Eine Sonderstellung nimmt *I-CubeX* ein, das ein generisches System für Sensoren aller Art darstellt. Elektrische Spannungen können damit digitalisiert und in MIDI-Daten umgewandelt werden.

6 Resümee

Die für das Verständnis der Arbeit wichtigen Begriffe werden in Kapitel 2 erklärt, besonders die technischen Termini wie MIDI als der „Sprache“ der elektronischen Musikinstrumente, dem Protokoll zur Kommunikation der Geräte untereinander oder dem Sequencer als zentrale Stelle in einem typischen Setup für elektronische Musik. Die wichtigsten Syntheseformen als Basis für die Produktion elektronischer Klänge werden überblicksweise erläutert.

Nach diesen Grundlagen beginnt die Schilderung der Geschichte der Musikgeräte mit den Vorläufern und ersten Experimenten wie dem *Helmholtz-Resonator* oder Edisons *Phonograph*. Das ersten eigentlichen elektronischen Instrumente waren aber 1876 Elishas *Musical Telegraph* und das gigantische *Telharmonium* im Jahr 1906. Die Erfindung der Vakuumröhre schließlich ermöglicht erstmals den Bau von Verstärkern und einer Vielzahl an neuen Geräten, das herausragendste sicherlich das nach wie vor bedeutende und wohl „klassisch“ zu nennende *Theremin*. Nach dem zweiten Weltkrieg werden bedeutende und hochkomplexe Synthesizer wie das *Electronium* und der *RCA-Synthesizer*, beide mit integrierten Sequencern entwickelt. Der unaufhaltsame Höhenflug der elektronischen Instrumente beginnt ab 1960 als die ersten analogen Modulsysteme und schließlich der *MiniMoog* kommerziell erhältlich werden. Zuvor waren die Geräte entweder Einzelstücke oder nur für Insider zugänglich.

Die Digitalisierung setzt ab 1980 mit einer Vielzahl an Neuerungen ein: fast zeitgleich mit der Einführung der MIDI-Schnittstelle werden FM-Synthesizer als billige Alternative zu den teureren analogen Geräten vorgestellt und die ersten vollwertigen Sampler werden verfügbar. Mit der weiteren Verbreitung von MIDI als universelle Schnittstelle zwischen allen denkbaren Klangerzeugern und „Eingabegeräten“ werden verstärkt neue Ansätze zur Steuerung von Synthesizern entwickelt. Prototypen aus den 1970er Jahren wie Drum- und Windcontroller werden zur Serienreife gebracht und vermarktet, sowie weitere experimentelle Entwürfe gebaut, wie *The Hands* oder der *Radio Baton*.

Die Jahre ab 1990 werden im nächsten Abschnitt nicht mehr historisch betrachtet, sondern eher als Aussicht auf kommende und in Gang befindliche Entwicklungen. So werden Trends wie die zunehmende „Virtualisierung“ der Instrumente und die Zukunft der Softwaresynthese beleuchtet

Im Kapitel 4 bespreche ich anfangs zwei Kategorisierungsschemata aus der Literatur, um dann meine Schlußfolgerungen daraus in eine neue und umfassendere Taxonomie einfließen zu lassen. Die anhand von fünf Eigenschaften klassifizierten Instrumente aus der Datensammlung in Kapitel 7 werden in drei Eigenschaften in zwei Graphen dargestellt und anschließend Schlüsse daraus gezogen. Die Kriterien meiner Klassifizierung werden in Kapitel 5 auf zehn aktuelle Beispiele von Instrumenten angewandt, die im Detail besprochen werden.

6.1 *Ausblick*

Zwei Tendenzen der letzten Jahre beförderten die Entwicklung und kommerzielle Vermarktung von neuartigen Interfaces für elektronische Musik: zum einen die Popularisierung der DJ-Kultur, die die Schwelle zur Musikproduktion, was musikalisches Können betrifft, senkte, zum anderen die Verfügbarkeit billiger elektronischer Musikinstrumente und vor allem die Etablierung von Softwaresynthesizern, was im gesamten die finanzielle Schwelle herabsetzte. Diese beiden Umstände brachten eine „Demokratisierung“ der Musikproduktion, sodaß eine größere Zahl an unvoreingenommenen Newcomern auch ohne Vorurteile an neue Geräte und neue Interfaces für diese heranging und –geht.

Manche neuere Synthesemethoden wie beispielsweise die Granulare Synthese sind mit klassischen Interfaces wie dem Keyboard nicht mehr sinnvoll und ausdrucksstark zu steuern und erfordern kreativere Ansätze der Kontrolle.

Dennoch hatten sich im Laufe der Geschichte der elektronischen Musik nur wenige von den herkömmlichen Instrumenten abweichende Interfaces dauerhaft etabliert. Diese sind im wesentlichen das *Theremin*, Fader- oder Knobboxen und Wearables wie der *DataGlove*. Die anderen Entwürfe sind entweder Nachahmungen konventioneller Instrumente wie Wind- oder Drumcontroller oder experimentelle Prototypen, die keine weitere Verbreitung fanden.

Diese „Ausbeute“ wird sich in den nächsten Jahren kaum erhöhen, da die wirklichen Neuerungen eher in den universitären Forschungseinrichtungen wie dem MIT oder dem IRCAM und von Künstlergruppen wie *Troika-Ranch* oder *Sensorband* entwickelt werden und kaum Einfluß auf große Firmen haben. Das hängt damit zusammen, daß diese neuen Instrumente für experimentelle oder zumindest innovative Musik ausgerichtet und somit für den Mainstream, der noch immer vorwiegend auf „traditionellen“ Instrumenteninterfaces basiert, eher uninteressant sind. Wirkliche

Innovationen werden also auch in Zukunft eher wenige in den Rang von vollwertigen Instrumenten gelangen. Ein Gerät wie *The Matrix* beispielsweise werden einfach nicht genügend Künstler benötigen, damit eine große Firma dieses kommerziell herzustellen bereit ist.

Trotzdem wird es auch in Zukunft immer wieder kleinere Neuerungen im kommerziellen Bereich geben wie der von *Alesis* hergestellte *AirSynth* oder der etwas glücklose *Miburi* von *Yamaha* und vielleicht gelingt es wieder durch Marketing und eine gelungene Konzeption einen ähnlich populären Entwurf wie das *Theremin* zu schaffen.

7 Liste der Instrumente

Die Ergebnisse der dieser Arbeit zugrunde liegenden Recherche sind im Folgenden in einer Liste der erfaßten Instrumente versammelt. Eine Datensammlung wie diese muß in letzter Konsequenz immer unvollständig bleiben. Dennoch habe ich versucht, zumindest im Bereich der experimentellen und nicht-kommerziellen Geräte so vollständig wie möglich, alle gesicherten Informationen aufzuzeichnen. Bei den kommerziellen und industriell in größerer Menge hergestellten Instrumenten sind oft nur die wichtigsten Vertreter einzelner Produktlinien oder –gruppen aufgeführt, weitere Informationen sind allerdings von den Herstellern selbst leicht zu erhalten. Hauptquelle war dabei das Internet und besonders die diversen Übersichtsseiten zu elektronischen Musikinstrumenten wie [Fried01], [Hara01], [Hist01], [Obso01] und [Synth00].

10Control fader/knob boxen
 Autor: unbekannt
 Jahr: 1998 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1
 Institution:
<http://www.ibk-midi.de/>

1130 Drum Controller drumcontroller
 Autor: Moog
 Jahr: 1973 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1
 IBK Institution: Moog

4Control fader/knob boxen
 Autor: unbekannt
 Jahr: 1998 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1
 Institution:
<http://members.aol.com/uwekeinki/d-4ctxt.htm>

Accordiatron special
 Autoren: Michael Gurevich & Stephan von Muehlen
 Jahr: 2000 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2
 IBK Institution: CCRMA
<http://www.stanford.edu/~svm/accordiatron.html>

Airdrum baton
 Autor: unbekannt
 Jahr: 1987 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2
 Institution:

AirSynth free-gesture
 Autor: unbekannt
 Jahr: 2001 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2
 Palmtree Instruments, La Jolla, California Institution: Alesis
<http://www.alesis.com/products/airsynth/index.html>

aXiO free-gesture
 Autor: Brad Cariou
 Jahr: 1994 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3
 Institution:
<http://www.acs.ucalgary.ca/~eagle/F>

BigEye free-gesture
 Autor: Tom DeMeyer
 Jahr: unbekannt Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3
 University of Calgary Institution: STEIM
<http://www.steim.nl/bigeye.html>

bioakustik biosignale
 Autor: SHIFZ
 Jahr: 2000 Immersion:5 Feedback: 3 Express.: 3
 Institution:

biofeedback biosignale
 Autoren: David Rosenboom & Richard Teitelbaum
 Jahr: 1990 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3
 SHIFZ Institution: Mills College, Oakland, Calif.

Biomuse biosignale
 Autoren: Knapp & Lusted
 Jahr: 1990 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3
 Institution:

Bit Stream Pro fader/knob boxen
 Autor: unbekannt
 Jahr: 2000 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3
 BioControl Systems, Palo Alto, Calif. Institution: Wave Idea
<http://www.waveidea.com/>

Bodysuit free-gesture
 Autor: Leslie-Ann Coler
 Jahr: unbekannt Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3
 Institution:

BodySynth biosignale
 Autoren: Chris van Raalte & Ed Severinghaus
 Jahr: 1994 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3
 Institution:
<http://www.synthzone.com/bsynth.html>

BoSSA	stringcontroller	Brocton-X Drum Suit	wearable
Autoren: Dan Trueman & Perry Cook		Autor: unbekannt	
Jahr: 1998 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1985 Immersion: 4 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		Princeton University Institution:	
http://silvertone.princeton.edu/~dan/BoSSA/			
Bug-Mudra / Exos Dexterous Hand Master	wearable	Celleto	stringcontroller
Autor: Tod Machover		Autor: Chris Chafe	
Jahr: 1990 Immersion: 4 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1990 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		MIT Institution: CCRMA	
http://parallel.park.org/Events/BrainOpera/Archive/Hyperinstruments/bug-mudra.html		http://ccrma-www.stanford.edu/~serafin/NBF/text13.htm	
ChordBoard	keyboards	Chromasone	wearable
Autor: Grant Johnson		Autor: Walter Fabeck	
Jahr: 1993 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1993 Immersion: 4 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		ChordBoard Institution: STEIM	
http://www.chordboard.com/		http://www.chrom.demon.co.uk/chromasone.htm	
Contact	keyboards	Continuum Fingerboard	free-gesture
Autor: Peter Otto		Autor: Lippold Haken	
Jahr: 1981 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: 1998 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		Institution: CERL Sound Group	
		http://www.cerlsoundgroup.org/Continuum/Hardware.html	
Control Freak	fader/knob boxen	Control Suit	wearable
Autor: unbekannt		Autor: Rolf Wallin	
Jahr: unbekannt Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1995 Immersion: 4 Feedback: 1 Express.: 1	
Institution:		Kenton Electronics Institution: NoTAM	
http://www.kenton.co.uk/		http://www.notam.uio.no/notam/kontrolldress-e.html	
Costel	free-gesture	Crackle Box & Crackle Synthesizer	special
Autor: Camurri		Autor: Michel Waisvisz	
Jahr: 1987 Immersion: 5 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: 1975 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Institution: STEIM	
		http://www.xs4all.nl/~mwais/	
Crackle Stage	free-gesture	Cyberwhistle	windcontroller
Autor: Michel Waisvisz		Autor: Dylan Menzies	
Jahr: 1976 Immersion: 5 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: 1999 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		STEIM Institution: University of York	
		http://sites.netscape.net/dylanmenzies/work/index.html	

Dance Sneakers wearable

Autoren: Joseph A. Paradiso & Eric Hu

Jahr: 1997 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 3

Institution:

<http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Shoes.html>

DanceSpace free-gesture

Autor: Flavia Sparacino

Jahr: 1997 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3

Institution:

<http://flavia.www.media.mit.edu/~flavia/DanceSpace/DanceSpace.html>

Dataglove as MIDIController wearable

Autor: Gustav's Party

Jahr: unbekannt Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 3

Institution:

dancer's belt wearable

Autor: Gordon Mumma

Jahr: 1971 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 2

MIT Institution:

Dataglove wearable

Autoren: Tom Zimmermann, VPL etc.

Jahr: 1983 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 3

MIT Institution: VPL

Dataglove for conducting wearable

Autoren: Morita, Hashimoto & Ohteru

Jahr: 1991 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2

Institution:

ddrum drumcontroller

Autor: unbekannt

Jahr: 1983 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2

Institution:

<http://www.ddrum.com/ddrum.htm>

DegerPipes windcontroller

Autor: unbekannt

Jahr: 2000 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2

Clavia Institution: DegerPipes

http://www.stoffelshome.de/alt_controller/degerpipes_chanter.html

DIEM free-gesture

Autor: unbekannt

Jahr: 1998 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3

Institution:

http://www.stoffelshome.de/alt_controller/diem_digital_dance_system.html

Digital Baton baton

Autor: Teresa Anne Marrin

Jahr: 1996 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 3

DIEM Institution: MIT

<http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Baton.html>

Dimension Beam (Dbeam) free-gesture

Autor: unbekannt

Jahr: 1999 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2

Institution:

http://www.stoffelshome.de/alt_controller/dbeam.html

DK10 drumcontroller

Autor: unbekannt

Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2

Interactive Light, Santa Monica, Calif. Institution: Kat

<http://www.alternatemode.com/>

Dr. PAD drumcontroller

Autor: unbekannt

Jahr: 1985 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1

Institution:

http://www.sonicstate.com/synth/Boss_DrPad.cfm

Drehbank fader/knob boxen

Autor: unbekannt

Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2

Boss Institution: Doepfer

<http://www.doepfer.de/>

Drumbar	drumcontroller	Drumitar	drumcontroller
Autor: unbekannt		Autor: FutureMan	
Jahr: unbekannt Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: unbekannt Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 1	
Institution:		Starr Labs Institution:	
http://catalog.com/starrlab/percussion.html		http://www.personal.umich.edu/~chorwitz/drumitar.htm	
Drumpad	drumcontroller	eBoard	free-gesture
Autor: Wolfgang Flür		Autor: Bob Gluck	
Jahr: 1972 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: 2000 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Kraftwerk Institution:	
		http://home.nycap.rr.com/gluck/	
eBoard2	free-gesture	eChant	free-gesture
Autor: Bob Gluck		Autor: Bob Gluck	
Jahr: 2001 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 2000 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 1	
Institution:		Institution:	
http://home.nycap.rr.com/gluck/		http://www.albany.edu/~gluckr/projects.html	
eHarvest	free-gesture	Electronic Sackbut	keyboards
Autor: Bob Gluck		Autor: Hugh Le Caine	
Jahr: 2000 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: 1948 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Institution:	
http://www.albany.edu/~gluckr/projects.html		http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/sackbut.html	
Electronic Valve Instrument	windcontroller	Electronic Woodwind Instrument	windcontroller
Autor: Nyle Steiner		Autor: Nyle Steiner	
Jahr: 1975 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: unbekannt Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Institution:	
http://members.aol.com/patchman1/Nyle_Steiner_Homepage.html		http://members.aol.com/patchman1/Nyle_Steiner_Homepage.html	
eShawl	free-gesture	EWI1000 & EVI1000	windcontroller
Autor: Bob Gluck		Autor: unbekannt	
Jahr: 2000 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: 1986 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Institution: AKAI	
http://www.albany.edu/~gluckr/projects.html		http://www.synthony.com/vintage/ewi1000.html	
Excalibur	free-gesture	Expression Mate	fader/knob boxen
Autor: unbekannt		Autor: unbekannt	
Jahr: 1994 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1998 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Institution: Kurzweil	
http://webplaza.pt.lu/public/gklares/Excalibur.html			

FaderMaster Pro	fader/knob boxen	GAMS	free-gesture
Autor: unbekannt		Autoren: Bauer & Foss	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1992 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		JL Cooper Institution:	
http://www.jlcooper.com/pages/fdrmstrpro.html			
Gesture Wall	free-gesture	GloveTalk	wearable
Autoren: Joe Paradiso, Kaiyuh Hsiao, Chris Dodge, Sharon		Autoren: Fels & Hinton	
Jahr: 1996 Immersion:3 Feedback: 3 Express.: 2		Jahr: 1993 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 1	
Institution:		MIT Institution:	
http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/GW.html			
Handmotions control speech synthesizer	wearable	Hands	wearable
Autoren: Pausch & Williams		Autor: Michael Waisvisz	
Jahr: 1992 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: 1984 Immersion:3 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Institution: STEIM	
		http://www.xs4all.nl/~mwais/	
Hands II	free-gesture	Hypercello	stringcontroller
Autoren: Michel Waisvisz & Bert Bongers		Autor: Neil Gershenfeld	
Jahr: 1989 Immersion:3 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1991 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		STEIM Institution: MIT	
http://www.xs4all.nl/~mwais/The%20Hands%202.htm		http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Cello.html	
I-Cube	free-gesture	Imaginary Piano	free-gesture
Autor: Axel Mulder		Autor: Leonello Tarabella	
Jahr: 1995 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: unbekannt Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 1	
Institution:		Infusion Systems Institution: University of Pisa	
http://www.infusionsystems.com/		http://www.cnuce.pi.cnr.it/tarabella/cART.html	
Infrared Baton	baton	Joy-Stick Cello	fader/knob boxen
Autor: Hideyuki Morita		Autor: Lindsay Vickery	
Jahr: 1991 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: 1998 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Waseda University, Tokyo Institution:	
		http://waapa.cowan.edu.au/staff/lvickery/jsc.html	
Käfig	free-gesture	Knobby	fader/knob boxen
Autor: Wolfgang Flür		Autor: unbekannt	
Jahr: 1976 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1	
Institution:		Kraftwerk Institution: Encore Electronics	
		http://www.encoreelectronics.com/cont_knob1.html	

Lady's Glove

wearable

Autor: Laetitia Sonami

Jahr: 1991 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 3

Institution:

<http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Sonami.html>**Laser Wall**

free-gesture

Autoren: Joe Paradiso & Josh Strickon

Jahr: 1998 Immersion:3 Feedback: 3 Express.: 1

Institution:

<http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Laser.html>**Launchpad**

fader/knob boxen

Autor: unbekannt

Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1

Institution:

Laser Harp

free-gesture

Autor: unbekannt

Jahr: 1981 Immersion:3 Feedback: 3 Express.: 1

Institution:

http://www.stoffelshome.de/alt_controller/laser_harp.html**LaserWeb**

free-gesture

Autor: unbekannt

Jahr: 2000 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 1

MIT Institution: Trioka Ranch

<http://www.troikaranch.org/laserweb.html>**Laurie Anderson's drum suits**

wearable

Autor: Laurie Anderson

Jahr: unbekannt Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 1

E-Mu Institution:

Lifefoot

free-gesture

Autoren: Niall Griffith & Mikael Fernström

Jahr: 1998 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 2

Institution:

<http://www.ul.ie/~pal/lifefoot/Resources.htm>**Light Baton**

baton

Autoren: Graziano Bertini & Paolo Carosi

Jahr: 1992 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2

Performing Arts Lab Institution: University of Pisa

Light to Midi Controller

free-gesture

Autor: unbekannt

Jahr: unbekannt Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2

Institution:

<http://www.optimusic.com/>**Lightning II**

baton

Autor: Don Buchla

Jahr: 1996 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2

Optimusic Institution:

<http://www.buchla.com/lightning/descript.html>**Lightning System**

baton

Autor: Don Buchla

Jahr: 1991 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 3

Institution:

Lyricon Wind Synthesizer Driver

windcontroller

Autor: unbekannt

Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2

Institution: Computone

Macro Control Box MCB

fader/knob boxen

Autor: unbekannt

Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1

Institution:

http://www.stoffelshome.de/k5000_mcb.html**Magic Carpet**

free-gesture

Autoren: Joseph Paradiso, Craig Abler, Kaiyuh Hsiao, Matthew

Jahr: 1997 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3

Kawai Institution: MIT

<http://www1.acm.org:82/sigchi/chi97/proceedings/short-demo/jp.htm>

Matrix	free-gesture	Melodium	
Autor: Dan Overholt		Autor: Harold Bode	
Jahr: 2000 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 4		Jahr: 1938 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1	
Institution:		MIT Institution:	
http://www.media.mit.edu/~dano/matrix/			
Miburi	wearable	MicroZone	keyboards
Autor: Yamaha		Autor: unbekannt	
Jahr: 1996 Immersion:5 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Yamaha Institution: Starr Labs	
http://www.yamaha.co.jp/news/96041001.html			
MIDI Baton	baton	Midi Conductor	free-gesture
Autoren: David Keane & Gross		Autor: Michel Waisvisz	
Jahr: 1989 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: 1989 Immersion:3 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Queens University, Kingston, Ontario, Canada Institution: STEIM	
MIDI IR-Controller	free-gesture	MidiDancer	wearable
Autor: Stefan Harasim		Autor: Mark Coniglio	
Jahr: unbekannt Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2		Jahr: 1992 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Institution: Troika Ranch, N.Y.	
http://www.stoffelshome.de/m_ir_dyn.html		http://www.troikaranch.org/index.html	
Midivox	special	MIDY 20	keyboards
Autor: unbekannt		Autor: unbekannt	
Jahr: 1992 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 2		Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Institution: Cavagnolo	
http://www.healingmusic.net/MidiVoxFrame1Source1.htm		http://www.stoffelshome.de/alt_controller/cavagnolo_midy_20.html	
MiniMoog	keyboards	Mixturtrautonium	keyboards
Autor: Robert Moog		Autor: Oskar Sala	
Jahr: 1970 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: 1952 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Moog Institution:	
Monolith	keyboards	Mouthesizer	special
Autor: Jacob Düringer		Autoren: Michael J. Lyons & Nobuji Tetsutani	
Jahr: 1982 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 2001 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Heavenbound Institution:	
http://www.electronic-mall.com/heavenbound/index.html#the_monolith		http://www.mic.atr.co.jp/~mlyons/mouthesizer.html	

MT-48DD	drumcontroller	MTC Express Multi-touch Controller	free-gesture
Autor: unbekannt		Autor: Tactex	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 2001 Immersion:2 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Starr Labs Institution: Tactex	
http://catalog.com/starrlab/15.html		http://www.tactex.com	
Multiply-Touch-Sensitive keyboard	keyboards	Music Easel	keyboards
Autoren: Bob Moog & Thomas Rhea		Autor: Don Buchla	
Jahr: 1987 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1973 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Institution: Don Buchla	
		http://www.buchla.com/historical/music_easel/music_easel.html	
Musical Jacket	wearable	Musical Telegraph	keyboards
Autoren: Maggie Orth & Rehmi Post		Autor: Elisha Gray	
Jahr: 1997 Immersion:4 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: 1876 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1	
Institution:		MIT Institution:	
http://www.media.mit.edu/hyperins/levis/		http://www.ief.u-psud.fr/~thierry/history/gray/gray1.html	
Notebender	keyboards	Notepad	drumcontroller
Autor: John Allen		Autor: unbekannt	
Jahr: 1983 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1997 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Key Concepts Inc Institution: Wernick Musical	
		http://www.wernick.net/notepad/notepad.html	
Nukelele	stringcontroller	Ondes Martenot	keyboards
Autoren: Bob Adams & Perry Cook		Autor: Maurice Martenot	
Jahr: 1999 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1928 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1	
Institution:		Institution:	
http://www.cs.princeton.edu/~prc/CHI01Web/chi01.htm			
Optivideotone	free-gesture	p5	wearable
Autor: Scott F. Hall		Autor: unbekannt	
Jahr: 1997 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: 2001 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		Cogswell Polytechnic College Institution: Essential Reality	
http://www.angelfire.com/ny/icepalace790/opto.html		http://www.essentialreality.com/products.html	
PAGe	free-gesture	PC1600	fader/knob boxen
Autoren: L.Tarabella & Dr. Davide Filidei		Autor: unbekannt	
Jahr: unbekannt Immersion:5 Feedback: 3 Express.: 2		Jahr: 1993 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		University of Pisa Institution: Peavey	
http://spcons.cnuce.cnr.it/music/Gesture.html		http://www.peavey.com/midi/pc1600x.html	

Phat Boy	fader/knob boxen	Piggy-in-the-middle	free-gesture
Autor: unbekannt		Autor: Lindsay Vickery	
Jahr: 1999 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: unbekannt Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		KeyFax Institution:	
http://www.keyfax.com/keyfax/phatboy/phatboy1.html		http://waapa.cowan.edu.au/staff/lvickery/pitm.html	
Pocket Control	fader/knob boxen	Powerglove	wearable
Autor: unbekannt		Autor: Scott Gresham-Lancaster etc.	
Jahr: 2000 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: 1990 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Doepfer Institution: CNMAT, Berkley	
http://www.doepfer.de/			
Printed Circuit Keyboard	keyboards	Radio Baton (or Radio Drum)	baton
Autor: Hugh Le Caine		Autoren: Max Matthews & Bob Boie	
Jahr: 1962 Immersion:2 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: 1986 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Institution:	
http://www.hughlecaine.com		http://www.ccrma.stanford.edu/CCRMA/Courses/252/sensors/node27.html	
Rebirth	software	Regelwerk	fader/knob boxen
Autor: unbekannt		Autor: unbekannt	
Jahr: 1997 Immersion:2 Feedback: 3 Express.: 1		Jahr: 1998 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Propellerheads Institution: Doepfer	
		http://www.doepfer.de/	
RHYTHM STICK	drumcontroller	Rhythm Tree	drumcontroller
Autor: unbekannt		Autor: Tod Machover	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1996 Immersion:2 Feedback: 4 Express.: 2	
Institution:		Dynacord Institution: MIT	
http://www.synthony.com/vintage/rhythmstick.html		http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Tree.html	
Sal Mar Construction	keyboards	Scalatron	keyboards
Autor: Sal Matirano		Autor: George Secor	
Jahr: 1969 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1974 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		University of Illinois Institution: Motorola	
http://cmp-rs.music.uiuc.edu/~martiran/HTdocs/salmar.html			
Sensor Chair	free-gesture	Sensor Floor	free-gesture
Autor: unbekannt		Autor: unbekannt	
Jahr: 1994 Immersion:3 Feedback: 3 Express.: 2		Jahr: 1996 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		MIT Institution: MIT	
http://parallel.park.org/Events/BrainOpera/Archive/Hyperinstruments/chair.html		http://www.media.mit.edu/~joep/TTT.BO/addendia.html	

Sensor Frames	free-gesture	Sensorboard GLA	free-gesture
Autor: unbekannt		Autor: Stefan Harasim	
Jahr: unbekannt Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2		Jahr: 1999 Immersion:3 Feedback: 3 Express.: 2	
Institution:		MIT Institution: Stoffel	
http://parallel.park.org/Events/BrainOpera/Archive/Hyperinstruments/frames.html		http://www.stoffelshome.de/alt_controller/sensorboard.html	
SensOrg	free-gesture	Sentograf	free-gesture
Autoren: Tamas Ungvary & Roel Vertegaal		Autoren: Tamas Ungvary & Roel Vertegaal	
Jahr: 1998 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1990 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Institution:	
		http://www.speech.kth.se/~peter_l/kacor/Sentograph-de.html	
Series 200	keyboards	SHO	windcontroller
Autor: Don Buchla		Autoren: Yoichi Nagashima & Tamami Tono Ito	
Jahr: 1970 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1999 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Don Buchla Institution: Keio University SFC	
http://www.buchla.com/historical/b200/index.html			
Simmons SDS drumpads	drumcontroller	Small Web	free-gesture
Autor: Dave Simmons		Autor: Michel Waisvisz	
Jahr: 1980 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1996 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Institution: STEIM	
		http://www.xs4all.nl/~mwais/Waisvisz%20Small%20Web%20(Belly%20Web).htm	
Snorkel	windcontroller	Sound=Space	free-gesture
Autor: Lindsay Vickery		Autor: Rolf Gelhaar	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1991 Immersion:4 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		Institution:	
http://waapa.cowan.edu.au/staff/lvickery/snorkel.html			
Soundbeam	free-gesture	Soundbeam 2	free-gesture
Autor: unbekannt		Autor: unbekannt	
Jahr: 1988 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2		Jahr: 2000 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		EMS Rehberg Institution: the soundbeam project	
http://www.stoffelshome.de/alt_controller/ems_soundbeam.html		http://www.soundbeam.co.uk/	
Soundnet	free-gesture	SqueezeVox	keyboards
Autoren: Zbigniew Karkowski, Edwin van der Heide, Atau		Autoren: Perry Cook & Colby Leider	
Jahr: 1996 Immersion:4 Feedback: 2 Express.: 4		Jahr: 2000 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Sensorband Institution: Princeton University	
http://www.sensorband.com/soundnet/index.html		http://www.cs.princeton.edu/~prc/CHI01Web/chi01.htm	

Steiner Horn & EVI	windcontroller	Stratifier	fader/knob boxen
Autor: Nyle Steiner		Autor: Arie van Schutterhoef	
Jahr: 1975 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1997 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Institution:	
http://members.aol.com/Patchman1/Nyle_Steiner_Homepage.html		http://www.xs4all.nl/~schreck/eng/html/strat.html	
Stretchables	software	Surface One	fader/knob boxen
Autor: Pete Rice		Autor: unbekannt	
Jahr: unbekannt Immersion: 4 Feedback: 3 Express.: 2		Jahr: 2002 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		MIT Institution: Midiman	
http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/captions/Stretchables.html		http://www.midiman.com/midiman.htm	
Sweatstick	free-gesture	Synth-A-Beam	free-gesture
Autor: Ray Edgar		Autor: unbekannt	
Jahr: unbekannt Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: unbekannt Immersion: 3 Feedback: 1 Express.: 1	
Institution:		STEIM Institution: American DJ Audio, L.A.	
Synthophone	windcontroller	Telharmonium	keyboards
Autor: Martin Hurni		Autor: Thaddeus Cahill	
Jahr: 1981 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1906 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 1	
Institution:		Softwind Instruments Institution:	
http://synthophone.home.att.net/			
Theremin	free-gesture	Thunder	drumcontroller
Autor: Lev Sergeivitch Termen		Autor: Don Buchla	
Jahr: 1921 Immersion: 3 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: 1990 Immersion: 3 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Institution:	
http://psychevanhetfolk.homestead.com/THEREMIN_linkspage.html			
Touchback Keyboard	keyboards	Touch-plate	free-gesture
Autor: Brent Gillespie		Autor: Robert Moog	
Jahr: 1999 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: 1983 Immersion: 2 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		CCRMA Institution: Big Briar	
http://www.personal.engin.umich.edu/~brentg/			
Trautonium	keyboards	Trombone Propelled Electronics	windcontroller
Autor: Friedrich Trautwein		Autor: Nicolas Collins	
Jahr: 1928 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1986 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Institution:	
		http://members.nbci.com/_XMCM/nicollins/Instruments.html	

Twin-Towers	free-gesture	UV Stick	free-gesture
Autoren: Leonello Tarabella & Graziano Bertini		Autor: unbekannt	
Jahr: 1997 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 1		Jahr: unbekannt Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		University of Pisa Institution: MIT	
http://www.cnuce.pi.cnr.it/tarabella/cART.html		http://www.media.mit.edu/	
V I VIRTUAL INSTRUMENT	free-gesture	Very Nervous System	free-gesture
Autor: M. Behrens		Autor: David Rokeby	
Jahr: 1996 Immersion:4 Feedback: 3 Express.: 2		Jahr: 1986 Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3	
Institution:		Institution:	
http://aka.ip-technik.net/m_behrens/vinst2.htm		http://www.wired.com/wired/archive/3.03/rokeby_pr.html	
Video image processor	free-gesture	Videoharp	free-gesture
Autor: Fred Kolman		Autoren: Dean Rubine & Paul McAviney	
Jahr: unbekannt Immersion:5 Feedback: 1 Express.: 3		Jahr: 1990 Immersion:3 Feedback: 1 Express.: 2	
Institution:		Institution: Carnegie-Mellon	
		http://www.stoffelshome.de/alt_controller/sensor_frame_videoharp.html	
Violin	stringcontroller	VMI	free-gesture
Autor: Peter Beyls		Autor: Axel G.E. Mulder	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3		Jahr: 1998 Immersion:4 Feedback: 3 Express.: 2	
Institution:		St. Lukas Art Institute, Brüssel Institution:	
Voder	free-gesture	Wacom-Tablet	free-gesture
Autor: Homer Dudley		Autoren: Matthew Wright, David Wessel, Adrian Freed	
Jahr: 1939 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 1		Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Institution: CNMAT	
http://www.haskins.yale.edu/haskins/HEADS/SIMULACRA/voder.html		http://cnmat.CNMAT.Berkeley.edu/ICMC97/papershtml/Tablet.html	
Wilson MicroZone	keyboards	WX-7 & WX-11 & WX-5	windcontroller
Autor: unbekannt		Autor: Yamaha	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 3	
Institution:		Starr Labs Institution: Yamaha	
http://catalog.com/starrlab/keyboards.html		http://www.yamaha.com/cgiwin/webcgi.exe/Specs/?gMCD00005WX5	
Zboard	keyboards	Zendrum	drumcontroller
Autor: unbekannt		Autor: unbekannt	
Jahr: unbekannt Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2		Jahr: 1991 Immersion:2 Feedback: 2 Express.: 2	
Institution:		Starr Labs Institution: Zendrum	
http://catalog.com/starrlab/keyboards2.html		http://www.zendrum.com/	

Ztar

guitarcontroller

Autor: Starr Labs

Jahr: 1994 Immersion: 2 Feedback: 2 Express.: 2

Institution: Starr Labs

Literaturverzeichnis

- [BaGr95] Ronald M. Baecker, Jonathan Grudin, William Buxton & Saul Greenberg: Readings in Human-Computer Interaction: Toward the Year 2000, Second Edition, In: Morgan Kaufmann Publishers, 1995
<http://www.billbuxton.com/MKhaptic.html>
letzter Zugriff: 09.10.2001
- [Bara97] Dimitri Baranoff Rossine: Wladimir Baranoff Rossine Homepage, 1997
<http://perso.club-internet.fr/dbr/>
letzter Zugriff: 01.08.2001
- [BePi00] Matthias Becker, Albrecht Pilz: Musik der Zukunft, In: keyboards 01/2000, 2000
- [BioC01] BioControl: BIOMUSE - Neural Interface Development Platform
<http://www.biocontrol.com/biomuse.htm>
letzter Zugriff: 19.09.2001
- [Bouz01] Bouzit: L.R.P. Force Feedback Data Glove
<http://vizlab.rutgers.edu/~bouzit/lrp/glove.html>
letzter Zugriff: 25.08.2001
- [Brit01] Encyclopædia Britannica
<http://www.britannica.com/eb/article?eu=108408&tocid=0&query=instrument>
letzter Zugriff: 24.07.2001
- [Brit01a] Encyclopædia Britannica - Player Piano
<http://www.britannica.com/eb/article?eu=61910&tocid=0&query=player%20piano>
letzter Zugriff: 23.09.2001
- [Broc01] Der Brockhaus in einem Band, 9. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage, In: © F.A. Brockhaus GmbH, Leipzig - Mannheim, 2001
- [Buch01] Buchla.com: Buchla Electronic Musical Instruments - Historical Overview
<http://www.buchla.com/historical>
letzter Zugriff: 05.08.2001
- [Bund98] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Artikel: Übersprechen, 1998
<http://www.hu-berlin.de/bsi/gshb98/g/g45.htm>
letzter Zugriff: 08.08.2001
- [Cdpc01] cdp.co.uk: History of Paper Making
<http://www.cdp.co.uk/history5.htm>
letzter Zugriff: 11.08.2001
- [Chow72] John Chowning: The synthesis of complex tones by means of frequency modulation., In: Journal of the Audio Engineering Society 21(7):526-34. Reprinted in C. Roads and J. Strawn, eds. 1985. Foundations of computer music. Cambridge: MIT Press., 1972

- [Clav01] Clavia: The Clavia History
<http://www.clavia.se/clavia/history.htm>
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [Clav01a] Clavia: Nord Lead 3 - Advanced Subtractive Performance Synthesizer
<http://www.clavia.se/NL3specs.htm>
 letzter Zugriff: 16.09.2001
- [Cole98] Ron Cole: A Short History of the EVI, 1998
<http://www.extensionsjazz.com/roncole/evihistweb.htm>
 letzter Zugriff: 08.08.2001
- [Coop95] Douglas Cooper: Very Nervous System, In: Wired März 1995, 1995
<http://www.wired.com/wired/archive/3.03/rokeby.html>
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [Diam01] Diamond Bullet Design: Usability First, 2001
<http://www.usabilityfirst.com/>
 letzter Zugriff: 07.10.2001
- [DIGI95] DIGITAL DESIGN & DEVELOPMENT: SPECIFICHE XMIDI (EXTENDED MIDI), 1995
<http://www.scienze.unitn.it/~oss/xmidi.html>
 letzter Zugriff: 25.07.2001
- [Dupr01] Martin Dupras: The Csound Page
<http://music.dartmouth.edu/~dupras/wCsound/csoundpage.html>
 letzter Zugriff: 05.08.2001
- [Elec00] Electronic Music Foundation: CDeMUSIC - Laetitia Sonami, 2000
<http://www.cdemusic.org/artists/sonami.html>
 letzter Zugriff: 26.08.2001
- [Elec01] electronicmusic.com: All About Granular Synthesis, 2001
<http://www.electronicmusic.com/features/siu/studiohelp/about/granularsynthesis.html>
 letzter Zugriff: 25.09.2001
- [Enca01] Encarta: Encarta
<http://encarta.msn.com/index/conciseindex/6E/06E5E000.htm?z=1&pg=2&br=1>
 letzter Zugriff: 02.08.2001
- [FDLa01] FDL: Daniel Langlois Foundation - W. Andrew Schloss, 2001
http://www.fondation-langlois.org/e/projets/682-5-2001/682-5-2001_artiste.html
 letzter Zugriff: 13.08.2001
- [FeHi95] Sidney Fels & Geoffrey Hinton: Glove-TalkII: An Adaptive Gesture-to-Formant Interface, 1995
http://www.acm.org/sigchi/chi95/Electronic/documnts/papers/ssf_bdy.htm
 letzter Zugriff: 26.08.2001
- [Flan65] James L. Flanagan: Speech Analysis, Synthesis and Perception, In: Springer Verlag, 1965
- [Fore15] Lee De Forest: Father Of Radio (Autobiography), 1915

- [Free97] Adrian Freed: ZIPI Home Page, 1997
<http://cnmat.cnmat.berkeley.edu/ZIPI/>
 letzter Zugriff: 25.07.2001
- [Fried01] Matt Friedman: Vintage Synth Explorer, 2001
<http://www.vintagesynth.org/>
 letzter Zugriff: 24.09.2001
- [Gard98] Dana L. Gardner: The Power Glove, In: Design News 12-4-89, 1998
<http://www.angelfire.com/ok2/stepinto/PowerGlovePage.html>
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [Ghaz00] Reed Ghazala: Circuit Bending, 2000
<http://www.anti-theory.com/soundart/>
 letzter Zugriff: 08.08.2001
- [Half00] h a l f b a k e r y: Electronic Air Guitar Simulation Gloves, 2000
http://www.halfbakery.com/idea/Electronic_20Air_20Guitar_20Simulation_20Gloves
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [Hara01] Stefan Harasim: Links zu Hyper-Instrumenten, In: www.stoffelshome.de
http://www.stoffelshome.de/alt_controller/alt_midi_controller.html
 letzter Zugriff: 23.07.2001
- [Harr01] Arthur Harrison: Art's Theremin Page, 2001
<http://home.att.net/~theremin1/>
 letzter Zugriff: 01.08.2001
- [Hind01] Nicky Hind: Physical Modelling Synthesis
<http://www.folkwang.uni-essen.de/~ludi/Public/kurs/clm-tutorials/pm.html>
 letzter Zugriff: 09.10.2001
- [Hist01] History of Electronic Music, Automatic Instruments and Composition Machines
<http://www.elektronik.co.uk/hist-elek.htm>
 letzter Zugriff: 06.08.2001
- [Hist01a] History of Computer Graphics: History of Computer Graphics
<http://www.geocities.com/CollegePark/5323/1980.htm>
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [Hoen98] Uwe G. Hoenig: FM-Synthesizer Geschichte, In: KEYS 2/98, 1998
- [Hugh01] HughLeCaine.com: HughLeCaine.com
<http://www.hughlecaine.com/>
 letzter Zugriff: 02.08.2001
- [HuWa00] Hunt, A., M. Wanderley & R. Kirk: Towards a Model for Instrumental Mapping in Expert Musical Interaction, In: Proceedings of the 2000 International Computer Music Conference. San Francisco, International Computer Music Association, pp. 209 - 212, 2000
http://www.ircam.fr/equipes/analyse-synthese/wanderle/Gestes/Externe/Hunt_Towards.pdf
 letzter Zugriff: 25.08.2001

- [Imm01] Immersion.com: CyberGrasp
<http://www.immersion.com/products/3d/interaction/cybergrasp.shtml>
 letzter Zugriff: 25.08.2001
- [Infu01] Infusionsystems: Homepage Infusionsystems
<http://www.infusionsystems.com/>
 letzter Zugriff: 20.09.2001
- [IRCA01] IRCAM gesture group: Gestures - Theory
<http://www.ircam.fr/equipes/analyse-synthese/wanderle/Gestes/Externe/Gestures.html>
 letzter Zugriff: 23.07.2001
- [IRCA01a] IRCAM gesture group: Discussion Group on Gesture Research in Music
<http://www.ircam.fr/equipes/analyse-synthese/wanderle/Gestes/Externe/index.html>
 letzter Zugriff: 23.07.2001
- [Jone01] Randall Jones: MTC Express Multi-touch Controller, In: Computer Music Journal, Vol. 25, Number 1, Spring 2001, 2001
- [Kemp91] Wolfgang von Kempelen: Mechanismus der menschlichen Sprache nebst Beschreibung einer sprechenden Maschine, In: Faks.-Neudr. d. Ausg. Wien 1791 . - Stuttgart-Bad Cannstatt : Frommann-Holzboog, 1970, 1791
- [Kent51] Dr Earle L. Kent: An Electronic Music Box, 1951
http://www.obsolete.com/120_years/machines/music_box/paper.html
 letzter Zugriff: 03.08.2001
- [Lani01] Jaron Lanier: Virtual Reality and music
<http://www.well.com/user/jaron/vr.html>
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [LaSm01] Corde Lane and Jerry Smith: Force and Tactile Feedback
<http://www.hitl.washington.edu/sciww/EVE/I.C.ForceTactile.html>
 letzter Zugriff: 25.08.2001
- [Laur90] Brenda Laurel (ed.): The Art Of Human-Computer Interface Design, In: Addison-Wesley Publishing Company, 1990
- [Lexi96] LexiROM: LexiROM, In: Microsoft Corporation und Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 1996
- [Lind96] Stefan Lindlahr: Additive Synthese, In: KEYS 12/96, 1996
- [Marr00] Teresa Marrin: Inside the Conductor's Jacket: Analysis, Interpretation and Musical Synthesis of Expressive Gesture, 2000
<http://www.media.mit.edu/~marrin/HTMLThesis/Dissertation.htm>
 letzter Zugriff: 14.08.2001
- [Marr96] Teresa Anne Marrin: Toward an Understanding of Musical Gesture: Mapping Expressive Intention with the Digital Baton, In: Massachusetts Institute of Technology, 1996
<http://www.media.mit.edu/~marrin/Thesis.htm>
 letzter Zugriff: 08.10.2001

- [Mart01] Chris Martin: Streetly Electronics: the original Mellotron makers
<http://www.vemia.co.uk/mellotron/>
 letzter Zugriff: 05.08.2001
- [MaSc89] Max Mathews & Andrew Schloss: The radiodrum as a synthesis controller, In: Proceedings International Computer Music Conference, Columbus, Ohio, USA. San Francisco CA, USA: International Computer Music Association., 1989
- [Menz99] Dylan Menzies: New Electronic Performance Instruments For Electroacoustic Music, 1999
<http://sites.netscape.net/dylanmenzies/work/index.html>
 letzter Zugriff: 24.09.2001
- [Meye90] Meyer: Meyers Großes Taschenlexikon, In: B.I.-Taschenbuchverlag Mannheim/Wien/Zürich, 1990
- [Midi01] Midiman: Midiman Homepage
<http://www.midiman.com/midiman.htm>
 letzter Zugriff: 16.09.2001
- [MITM01] MIT Media Lab: Brain Opera
<http://brainop.media.mit.edu>
 letzter Zugriff: 19.09.2001
- [MITM01a] MIT Media Lab: Sensor Chair
<http://www.media.mit.edu/%7EJoep/TTT.BO/chair.html>
 letzter Zugriff: 19.09.2001
- [MITM01b] MIT Media Lab: Hyperinstruments
<http://www.media.mit.edu/hyperins/>
 letzter Zugriff: 19.09.2001
- [Moog00] MoogArchives.com: moog Archives, 2000
<http://www.moogarchives.com/>
 letzter Zugriff: 05.08.2001
- [Muld00] Axel G.E. Mulder: Towards a choice of gestural constraints for instrumental performers, In: Gestural Control of Music, Marcelo Wanderley and Marc Battier (eds.), Paris, France: IRCAM., 2000
- [Muld94] Axel G.E. Mulder: Virtual Musical Instruments: Accessing the Sound Universe as A Performer, 1994
- [Muld98] Axel Mulder: Design of Virtual Three-dimensional Instruments for Sound Control, In: PhD Thesis, Simon Fraser University, 1998
- [Müll95] Sylvia M. Müller: Fallbeispiele und Konzepte interaktiver Kunst, 1995
- [Musi98] Musi98: Musik - Glossar, 1998
<http://www.recorder.de/frde/glossar/main.htm>
 letzter Zugriff: 24.09.2001
- [Norm88] Donald A. Norman: The Design Of Everyday Things, First Doubleday/Currency, 1988
- [Obso01] obsolete.com: 120 Years of Electronic Music, In: www.obsolete.com
http://www.obsolete.com/120_years/
 letzter Zugriff: 25.07.2001

- [OmCh00] M. Sile O'Modhrain & Chris Chafe: Incorporating Haptic Feedback into Interfaces for Music Applications, 2000
<http://www.ccrma.stanford.edu/~sile/abstracts/isora2000.html>
 letzter Zugriff: 25.08.2001
- [Over00] Daniel James Overholt: The Emonator: A Novel Musical Interface, 2000
<http://www.media.mit.edu/~dano/matrix/>
 letzter Zugriff: 26.08.2001
- [PaAb97] Joseph Paradiso, Craig Abler, Kai-yuh Hsiao, Matthew Reynolds: The Magic Carpet: Physical Sensing for Immersive Environments, In: CHI 97 Electronic Publications: Late-Breaking/Short Demonstrations, 1997
<http://www.acm.org/sigchi/chi97/proceedings/short-demo/jp.htm>
 letzter Zugriff: 19.09.2001
- [PaGe96] Joseph A. Paradiso & Neil Gershenfeld: Musical Applications of Electric Field Sensing, In: Computer Music Journal, 1996
<http://www.media.mit.edu/physics/publications/papers/96.04.cmj.pdf>
 letzter Zugriff: 19.09.2001
- [PaHu97] Joseph A. Paradiso & Eric Hu: Expressive Footwear for Computer-Augmented Dance Performance, 1997
http://gn.www.media.mit.edu/resenv/pubs/papers/97_10_Wearcon_Shoe.pdf
 letzter Zugriff: 20.09.2001
- [Para97] Joseph A. Paradiso: Electronic music: new ways to play, In: IEEE Spectrum Select, 1997
www.institute.ieee.org/select/1297/muse.html
 letzter Zugriff: 24.09.2001
- [Para98] Joseph A. Paradiso: Electronic Music Interfaces, 1998
<http://www.media.mit.edu/~joep/SpectrumWeb/SpectrumX.html>
 letzter Zugriff: 24.09.2001
- [Pilt98] Albrecht Piltz: Kraftwerk Connection, In: keyboards 071998, 1998
- [Rasc00] Peter J. Raschke: General MIDI Standard, 2000
<http://www.northwestern.edu/musicschool/links/projects/midi/pages/genmidi.html>
 letzter Zugriff: 24.09.2001
- [Rash98] Patrick Rashleigh: The Double Revolution of the Theremin, 1998
<http://www.yorku.ca/beckwith/Rashleigh.html>
 letzter Zugriff: 01.08.2001
- [Roke91] David Rokeby: Very Nervous System, 1991
<http://www.aec.at/prix/1991/E91azl-nervous.html>
 letzter Zugriff: 11.08.2001
- [RuRi94] Jack Russo & Michael Risch: Scope of Protection for Virtual Works, 1994
<http://www.computerlaw.com/vrlaw.htm>
 letzter Zugriff: 11.08.2001

- [Sadi84] edited by Stanley Sadie: The New Grove Dictionary of Musical Instruments, In: Macmillian Press Limited, London, 1984
- [Sche00] Wolfgang Schemmert: Workshop - Sensoren und Steuerungstechnik im Medienbereich, 2000
<http://www.cinetix.de/workshop/>
 letzter Zugriff: 18.09.2001
- [Schi01] Elisabeth Schimana: The Theremin Orchestra
http://elise.at/The_Theremin_Orchestra/f/
 letzter Zugriff: 01.08.2001
- [Schl00] Andrew Schloss: Gesture-Sensing for Musical Performance: A Percussive Interface
<http://www.ece.uvic.ca/%7Epeter/radiodrum.html>
 letzter Zugriff: 14.08.2001
- [Schu01] Margo Schuler: Tuning FAQ (What is microtonality?)
http://members.nbci.com/_XMCM/tune_smithy/tree/tree/tuning_faq_draft.txt
 letzter Zugriff: 01.08.2001
- [Sona00] Laetitia Sonami: Homepage Laetitia Sonami, 2000
<http://www.sonami.net/>
 letzter Zugriff: 18.09.2001
- [Stan01] Standards Committee T1 Telecommunications: Telecom Glossary 2000
<http://www.its.bldrdoc.gov/projects/t1glossary2000/>
 letzter Zugriff: 01.08.2001
- [SWRO01] SWR-Online: Vom Innen und Aussen der Klänge PERCY GRAINGER
<http://www.swr-online.de/swr2/hoergeschichte/komponisten/granger.html>
 letzter Zugriff: 03.08.2001
- [Synth00] Synthemuseum.com: Synthemuseum.com, 2000
<http://www.synthemuseum.com/>
 letzter Zugriff: 07.08.2001
- [Till00] J. Donald Tillman: Moog Resources, 2000
<http://www.till.com/articles/moog/index.html>
 letzter Zugriff: 05.08.2001
- [Troi01] Troika Ranch: MidiDancer
<http://www.troikaranch.org/mididancer.html>
 letzter Zugriff: 20.09.2001
- [Vail00] Mark Vail: Vintage Synthesizers: Pioneering Designers, Groundbreaking Instruments, Collecting Tips, Mutants of Technology, In: Backbeat Books; ISBN: 0879306033, 2000
- [Wais01] Michel Waisvisz: Michel Waisvisz - text and image archive
<http://www.xs4all.nl/~mwais/>
 letzter Zugriff: 08.08.2001

- [Wate00] Michael Waters: Player Piano, Mechanical Music, Automatic Musical Instruments, 2000
<http://www.waterex.com.au/player/>
 letzter Zugriff: 23.09.2001
- [What00] whatis?com - MIDI, 2000
http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci212572,00.html
 letzter Zugriff: 24.07.2001
- [Winn96] Jeff Winner: Official Raymond Scott Site, 1996
<http://raymondscott.com/>
 letzter Zugriff: 03.08.2001
- [WiSi98] Witmer BG, Singer MJ: Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire, In: Presence:Teleoperators and Virtual Environments, 1998
- [WrWe97] Matthew Wright, David Wessel, Adrian Freed: New Musical Control Structures from Standard Gestural Controllers, In: Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC'97),, 1997
<http://cnmat.cnmat.berkeley.edu/ICMC97/papers-html/Tablet.html>
 letzter Zugriff: 23.07.2001
- [Yama00] Yamaha: mLAN Homepage, In: Yamaha, 2000
<http://www.yamaha.co.jp/english/mLAN/>
 letzter Zugriff: 25.07.2001
- [Yama97] Yamaha: AN1x Bedienungsanleitung, 1997
- [ZiLa87] Thomas G. Zimmerman & Jaron Lanier: Hand gesture interface device, In: CHI + GI Conference Proceedings, pages 189-192, 1987
- [Zimm96] Thomas Zimmerman: Personal Homepage - Almaden Research Center IBM, 1996
<http://www.almaden.ibm.com/cs/people/zimmerman/tzim.html>
 letzter Zugriff: 11.08.2001