

Bitte deutlich leserlich ausfüllen!

Deckblatt einer wissenschaftlichen Bachelorarbeit

| | |
|-----------------------|-----------------|
| Vor- und Familienname | Matrikelnummer |
| Studienrichtung | Studienkennzahl |

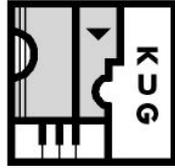
Thema der Arbeit:

.....
.....

Angefertigt in der Lehrveranstaltung:
(Name der Lehrveranstaltung)

Vorgelegt am:
(Datum)

Beurteilt durch:
(LeiterIn der Lehrveranstaltung)



UNIVERSITÄT
FÜR MUSIK UND
DARSTELLEND KUNST
GRAZ - AUSTRIA

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass mir der *Leitfaden für schriftliche Arbeiten an der KUG* bekannt ist und ich diese Richtlinien eingehalten habe.

Graz, den

.....
Unterschrift

Abstract

Akustische Musik und Instrumente werden als komplett „embodied“ und „embodibar“ angesehen, das heißt sie werden sozusagen als Teil des Körpers des Musikers - werden eins mit dem Musiker - bzw. als dessen Erweiterung dessen angesehen. Der Computermusik wird dagegen oft Disembodiment, das Fehlen von Körperlichkeit in welcher Form auch immer, vorgeworfen.

Diese Arbeit versucht zu klären, ob dieser Vorwurf gerechtfertigt und Computermusik weniger embodibar und körperlich als akustische Musik ist. Ist dies der Fall, soll darauf eingegangen werden wie sich dieses Disembodiment äußert. Zunächst wird der geschichtliche Hintergrund von Computermusik beleuchtet, um zu klären, ab welchem Zeitpunkt der Begriff des Disembodiments der Computermusik oder ihren Vorgängern überhaupt angeheftet werden kann.

Danach werden vermeintlich charakteristische Aspekte des Embodiments bei akustischer Musik bzw. des Disembodiments bei elektronischer und Computermusik gesucht und untersucht. Dazu werden digitale Instrumente auf ihre Spielbarkeit, Performbarkeit und Ausdrucksfähigkeit (im Vergleich zu akustischen Instrumenten) überprüft und durch Heranziehen von verschiedenen Interfaces die Frage beantwortet, ob sich die getroffenen Annahmen in Bezug auf Disembodiment verfestigen bzw. widerlegen lassen. Hierbei wird auf verschiedenste Interfaces vom einfachen Keyboard über Bläser-Interfaces bis hin zu Video Tracking eingegangen.

Zuletzt wird schließlich noch ein Vergleich von akustischen und digitalen Instrumenten angestellt, um herauszufinden, was Musiker von aktuellen digitalen Instrumenten halten und welche Anforderungen ein ideales digitales Instrument in der Computermusik erfüllen muss.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. EINLEITUNG | 5 |
| 1.1. DISEMBODIMENT IN DER COMPUTERMUSIK? | 5 |
| 1.2. DEFINITION COMPUTERMUSIK..... | 5 |
| 2. GESCHICHTE DER COMPUTERMUSIK | 5 |
| 2.1. ELEKTRISCHE / ELEKTRONISCHE MUSIK..... | 6 |
| 2.1.1. „Musique concrète“ (Pariser Schule)..... | 7 |
| 2.1.2. „Serielle Musik“ (Kölner Schule)..... | 8 |
| 2.2. ZUSAMMENFASSUNG..... | 9 |
| 3. ANNAHMEN BEZÜGLICH DISEMBODIMENT IN DER COMPUTERMUSIK GEGENÜBER AKUSTISCHEN INSTRUMENTEN | 10 |
| 3.1. STEUERBARKEIT / SPIELBARKEIT | 10 |
| 3.2. PERFORMANCE | 10 |
| 3.3. DER COMPUTER ALS MASCHINE..... | 11 |
| 3.4. RÜCKMELDUNG / FEEDBACK..... | 11 |
| 3.5. TECHNISCHE NACHVOLLZIEHBARKEIT | 11 |
| 3.6. „MIT COMPUTERMUSIK UNZUFRIEDEN“ | 12 |
| 4. INTERFACES ALS LÖSUNG? | 12 |
| 4.1. KLASSISCHE INTERFACES UND CONTROLLER | 13 |
| 4.1.1. <i>Keyboard</i> | 14 |
| 4.1.2. <i>Perkussive Interfaces</i> | 18 |
| 4.1.3. <i>Saiten- / Streichinstrumente als Interface</i> | 19 |
| 4.1.4. <i>Klassische Streicher-Interfaces</i> | 21 |
| 4.1.5. <i>Bläser-Interfaces</i> | 23 |
| 4.1.6. <i>Orchestrale Interfaces</i> | 24 |
| 4.1.7. <i>Taktstock als Interface</i> | 25 |
| 4.2. ALTERNATIVE INTERFACES UND CONTROLLER | 25 |
| 4.2.1. <i>Körper-, Bewegungserfassung und Bio-Feedback</i> | 25 |
| 4.2.2. <i>Anziehbare Interfaces</i> | 28 |
| 4.2.3. <i>Weitere Interfaces</i> | 28 |
| 4.3. AUSBLICK..... | 29 |
| 5. WIDERLEGUNG / BESTÄTIGUNG DER ZUVOR GETROFFENEN ANNAHMEN | 29 |
| 5.1. STEUERBARKEIT / SPIELBARKEIT | 30 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------|-----------|
| 5.2. | PERFORMANCE | 30 |
| 5.3. | DER COMPUTER ALS MASCHINE..... | 30 |
| 5.4. | RÜCKMELDUNG / FEEDBACK..... | 31 |
| 5.5. | TECHNISCHE NACHVOLLZIEHBARKEIT | 32 |
| 5.6. | „MIT COMPUTERMUSIK UNZUFRIEDEN“ | 32 |
| 6. | SCHLUSSFOLGERUNGEN | 32 |
| 7. | LITERATURVERZEICHNIS..... | 37 |
| 8. | ABBILDUNGSVERZEICHNIS..... | 38 |

1. Einleitung

1.1. Disembodiment in der Computermusik?

Der elektronischen Computermusik wird – im Vergleich zur akustischen Musik und zu akustischen Instrumenten – vielfach *Disembodiment*, d.h. das Fehlen von Körperlichkeit, vorgeworfen. Aus diesem Grund wird immer wieder und vermehrt versucht, elektronische Computermusik zu verkörpern, zu „embodien“. Ziel dieser Arbeit ist es, zu klären, ob das der Computermusik vorgeworfene Fehlen von Körperlichkeit überhaupt existiert.

1.2. Definition Computermusik

Um sich mit Disembodiment in der Computermusik beschäftigen zu können, muss zuerst geklärt werden, was man unter dem Begriff Computermusik versteht. Angelehnt an die Internetseite www.erlebe-musik-geschichte.de betrachtet diese Arbeit Computermusik als eine

„zusammenfassende Bezeichnung für Musik, für deren Entstehung die Verwendung eines Computers notwendig oder wesentlich ist. Die Verwendung des Computers kann dabei auf verschiedenen Ebenen des musikalischen Kompositionsprozesses erfolgen: sowohl zur Erzeugung eines elektro-akustischen Klangs (Klangsynthese), als auch zur Errechnung einer Partitur (Partitursynthese). Der Oberbegriff ‚Computermusik‘ meint somit weder eine musikalische Gattung, noch einen spezifischen musikalischen Stil.“¹

2. Geschichte der Computermusik

Die Entstehung der Computermusik ist eng an die Geschichte der *elektrischen* und *elektronischen Musik* gekoppelt. Schon Ende der fünfziger Jahre begann die Verwendung von Computern für musikalische Zwecke. Allerdings war man damals auf wenige Orte beschränkt, an denen große Computer für musikalisch Interessierte öffentlich zugänglich waren (meist an Universitäten).

¹ <<http://www.erlebte-musik-geschichte.de/glossar/glossar-begriffe/c.html>>. 02.10.2009.

Im Allgemeinen wird bis ca. 1940 von *elektrischer Musik* und von elektrischen Musikinstrumenten gesprochen. In den 1950er Jahren kam der Begriff der *elektronischen Musik* auf, welcher eine bestimmte, mit elektronischen Geräten realisierte Kompositionstechnik beschreibt.

Erst nach 1980 bzw. Mitte der 1990er Jahre wurde es durch die Leistungssteigerung des Personal Computers möglich, Klänge in Echtzeit zu berechnen und so wurden die ersten Software-Synthesizer entwickelt. Zu dieser Zeit hatte sich die elektronische Musik in der neuen Musik etabliert und die Computertechnik war bereit in diesem Bereich eingesetzt zu werden. Somit kann der Beginn der Computermusik als direkte Fortführung der elektronischen Musik angesehen werden.

Die zwei wichtigsten Gründe für den Siegeszug der Computertechnik in diesem Bereich stellten die geringen Entwicklungskosten von Software im Vergleich zu spezieller Hardware und die damit einhergehende Verbreitung derselben dar. So waren damals erstmals professionelle Produktionsumgebungen auf praktisch jedem Standard-PC möglich und somit für die breite Masse zugänglich. Als die Computertechnik auch für kleinere Budgets erschwinglich wurde, setzten sich schließlich digitale Klangerzeuger und Spielhilfen durch. Heute wird ein wesentlicher Teil der populären Musik mit Hilfe von Computern produziert.

Der Begriff des Disembodiments kann damit auch den Vorgängern der Computermusik (elektrische / elektronische Musik) angeheftet werden. Somit stellt sich die Frage, ob das Vorurteil des Disembodiments eventuell geschichtlich bedingt ist.

2.1. Elektrische / Elektronische Musik

Um zu klären, seit wann der Begriff des Disembodiments der Computermusik bzw. ihren Vorgängern angeheftet werden kann, werden *Musique concrète* als Vertreter der elektrischen und *Serielle Musik* als Repräsentant der elektronischen Musik betrachtet.

2.1.1. „Musique concrète“ (Pariser Schule)

Der Begriff der *konkreten Musik* geht auf Pierre Schaeffer zurück, der 1949 in Paris diesen Terminus vorschlug, um damit zum einen der Verwendung von so genannten Klangobjekten Rechnung zu tragen und zum anderen eine Abgrenzung zur klassischen Richtung der „Abstrakten Musik“ (Serielle Musik, Zwölftonmusik) zu schaffen.

Bei *Musique concrète* - der konkreten Musik - wurden Alltagsgeräusche und beliebiges Klangmaterial (Klänge aus Natur, Technik und Umwelt) mittels Mikrofone auf Magnetband aufgenommen, welche durch Bearbeitungstechniken wie Bandschnitt, Montage, Geschwindigkeitstransformationen und damit verbundenen Tonhöhenveränderungen elektronisch bearbeitet und verfremdet bzw. transformiert werden konnten. So wurden collagenartig neue Werke komponiert bzw. kombiniert. Auf diese Techniken griffen auch das *Phonogen* mit Klangtransponiermöglichkeit und das *Morphophon*, welches mit einem Bandschleifen-Verzögerungsgerät vergleichbar ist, zurück. Diese Klangtransformationsgeräte können somit als erste elektrische Instrumente gesehen werden.

Im Gegensatz zur klassischen Musik, bei der vom Abstrakten in das Konkrete gegangen wird (Komposition), wird nach Ansicht Schaeffers hier aus Konkretem (Alltagsgeräusche) durch Klangverfremdungen etwas Abstraktes geschaffen. Diese Musikanschauung zog einige Auseinandersetzungen mit Anhängern der Kölner Schule nach sich. Der Komponist Pierre Boulez ging sogar soweit, Schaeffer anstatt als Musiker als einen Handwerker zu bezeichnen. Er warf Schaeffer vor, dass seine Art, Musik zu machen, eher einer Bastelarbeit (Bricolage) gleiche. Schaeffer antwortete daraufhin, dass „die Geschichte der Musik an sich [...] eine Entwicklung durch Bricolage“ (Taylor 2001) sei.

Mit dem Werk „Gesang der Jünglinge“ vermischte Karlheinz Stockhausen, der zuvor bei Schaeffer gearbeitet hatte, 1956 nicht nur Sprache, Gesang und elektronische Klänge, sondern ließ sie ineinander übergehen. Somit wurde es immer schwieriger, diese einzelnen Musikrichtungen voneinander zu unter-

scheiden. Elektronische Musik etablierte sich bald als Oberbegriff und so entstand der sich abgrenzende, aber noch kontroversere Begriff der elektroakustischen Musik.

Die *Musique concrète* befand sich damit in direkter Rivalität zur zeitgleich in Erscheinung tretenden *elektronischen Musik* aus Köln. Eine debakulöse Aufführung der Komposition *Orphée 53* am 10. Oktober 1953 schadete dem internationalen Ansehen der *Musique concrète* über Jahre hinweg. Viele Komponisten, die der Pariser Schule nahestanden, versuchten mehrmals kompositorische Elemente in die *Musique concrète* einzuführen, konnten sich aber nicht gegen Schaeffers Geräuschkonzeption durchsetzen. Erst ab 1956/57 entstanden Werke von Luc Ferrari, Iannis Xenakis, François Bayle und weiteren Künstlern, welche vermehrt kompositorische Prinzipien und teilweise sogar serielle Gesichtspunkte in den Vordergrund stellten. Folgerichtig gab Schaeffer den Begriff *Musique concrète* nun zu Gunsten von *elektroakustischer Musik* auf und benannte auch seine *Groupe de Recherches de Musique concrète* 1958 in *Groupe de Recherches Musicales* um.

2.1.2. „Serielle Musik“ (Kölner Schule)

Die *serielle Musik* wurde zeitgleich zur *Musique concrète* in Köln entwickelt. Der Begriff *serielle Musik* beschreibt dabei eine Weiterentwicklung der Zwölftonmusik, wobei möglichst viele Eigenschaften der Musik (Tonhöhe, -dauer, Lautstärke, Klangfarbe, Intervalle, Rhythmus, Artikulation etc.) beliebig auf Zahlen- und Proportionsreihen aufbauen. Im Unterschied zur *Musique concrète* wurde somit versucht, elektronisch erzeugte Töne nach physikalischen Regeln wie dem Fourier-Theorem wissenschaftlich zu erfassen. Die Einführung des Terminus *elektronische Musik* für die Komposition mit technischen Hilfsmitteln diente vor allem der Abgrenzung gegenüber bisherigen Entwicklungen der elektrischen Klangerzeugung, der *elektrischen Musik*, zu der auch die *Musique concrète* und die *Music for Tape* zählte.

Zu Beginn setzten erste Komponisten wie Eimert oder Beyer auf eine differenzierte Gestaltung von Klangfarben. Erst später verwendeten immer mehr Komponisten wie Karlheinz Stockhausen und Henri Pousseur serielle

Kompositionsmethoden und elektronische Hilfsmittel. Kennzeichnend dafür waren die oft ausschließliche Verwendung von synthetischen Klängen als auch die direkte Verarbeitung und Speicherung auf Magnetband und die Wiedergabe über Lautsprecher. Dadurch konnte auf einen Interpreten verzichtet werden und es war erstmals möglich, die Klangfarbe vollständig zu bestimmen. Zum ersten Mal in der Geschichte der abendländischen Musik schien es den Komponisten mit Werken wie Stockhausens Studie II möglich, ihre Ideen unverfälscht an den Hörer / die Hörerin weiterzugeben. Die jahrhundertalten Versuche, die musikalische Absicht durch Notenschrift immer präziser zu fixieren, waren damit überholt.

Da die klanglichen Ergebnisse dieser frühen Arbeiten aber deutlich hinter den in sie gesetzten Erwartungen zurückblieben, verließ man bereits 1954 das ursprüngliche Sinuston-Konzept wieder und beschritt neue Wege in der Technik der Klangsynthese. Mit wachsender Komplexität des Herstellungsprozesses nahm nun einerseits die Klangqualität ab und andererseits entzogen sich die Klangkomponenten auch zunehmend der Kontrolle durch die Komponisten. Die Idee der klanglichen Vermittlung zwischen heterogenen Ausgangsmaterialien führte dann konsequent zum Entwurf der *Live-Elektronik* und auch zur Transformation von Klängen beliebiger Herkunft, womit die Entwicklung der *elektronischen Musik* Kölner Ausprägung ihre größte Annäherung zur *Musique concrète* vollzogen hatte.

Als elektronische Musikinstrumente wurden die „Springermaschine“ - rotierende Tonköpfe, welche erste Pitchshifter / Timestretcher darstellten - als auch das Tonband und Lochstreifen als Kompositionsmittel verwendet.

2.2. Zusammenfassung

Ein Blick auf die Computermusik zeigt, dass bereits ihren Vorgängern, der *Musique concrète* und der *elektronischen Musik* in gewisser Form das Fehlen von Körperlichkeit vorgeworfen werden kann. Dies lässt sich besonders durch die damals völlig unkonventionelle Verwendung von Geräuschen, der Änderung und Manipulation der Klangfarbe, aber vor allem durch die eingesetzten Instrumente begründen. So kamen Geräte wie Bandmaschinen und Loch-

streifen zum Einsatz, welche nur abgespielt wurden und das tatsächliche Musizieren ausklammerten. Diese Vorgehensweise stellte keine bis dahin (von akustischen Instrumenten) bekannte Form der Verkörperung, des Embodiments, dar. Auch heute ist die erste Assoziation mit Computermusik zumeist eine ähnliche.

3. Annahmen bezüglich Disembodiment in der Computermusik gegenüber akustischen Instrumenten

Mit der Geschichte der Computermusik wurde versucht kennzeichnende Aspekte für das Fehlen von Körperlichkeit damaliger *elektronischer* und *elektroakustischer Musik* im Vergleich zu akustischen Instrumenten festzulegen. Ziel ist es nun, diese Charakteristika in Bezug auf heutige Computermusik zu überprüfen und so festzustellen, ob ihr das oft attestierte Fehlen von Körperlichkeit nachgewiesen werden kann.

3.1. Steuerbarkeit / Spielbarkeit

Erste elektronische Instrumente wie Morphophon oder Phonogen stellten nicht mehr als modifizierte Tonbandgeräte dar und waren somit auch nicht wirklich spielbar (zumindest nicht so wie akustische Instrumente). Auch brachte die *Musique concrète* mit analogen Synthesizern erstmals das Verlangen auf, diese neuen „Instrumente“, ähnlich wie zum Beispiel John Zorn sein Alt-Sax oder Fred Frith seine Gitarre beherrschen, kontrollieren zu wollen.

3.2. Performance

Ein Charakteristikum akustischer Instrumente stellt Ihre Performbarkeit dar. So erlauben sie dem Künstler (zum Beispiel bei Live-Auftritten) seine momentanen Gefühle und Stimmungen über die Musik und das jeweilige Instrument zum Ausdruck zu bringen. Dies war mit den ersten elektronischen Instrumenten (z.B. der Bandmaschine) nicht möglich: bei akustischen Instrumenten klingt ein Ton nie zweimal gleich, weil immer eine etwas andere Bewegung, ein etwas anderer Druck die Tonerzeugung beeinflussen und verändern. Die von ersten elektronischen und später digitalen Interfaces erzeugten Töne klangen dagegen

immer gleich. Aus diesem Grund wurde ihnen auch etwas „Maschinelles“ vorgeworfen. Das allmähliche Ablösen dieser Interfaces durch Computertechnik erlaubte schließlich mehr Flexibilität und eröffnete neue Möglichkeiten zur Vermeidung dieser homogenen Tonerzeugung. Aber je mehr der Computer an der Musikerzeugung beteiligt war, desto mehr stellte sich auch wieder die Frage an der Beteiligung des Körpers an der Performance. Schon bei den ersten analogen Synthesizern war es eigenartig, wenn man vor dem Synthesizer saß und präzise an nur einem Knopf drehte bzw. ein Kabel verband, ohne wirklich physische Anstrengungen zu vollbringen. Durch das Aufkommen von Laptops etc. wurden diese Bewegungen nochmals verringert: man bewegt nun nur noch einen Cursor mittels Maus oder einen Finger auf dem Trackpad und steuert so Regler am Bildschirm.

3.3. Der Computer als Maschine

Weiters gab es vor dem Aufkommen von Computern in der Musik keine perfekt getimten Takte und Rhythmen, weshalb sich auch die verschiedensten charakteristischen Musikrichtungen entwickelten. Zwar hatten viele Musiker den einwandfrei getimten Rhythmus als Raster im Kopf, aber keiner konnte ihn tatsächlich 100%ig spielen. Erst durch das Aufkommen der Computermusik kam diese Gleichmäßigkeit hörbar zum Vorschein. Das Maschinelle, unmenschlich Präzise bzw. die „Unfehlbarkeit“ des Computers können als weitere Punkte für das Fehlen von Körperlichkeit interpretiert werden.

3.4. Rückmeldung / Feedback

Die meisten akustischen Instrumente erzeugen ein direktes, spürbares Feedback (Vibrieren der Saiten, des Instruments). Diese Rückmeldung erlaubt es dem Musiker / der Musikerin, die Soundquelle zu spüren. Bei der Computermusik dagegen wird die generierte Musik meist über einen Lautsprecher wiedergegeben, die haptische Rückmeldung bleibt somit aus.

3.5. Technische Nachvollziehbarkeit

Die Generierung heutiger Computermusik und auch die Computermusik selber sind für viele Menschen technisch nicht nachvollziehbar. So ist es für die breite Masse nicht vorstellbar, wie Drehknöpfe und Regler jeglicher Art bzw. die

daraus generierten „Ströme und Spannungen“ zu dem erzeugten Sound beitragen. Bei akustischen Instrumenten dagegen ist der (menschliche) Körper offensichtlicher in den Prozess der Musikerzeugung involviert.

3.6. „Mit Computermusik unzufrieden“

Auch klagen viele ComputermusikerInnen, dass sie in ihrer Arbeit und in den von ihnen erzeugten Werken das Körperliche vermissen. So finden sie, dass „zuviel Technik zwischen unserem Körper und dem entstehenden Sound“ ist (Ostertag 2002).

Jeder dieser oben genannten Punkte stellt eine Art von Disembodiment dar, da jeweils ein Fehlen von Körperlichkeit bei Computermusik im Vergleich zu akustischen Instrumenten festgehalten werden kann.

Da akustische Instrumente im weitesten Sinne auch als eine Art *Schnittstelle* zwischen einem Musiker und seiner Musik gesehen werden können, werden nun verschiedenste Interfaces der Computermusik vorgestellt und untersucht, um festzustellen, ob es Interfaces gibt, die die oben genannten Defizite der Körperlichkeit nicht aufweisen.

4. Interfaces als Lösung?

Welche Ansätze gibt es nun überhaupt, um den Körper weiter in den Prozess der Musikerzeugung zu integrieren bzw. welche Interfaces und Controller ersetzen heutzutage die „traditionellen“ Eingabegeräte Maus und Tastatur in der Computermusik?

Vor allem Computermäuse sind sehr begrenzte Eingabegeräte mit wenigen Freiheitsgraden: sie bilden eine 2D-Cursor Position ab und können mit Hilfe physikalischer Gesten lediglich einen oder zwei „Klicks“ ausführen. Im Vergleich dazu verfügt ein akustisches Musikinstrument normalerweise über viel mehr Freiheitsgrade. GeigerInnen zum Beispiel können direkt mit ihrem Sound-Erzeuger, den Saiten, interagieren und so mit Hilfe einer breiten Palette an physikalischen Gesten wie Bogenbewegungen, Druck auf die Saite, Schnelligkeit, Winkel des Bogens etc. mehr Einfluss auf den zu erzeugenden

Sound nehmen. Viele MusikerInnen haben gut entwickelte Techniken, wie sie ihr akustisches Instrument steuern, sie haben exakte Kontrolle über viele Parameter gleichzeitig.

Wie die folgenden Interfaces zeigen, können diese Parameter, egal ob sie im akustischen Sound oder in den physikalischen Gesten selbst vorhanden sind, digital aufgenommen bzw. digitalisiert und zum Synthesizer übertragen werden. Dort können sie beliebig gemappt werden: Schlagzeuger sind so durch Spielen ihrer Drums in der Lage eine Melodie zu erzeugen, Cellisten ist es möglich, mit Hilfe ihres Instruments ein Orchester zu steuern und ein Performer kann durch seine (Hand-)Bewegungen verschiedenste Klänge erzeugen, um nur einige Beispiele zu nennen. Durch diese Möglichkeiten ändert sich auch die Definition von musikalischer Performance, da jede noch so simple, untrainierte Bewegung in Musik umgesetzt werden kann. Dementsprechend können Virtuosen / Virtuosinnen auch komplexe Soundlandschaften erzeugen und steuern (vgl. Ostertag 2002).

Anhand der Entwicklung verschiedenster Interfaces und Controller soll nun geklärt werden, wie und in welcher Form versucht wurde den Körper in die Steuerung und Generierung von Musik zu integrieren. Handelt es sich dabei um die gleiche Art wie die von akustischen Instrumenten bekannte oder beschreitet man ganz andere Wege des Embodiments? Weiters sollen die unter Kapitel 3 getroffenen Annahmen in den nachfolgenden Seiten bestätigt oder widerlegt werden.

Prinzipiell kann zwischen klassischen und alternativen Controllern und Interfaces unterschieden werden.

4.1. Klassische Interfaces und Controller

Als klassische Controller werden Imitationen (z.B. Keyboards, Drumpads) oder modifizierte Versionen (z.B. Gitarren-Synthesizer) von klassischen akustischen Instrumenten bezeichnet. Sie eignen sich besonders gut, um Letztere nachzuahmen und zu imitieren. Auch erste Synthesizer wurden durch die von ihnen erzeugten Spannungen und Ströme gesteuert. Hierbei ist darauf zu

achten, nicht in die herkömmlichen, bekannten harmonischen und melodischen Strukturen klassischer Instrumente (zum Beispiel dem Klavier) zurückzufallen. Zur Steuerung und Generierung von alternativen Synthesearten sind sie jedoch nur bedingt brauchbar.

4.1.1. Keyboard

Mit Ausnahme des Theremins wurden alle frühen elektronischen Instrumente mittels Keyboard gesteuert, meist mit einer Klaviatur (im „Standard-Layout“) ähnlich der akustischer Pianos. Eines der ersten wirklich elektronischen Instrumente stellte dabei Elisha Gray's *Musical Telegraph* (Abbildung 1) aus dem Jahre 1876 dar. Der Telegraph war ein Array von gestimmten elektro-mechanischen Röhren, welche mit einem Keyboard verbunden und mithilfe dessen gesteuert wurden. Die erzeugten Klänge wurden dabei über Hörner wie bei einem Grammophon wiedergegeben oder später auch direkt in das Telefonnetz eingespeist, da elektrische Verstärker noch nicht erfunden worden waren.



Abbildung 1: Elisha Gray's Musical Telegraph (1876)

1906 entwickelte Thaddeus Cahill dann das 200 Tonnen schwere *Telharmonium* (auch Dynamophon genannt), welches mit Hilfe von 145 gestimmten Wechselstromgeneratoren (Dynamos) sinusförmige Ausgangsspannungen erzeugte. Aus acht Grundtönen (C, D, Es, E, F, G, A und B) konnten dabei je sechzehn Obertöne erzeugt werden. Die daraus gemischten Klänge wurden als Melodie und Bassbegleitung über Telefonleitungen an Telefonempfänger mit Schalltrichtern übertragen und ausgegeben. Das Telharmonium war somit das erste elektronische Instrument, mit dem eine Lautstärkeregelung möglich war. Weiters verfügte es über bis zu elf Schalter

pro Taste, um eine Klangfarbenmischung zu ermöglichen. Diese Merkmale stellten auch noch in den nachfolgenden Jahrzehnten eine Seltenheit dar und nahmen das Prinzip der Hammond-Orgel um Jahrzehnte vorweg.

Nahezu alle Instrumente der Frühzeit waren jedoch Einzelstücke, die kaum Einfluss auf die musikalische Praxis ausübten. Immerhin schaffte es das Telharmonium, groß publik zu werden.

Das erste elektronische Instrument, welches in großen Mengen produziert wurde, war das *Ondes Martenot* (1928) von Maurice Martenot (Abbildung 2). Es wurde von vielen Komponisten genutzt und wird auch heute noch dazu verwendet, ihre Stücke aufzuführen. Die Steuerung dieses Instruments gilt als Vorreiter der heutigen Synthesizer. Das elektronische Tasteninstrument mit sieben Oktaven Umfang wird mit der rechten Hand über eine Klaviatur gespielt, während gleichzeitig mittels eines Ringes Glissandi², Dynamik und Klangfarbe gesteuert werden. Der Ring für Glissandi sitzt auf einem Draht, der parallel zur Tastatur geführt ist. Auf frühen Versionen des Instruments wird die Tonhöhe nur über diesen Ring gesteuert, die Tastatur diente allein zur visuellen Orientierung. Mit der linken Hand kann der Spieler / die Spielerin die Lautstärke regeln und durch die Filter die Klangfarbe beeinflussen.



Abbildung 2: Ondes Martenot (1928)

Keyboards wurden immer mehr erweitert und so entwickelte Hugh LeCaine 1948 mit dem *Electronic Sackbut* (Abbildung 3) das erste Gerät, das wir aus heutiger Sicht Synthesizer nennen würden. Dieses Instrument verfügt über

² Der Begriff Glissandi bezeichnet in der Musik eine kontinuierliche, gleitende Veränderung der Tonhöhe.

positions- und drucksensitive Tasten, eine horizontal verschiebbare Klaviatur und Fußpedale. Wichtigste Innovation dabei war, dass man mit all diesen zusätzlichen Parametern mehr Kontrolle über Dynamik und Klangfarbe hatte und so im Gegensatz zu früheren Entwicklungen ein dynamischeres und expressiveres Spielen möglich wurde.



Abbildung 3: Electronic Sackbut (1948)

Die Möglichkeit, verschiedene Komponenten (zum Beispiel Controller und Klangerzeuger) über Steuersignale miteinander zu verbinden, wird in den nächsten Generationen von Synthesizern zum Standard und kann als Vorstufe zu MIDI gesehen werden.

Durch die Entwicklung der Transistortechnik wird 1960 die Massenproduktion elektronischer Musikinstrumente möglich; dies trägt wesentlich zur Popularität Letzterer bei. Auch in den darauf folgenden Jahren wurden hauptsächlich dem Piano ähnliche Keyboards zur Steuerung von Synthesizern eingesetzt, wobei der Großteil davon nur einen Tastendruck bzw. nur eine Note gleichzeitig verarbeiten konnte.

Mit dem 1963 auf dem Markt erschienenen *Mellotron* konnten erstmals auf Magnetband aufgezeichnete Klänge über eine Klaviatur wiedergegeben und gespielt werden. Das Mellotron kann damit als Pionier heutiger Sampler gesehen werden.

Zur Lautstärke- und Klangfarbenänderung bzw. Steuerung der Amplitude und Klangfarbe benötigten frühe analoge Synthesizer riesige Equipment-Bänke, welche mittels Patch-Kabel verbunden wurden. Aufgrund der großen Nachfrage von tourenden Bands nach einem portablen Synthesizer entwickelte Moog

Music Inc. 1970 den *MiniMoog* (Abbildung 4), eine fest verdrahtete, frühe Version der heutigen modularen Systeme.



Abbildung 4: MiniMoog (1970)

Zur Steuerung der einzelnen Parameter steht dabei ein eigenes Potentiometer zur Verfügung. Diese Art der Steuerung setzte sich durch und ist auch heute noch in gleicher Form vorhanden. Das auffälligste Merkmal stellt ein Set von zwei Rädern an der linken Seite nahezu jeder E-Keyboard dar. Mit einem Rad wird dabei normalerweise das Pitch-Band, also die Tonhöhe, mit den anderen Oszillatoren und Filter, welche die Tonqualität beeinflussen, gesteuert. Heutzutage lassen sich diese Räder aber auch beliebig belegen (mappen).

Anfang der 1970er konnte man mit Keyboards erstmals mehrere Töne bzw. Tonhöhen gleichzeitig erzeugen. Dieser *polyphone Durchbruch* ist Dave Rossum und Scott Wedge von E-Mu Systems zuzuschreiben. Heutzutage wird die Dynamik durch den Midi-Standard in einen 7-bit Anschlagdynamik-Parameter aufgelöst. Die Geschwindigkeit, welche einen Indikator für die Stärke, mit der eine Taste gedrückt worden ist, darstellt, wird durch das Zeitintervall, welches benötigt wird, um von der oberen in die untere Position der Taste zu gelangen, gemessen. Außerdem wird so erkannt, wann die Taste wieder losgelassen wird. Da dazu relativ wenig Hardware nötig ist, gab es bald in nahezu jedem Keyboard eine Art von Anschlagdynamik. Bei vielen Keyboards werden heute noch weitere Parameter über MIDI übertragen, z.B. „Aftertouch“, der die Kraft nach dem ersten Anschlag einer Taste misst (bei akustischen Pianos nicht möglich). Somit liefern digitale Instrumente mehr Informationen als ihre akustischen Pendanten.

Ein großer Teil der Entwicklung von Keyboards beschäftigt sich mit dem Ziel, dass diese „ausdrucksvoller“ werden, so zum Beispiel auch das *Multi-Touch Sensitive Keyboard* von Robert Moog und Thomas Rhea. Hierbei werden die x- und y-Position der Finger durch kapazitive Sensoren auf der Oberfläche jeder Taste gemessen wird. Um das Keyboard besser spüren zu können, wird auch an programmierbaren mechanischen Reaktionen gearbeitet.

Es gibt aber ebenso Entwickler, die das Design des Keyboards völlig verändern, zum Beispiel indem sie zusätzliche Tasten hinzufügen, um mikrotonale Musik erzeugen zu können und so auch Zwischentöne spielbar zu machen, die mit einer herkömmlichen Klaviatur nicht möglich sind. Zudem gibt es so genannte „Fingerboards“, mit denen die Tonhöhe kontinuierlich gesteuert werden kann und dadurch die diskreten Tonsprünge einer Klaviatur umgangen werden.

4.1.2. Perkussive Interfaces

Seit den späten 1960igern wurden mit Hilfe von Tonabnehmern (Pick-Ups) an den Schlagflächen verschiedenster Schlaginstrumente erste Versuche unternommen, durch die getroffenen Oberflächen (Schlagflächen) elektronische Sounds auszulösen. Zur Steuerung wurden Parameter wie der Schlagimpuls und eine Spannung proportional zur Intensität des Schlages verwendet.

In den 1980igern löste Dave Simmons dann eine neue Welle perkussiver Interfaces mit Hilfe von intuitiven neuen Sounds von Synthesizern in Drumcontrollern aus. Der Schlagzeuger konnte so seine traditionelle Schlagtechnik auch auf flachen elastischen *Drumpads* nutzen.

Heutzutage werden flache, elastische, akustisch gedämpfte Drumpads verwendet, um so einen reinen elektronischen Sound zu erzeugen. Weiters sind diese Pads in verschiedene kraftsensitive Bereiche aufgeteilt, „zoning“ genannt, und verfügen über einen MIDI-Ausgang.

Das weltweit größte elektronische Perkussionsinstrument stellt der *Rhythm Tree* aus Brain Opera dar. Dieser besteht aus mehr als 300 intelligenten

Drumpads. Jedes dieser Drumpads verfügt über einen 8-bit Mikrocontroller, welcher das Signal eines piezoelektrischen Folienpickups analysiert. Wenn ein Musiker / eine Musikerin eines der Pads mit den Händen schlägt, wird ein MIDI-Stream generiert, welcher die Stärke des Schlages und weitere Parameter enthält. Dieser Stream löst dann die entsprechenden elektronischen Sounds aus und erzeugt ein Licht hinter dem jeweiligen Pad, welches als visuelles Feedback dient.

Ein etwas komplexerer und deshalb expressiverer Perkussionscontroller ist Donald Buchlas *Thunder* (Abbildung 5). Im Unterschied zu den dicken, klümpchenförmigen Pads des Rhythm Trees besitzt der Thunder handgroße Zonen, welche separat auf Anschlaggeschwindigkeit, Position und Druck reagieren. Die letzte Version verfügt dabei zusätzlich noch über optische Sensoren, um die Oberflächenverformung unter den Händen zu detektieren. Auch Thunder bietet dem Nutzer / der Nutzerin viele Möglichkeiten des Mappings und der Zuordnung, um die verschiedenen komplexen perkussiven Ereignisse und Abläufe in einen MIDI-Datenstream zu einem Synthesizer zu übertragen.



Abbildung 5: Thunder

4.1.3. Saiten- / Streichinstrumente als Interface

Eines der erfolgreichsten elektronischen Instrumente stellt die *E-Gitarre* dar. Sie ist allerdings kein reines elektronisches Instrument, da sie auf dem akustischen Grundgerüst der klassischen Gitarre basiert und lediglich durch Anbringen von Pick-Ups erweitert wurde. Die E-Gitarre existiert seit den 1930iger Jahren und wurde zuerst nur konventionell für Blues und Rock'n'Roll von Musikern wie Charlie Christian und Les Paul verwendet. Erst *Jimi Hendrix* schaffte es in den 1960igern, die E-Gitarre neu und eigenständig zu definieren. Dies gelang ihm

durch den absichtlichen Einsatz von Rückkoppelungen und Verzerrungen über die Lautsprecher, welche er präzise mit Hilfe seiner Körperposition (im Raum, als auch relativ zu den Lautsprechern), seiner Finger etc. steuerte. Jimi Hendrix gilt für viele als *der* erfolgreichste elektronische Musiker und es ist schwer vorstellbar, dass jemand mehr Körper in seine Musik mit einbringt als Hendrix es tat, seine Gitarre und sein Körper waren eins!

Über die Jahre hinweg wurden viele Effektgeräte, die den Sound der E-Gitarre noch weiter veränderten (Wah-Wahs, Flanger, Fuzzboxes etc.), entwickelt. Die Tonhöhe und der Anschlag wurden dabei aber immer noch akustisch über die Saiten bestimmt. Dies elektrisch umzusetzen, war ein großes Problem. Ende der 1970iger kamen dann hexaphonix magnetic Pick-Ups auf, bei denen jede Saite über eine eigene Spule verfügte, welche so nah an der entsprechenden Saite montiert wird, dass kein Übersprechen mehr auftreten kann (6 analoge Ausgänge).

Aufgrund der begrenzten Signalverarbeitungs-Technologie dieser Zeit waren diese Interfaces vielen Gitarristen zu träge und zu ungenau. Folglich übergang man dann in den 1980igern das Problem der Tonhöhenenerkennung. Stattdessen wurden die Finger der linken Hand auf dem Griffbrett mittels Schalter oder kapazitiven Sensor-Streifen darunter erkannt. Es wurden zwar auch noch Pick-Ups verwendet, jedoch nur um die Amplitudenstärke der Saite zu bestimmen.

Über die Jahrzehnte hinweg entwickelten sich auch viele verschiedene und kontroverse Formen der E-Gitarre, bei den extremsten darunter verzichtete man sogar ganz auf Saiten. Die Gesten des Gitarristen wurden in diesen Fällen mittels Schalter und taktilen (fühlbaren) Sensoren gemessen. Obwohl viele Hersteller diese Form anboten, existiert sie heutzutage so gut wie nicht mehr. Eine auffällige Ausnahme stellt die *Ztar* von Starr Labs dar.

Inzwischen wurden große Fortschritte in der Signalverarbeitung gemacht und Tonhöhenenerkennungsalgorithmen trugen signifikant zur Performance heutiger Pick-Up basierter Instrumente bei. Obwohl nicht alle Gitarristen damit zufrieden sind, finden die meisten Musiker diese Interfaces spielbar und nützlich.

Als Schnittstelle ist *MIDI* nicht für Saiteninstrumente geeignet, da die Bandbreite von *MIDI* - besonders für die vielen Parameter von Saiteninstrumenten - zu gering ist. Hier wird stattdessen auf andere Alternativen wie z.B. auf das *ZIPI-Format* zurückgegriffen.

4.1.4. Klassische Streicher-Interfaces

Aber auch klassische, orchestral besetzte Streichinstrumente kamen am Trend der elektronischen Interfaces nicht vorbei. Frühe elektronische Streicherinterfaces verarbeiteten nur den erzeugten Sound und fügten Effekte hinzu. Die komplizierte und dynamische Natur von Streichinstrumentensounds machte eine schnelle und robuste Tonhöhenenerkennung schwierig. So entwickelten viele Hersteller Softwarelösungen für die Tonhöhenenerkennung bei Violinen, Violas und Cellos.

Nichtsdestotrotz ist Signalverarbeitung allein für eine schnelle und vollständige Übersetzung der Gesten von Streichinstrumenten unzulänglich. Der Streicher-Controller muss weiters möglichst viele Streich-Parameter erfassen, wenn der synthetisierte Sound prompt den Bewegungen des Musikers mit all ihren Nuancen folgen soll.

Wurden anfangs die Parameter der Bogenbewegung nur aus dem Audio-Stream generiert, entwickelte man nach und nach Sensoren, um die Bogeneigenschaften direkt zu messen. So werden Beschleunigungssensoren im Bogen und Infrarot-Ortung verwendet, um Position und Bewegung des Cello-Bogens zu bestimmen. Auch werden bei bestimmten Violinen anhand eines Arrays von Infrarot-Sendern und Empfängern Bogen- und Fingergesten erfasst.

In den darauf folgenden Jahren wurden verschiedenste Technologien bei der Entwicklung von Streicherinterfaces verwendet. So wurden beim *Hypercello* (1991) von Neil Gershenfeld Audiosignale der einzelnen Saiten aufgenommen und analysiert, um in Kombination mit einem Armband (exos dexterous wrist master) an der rechten Hand und einer verformbaren Kapazität im Bogen Gesten bestimmen zu können. Weiters wurden die Finger der linken Hand mit

Hilfe eines Sets von Dehnmessstreifen auf dem Griffbrett und die Bogenposition durch kapazitive Abstandssensoren zwischen Instrumentenbrücke und Bogen ermittelt.

Ein weiteres interessantes Konzept der elektronischen Streicher-Interfaces stellt das *BoSSa* (Bowed-Sensor-Speaker-Array) dar. Hierbei handelt es sich um ein „deconstructed violin reconstruct“, bei dem eine Violine zuerst analysiert und danach der Versuch einer verbesserten elektronischen Version gestartet wurde. Das *BoSSa* (Abbildung 6), ein neues elektronisches Instrument (und Interface), beinhaltet alle Elemente der physikalischen Performance einer Violine und ihren räumlich filternden Diffusor, kommt jedoch ohne Resonanzkörper und Saiten aus. Es stellt damit eine Vereinigung und Erweiterung von vorhergehenden Violin-Interfaces, physikalischen Modellen und richtungstonalen Abstrahlungsstudien dar. Der Bogen des *BoSSa*s ist mit Druck-, Bewegungs- bzw. Beschleunigungs-sensoren ausgestattet und ermöglicht es so, alle Gesten der Streichbewegungen inklusive Geschwindigkeit, Winkel, Streichrichtung und viele weitere Eigenschaften zu erfassen. Weiters besteht das Instrument aus einem „Fangerbored“, welches man sich wie das Fingerboard einer herkömmlichen Violine jedoch mit einem linearen Positions-Sensor, der gewöhnliche Linke-Hand-Techniken ermöglicht, vorstellen kann. Auch kann das *BoSSa* von der rechten Hand gehalten und aufgrund von vier Drucksensoren mit vier Fingern der rechten Hand gespielt werden. Diese Sensoren ähneln eher den Löchern einer Baroque Flöte und ermöglichen feinste Tonhöhenmanipulationen. Da das Fangerbored über keinen wirklichen Resonanzkörper verfügt, kann es frei bewegt werden, zudem besitzt es weitere Beschleunigungssensoren, welche zwei zusätzliche Ausdrucksebenen schaffen. Alle daraus gewonnenen Daten werden dann in einen MIDI Kontroll-Stream verwandelt.

Als Ausgabe-System verwendet das *BoSSa* 12 gleichmäßig über eine Kugel verteilte Lautsprecher. Diese sind voneinander abgeschlossen, interagieren und beeinflussen sich gegenseitig nur minimal. Aufgrund dieser Anordnung ist es möglich, verschiedenste Abstrahlcharakteristiken zu simulieren (zum Beispiel

die der akustischen Violine oder aber auch von anderen Instrumenten wie Gitarren), welche als Ersatz für den Resonanzkörper gesehen werden können.



Abbildung 6: BoSSa

Die – in der Computermusik – eher unübliche Art des BoSSas, Ein- und Ausgabegeräte zu kombinieren, erzeugt eine neue Beziehung zwischen dem Performer, dem Instrument und der Soundquelle als auch dem Zuhörer. So legt das BoSSa die Soundquelle wieder direkt in die Hände des Performers (also des Lautsprechers und der damit verbundenen Abstrahlcharakteristik), ohne dabei auf die Signalverarbeitung und die damit einhergehende Flexibilität moderner Synthesizer verzichten zu müssen. Dadurch erzeugt das BoSSa eine Art von Präsenz, wie man sie sonst nur von akustischen Instrumenten gewohnt ist. Auch wird die Aufmerksamkeit, da die Soundquelle direkt beim Musiker liegt, wieder auf das Instrument und den Performer gelenkt und dadurch eine Art von Intimität erzeugt, die sonst mit Computermusik schwer zu erreichen ist. Da das BoSSa wie ein Cello gespielt wird, verfügt der Musiker zusätzlich auch über alle gewohnten Ausdrucksmöglichkeiten.

4.1.5. Bläser-Interfaces

Blasinstrumente sind im Wesentlichen *monophon* und so wurden schnell erste Interfaces für Bläser entwickelt, um dadurch mit Hilfe ihrer Spieltechnik elektronischen Sound zu erzeugen und zu steuern. Dieser wurde in den 1960iger und 70iger Jahren von einstimmigen Synthesizern umgesetzt. Aufgrund des Attacks bei Blasinstrumenten – dem Anblasen – traten aber Probleme bei der exakten Tonhöhenerkennung auf. Aus diesem Grund ersetzte

man dann die Ventile durch Schalter beziehungsweise Tasten und Mundstücke bzw. Blätter durch Sensoren (Blas- und Beißsensoren). Durch diese Änderungen wurde kein akustischer Sound mehr erzeugt, sondern nur mehr die entsprechenden Parameter generiert.

Der Lyricon *Wind Synthesizer Driver* war das erste populäre Bläser-Interface. Durch Fingersatz, Lippen- und Luftdruck, welche mittels Anemometer gemessen wurden, erzeugte er Spannungen, die einen Synthesizer steuerten. Später folgten dann das *Electronic Woodwind Instrument*, welches ein dem Saxophon ähnliches „fingering“ aufwies und das einer Trompete nachempfundene *Electronic Valve Instrument*. Bei Letzterem kamen dann auch berührungsempfindliche Tasten zum Einsatz, um ein schnelles Spielen zu erleichtern und ein Sliden zwischen den einzelnen Tönen zu ermöglichen. Durch diese Eigenschaften wurden viele Effekte wie z.B. vibrato und portamento möglich. Das Yamaha *WX-7* stellte schließlich das erste Interface mit einer MIDI-Schnittstelle dar, wobei der Fingersatz des *WX-7* dem eines Saxophons nachempfunden war.

4.1.6. Orchestrale Interfaces

Zu Beginn gingen Orchester und Synthesizer getrennte Wege. Falls bei Kompositionen Synthesizer bzw. ein synthetisierter Sound zum Einsatz kamen, wurde Letzterer bereits vor der eigentlichen Aufführung erzeugt. Das Orchester spielte lediglich mit oder zu dieser Musik. Dieses Verhältnis änderte sich später und wurde um einiges intimer. So gab es Synthesizer wie z.B. den *4X Synthesizer* von Guiseppe Di Giugno (80iger Jahre, Paris), der die Orchestermusik von Ensembles in Echtzeit analysierte und weiterverarbeitete und es so den Musikern ermöglichte den Synthesizer in Echtzeit (indirekt) zu steuern. Gleichzeitig wurden aber auch die Interfaces immer flexibler: der Synthesizer wurde immer mehr zu einem virtuellen Begleiter, der in der Lage ist auf detaillierte Nuancen einzelner Musiker zu reagieren. Auch ist es durch den Einsatz von weiteren elektronischen Interfaces auf „klassischer Basis“ (siehe Hypercello, etc.) möglich, Parameter und Informationen direkt an den Synthesizer zu übergeben und so weitere Freiheitsgrade zur Steuerung des Synthesizers und der Musik zu erhalten.

4.1.7. Taktstock als Interface

Die synthetisierte Klanglandschaft wurde immer komplexer und komplizierter, Kompositionsalgorithmen wurden verbessert und bekamen bzw. erzeugten immer mehr musikalische Details. So dauerte es nicht lange, bis auch der *Taktstock* als Interface verwendet wurde. Seine Hauptaufgabe besteht darin, Übergänge von einzelnen „Sound-Gruppen“ zu steuern. Er kann aber auch tiefer liegende Rhythmen erzeugen und verändern. Heutzutage wird dies technisch meist mittels Motion-Tracking und eines individuell programmierbaren MIDI-Outputs (welcher von der einfachen Position bis hin zu komplexen Gesten alles übertragen kann) realisiert. Es gibt aber auch andere Methoden: Video-Erfassung oder Beschleunigungssensoren im Stock, die sogar die Stärke des Finger- und Handdrucks messen können. Auf Grund dieser Fülle an Informationen und seiner Flexibilität ist dieser Controller vielseitig einsetzbar.

4.2. Alternative Interfaces und Controller

Die bisherigen Interfaces und Controller können im Großen und Ganzen als klassische Interfaces gesehen werden bzw. bauen auf ihnen auf. Die folgenden Interfaces betreten dagegen Neuland. Sie können sozusagen als alternative Controller die nicht auf akustischen Instrumenten basieren, gesehen werden, und sind deshalb auch besser zur Erzeugung und Steuerung von neuen Klängen und Sounds geeignet.

4.2.1. Körper-, Bewegungserfassung und Bio-Feedback

Um dem angeblichen „Fehlen von Körperlichkeit“ in der Computermusik gegenüber akustischer Musik entgegenzuwirken, wird versucht den menschlichen Körper wieder vermehrt einzubringen. So entwickelten Mitglieder der deutschen Band Kraftwerk 1976 den „*Käfig*“ für Bühnenshows. Dieser stellte ein alternatives Bedienkonzept, das mit Lichtschranken arbeitet, dar. Mit Hilfe dieses neuartigen Interfaces war es möglich, die elektronische Klangerzeugung mittels Körperbewegungen zu steuern.

Auch heutzutage gibt es unzählige Möglichkeiten, komplexeste Musik zu erzeugen, ohne dabei ein zusätzliches Hilfsmittel in den Händen halten zu müssen. Da es hier keine akustischen Vorfahren gibt, eröffnen sich auch

neuartige Möglichkeiten der Ausdrucksfähigkeit. So gibt es Verfahren, welche auf Körperbewegungen und die Position des Musikers reagieren, ohne dass jener etwas halten oder anziehen muss. Diese Art der Interfaces wird *free-gesture-controller* genannt. Ein Nachteil dieser Controller ist, dass sie nicht mit der gleichen Genauigkeit wie die vorher behandelten (taktilen, fühlbaren) Interfaces gesteuert werden können. Durch die Unterstützung des Computers bei der Erkennung und Interpretation und durch das Hinzufügen und Anwenden von (Sonic-) Mappings können aber sehr komplexe musikalische Abläufe erzeugt werden. Jede Körperbewegung und -position ist mit beliebigen Parametern koppelbar. Diese Systeme lassen sich perfekt auf einen speziellen Musiker und die zu kontrollierende Klangerzeugung anpassen, was ein Erlernen erleichtert. Allerdings lässt sich das für Musiker wichtige haptische Feedback vor diesem Hintergrund gar nicht oder nur mit enormem Aufwand realisieren. So ist neben dem akustischen nur ein visuelles Feedback möglich. Ein weiterer Nachteil kann die Notwendigkeit des engen Kontakts zum Interface sein. Auch wird die Bewegungsfreiheit dadurch eingeschränkt, dass jede Bewegung zu einer Änderung mindestens eines Parameters führt. Technologisch kommt nahezu alles, von kapazitiven Sensoren bis hin zur Machine Vision, zum Einsatz. Free-gesture-controller eignen sich besonders für Tanz-Performances und Installationen und werden auch hauptsächlich dort eingesetzt.



Abbildung 7: Leon Theremin am Theremin

Eines der ersten elektronischen Instrumente, das *Theremin* (Abbildung 7), war ebenso ein free-gesture-controller. Es wurde in den 1920iger Jahren von Leon Theremin entwickelt. Neben einem neuen Verfahren der Klangerzeugung (durch Erfindung der Trioden-Vakuumröhre konnten Verstärkerschaltungen

realisiert und Klänge somit erstmals über Lautsprecher wiedergegeben werden) nutzte das Theremin auch ein bis dahin unbekanntes Interface: Klänge konnten völlig berührungslos und kontinuierlich durch den Abstand beider Hände zu zwei Antennen gesteuert werden, wobei eine Hand die Tonhöhe, die andere die Lautstärke beeinflusste. Zusätzlich reagierte das Theremin auch auf Körperbewegungen von Personen, die sich in der Nähe befinden. So kann das Instrument als erstes alternatives Interface der elektronischen Musik gesehen werden.

Eine andere Art der kontaktlosen musikalischen Gestenerkennung wird beim *Magic Carpet* benutzt. Hier wird der Musiker von Kopf bis Fuß mittels einer Kombination von kontakt- und kontaktlosen Sensoren erfasst. Die Position der Füße wird mittels Drucksensoren, der Oberkörper mit Hilfe von Mikrowellen Motion Sensoren erfasst. Somit eignet sich diese Art besonders für Tänzer und öffentliche Installationen. Es gibt aber auch andere technische Verfahren wie Infrarot-Sensoren, Laser-Scanning etc., die den Körper in gleicher oder ähnlicher Weise erfassen.

Computer Vision Technologien wurden aufgrund der Leistungssteigerung der Computer immer rentabler und brachten besseres Antwortverhalten, höhere Stabilität und die Fähigkeit, mehr Details erfassen zu können, mit sich. Das *Imaginary Piano* von Tarabella zum Beispiel nutzt eine normale Videokamera, um die Handbewegungen eines sitzenden Spielers aufzuzeichnen. Dabei wird die Tonhöhe aus der horizontalen Position der Hände erkannt und realisiert, wenn sich die Hand unter eine bestimmte Höhe bewegt. Aber auch andere Projekte wie zum Beispiel *BigEye* nutzen eine Video-Analyse-Umgebung für Live-Performances: hier werden Farbbereiche (z.B. die der Kleidung des Performers) erkannt und dargestellt. MIDI-Reaktionen können nun beliebig durch und auf Bewegungen gemappt werden.

Aktuelle Softwarelösungen wie *DanceSpace* erkennen mit Hilfe einer digitalen Videokamera die einzelnen Körperteile, also Kopf, Hände, Torso, Beine und Füße, in Echtzeit. Die Positionen können mit bis zu 20Hz aktualisiert und beliebig gemappt werden (z.B. bestimmt die Kopfhöhe die Lautstärke, die

Positionen der Hände die Tonhöhe und die Füße steuern perkussive Sounds – auch von verschiedenen Instrumenten).

Aber auch das Gebiet von *Biofeedback*, welches mittels physiologischer Messungen auf die menschlichen Körperfunktionen (wie zum Beispiel Puls, Hautleitwert oder Hirnströme) zurückgreift, kommt in der Computermusik immer mehr zum Einsatz. So verwendet beispielsweise *Biomuse* (von BioControl Systems, Palo Alto) die elektrischen Signale der Muskeln, der Augen, des Herzens und des Gehirns, um so MIDI-Sequenzen zu erzeugen. Die Anzahl der Signale und die Steuerbarkeit lassen viel Raum für Verbesserungen, aber man arbeitet bereits daran, bioelektrische Signale auszuwählen und zu extrahieren, um so neue und genauere bioelektrische Features zu erhalten.

4.2.2. Anziehbare Interfaces

Des Weiteren existieren auch anziehbare Interfaces wie zum Beispiel der *MidiDancer Sensor Suit* für Tänzer und Performer oder das *Miburi System* von Yamaha. Letzteres besteht aus einer Weste mit Widerstands-Dehnstreifen als Sensoren an Armen, Schultern etc., Beschleunigungssensoren an jedem Finger und einem Paar Schuheinlagen. Die dadurch gewonnenen Daten und Parameter werden mittels WLAN an den dazugehörigen Computer geschickt. Bei diesem System wird die Tonhöhe aus einer Kombination von Hand-Konfiguration und Tasten, die am Handrücken gedrückt werden, bestimmt. Die restlichen Inputs werden für die Klangfarbe und das Klangspektrum sowie für das Pitch-pending verwendet.

4.2.3. Weitere Interfaces

Die aufgezählten Interfaces können nur einen kleinen Einblick in die Vielzahl von alternativen Controllern und Interfaces gewähren. So existieren viele weitere Interfaces in jeder erdenklichen Form und Funktion: beispielsweise wurden Jeans-Jacken mit integriertem, berührungsempfindlichem 12-Tasten-„Keyboard“, Tanz-Sneakers mit einer ganzen Reihe von Sensoren, Data Gloves – Handschuhe als Interface – und viele weitere Arten von Controllern zur Steuerung von Computermusik und Synthesizern entwickelt.

4.3. Ausblick

Wie schon in den letzten Jahrzehnten wird der technologische Fortschritt die Art der Interaktion und Steuerung von Musik beeinflussen und verändern. Neue Forschungsergebnisse wie physical modelling, Soundgenerierung durch mathematische dynamische Systeme, erfordern zusätzliche Steuerungsmethoden für eine ausdrucksstärkere Performance. Dies bedingt auch die Entwicklung und Akzeptanz von neuen multimodalen Interfaces. Weiters werden immer mächtigere Algorithmen zum Mappen von Echtzeit-Gesten in musikalischen Zusammenhängen angedacht, um so auch Solo-Performern die Möglichkeit zu geben, einen sehr komplexen synthetisierten Sound zu steuern.

Da eigentlich alle modernen elektronischen Musik-Controller digitale Eingänge darstellen, verschmilzt die Mechanik der elektronischen Performance mit der grundsätzlichen Forschung der Human Computer Interfaces. So wird z.B. im Programm *MusicMouse* komplexe Musik mittels einer (Computer-)Maus erzeugt. Das Programm *Stretchables* erlaubt dem Benutzer Musik durch das Zeichnen von deformierbaren, elastischen Objekten mit dynamischem Verhalten zu erzeugen.

Computer-Eingabegeräte werden sich weiter verbessern und dazu beitragen, dass sich unsere Umwelt immer mehr mit der virtuellen Informationslandschaft vermischt. So werden wir auch in Zukunft unser musikalisches Rüstzeug mitnehmen, egal welche Form dieses auch haben mag.

5. Widerlegung / Bestätigung der zuvor getroffenen Annahmen

Nach diesem Überblick über heutige Möglichkeiten und Formen von Interfaces und Controllern in der Computermusik gilt es nun, mit diesem Wissen die in Kapitel 3 getroffenen Annahmen in Bezug auf Disembodiment zu bestätigen bzw. zu widerlegen und die gewonnenen Erkenntnisse über die Eigenschaften der Interfaces zusammenzufassen.

5.1. Steuerbarkeit / Spielbarkeit

Hinsichtlich Steuer- und Spielbarkeit elektronischer Instrumente in der Computermusik wurde zuvor auf das *Morphophon* und das *Phonogen* verwiesen, welche tatsächlich keine von akustischen Instrumenten bekannte Form der Spielbarkeit aufwiesen. Inzwischen sind aber Jahrzehnte vergangen und der Blick auf elektronische Interfaces hat gezeigt, dass diese es ermöglichen, elektronische Musik, akustischen Instrumenten gleich, zu erzeugen, zu steuern und zu spielen. Somit stehen elektronische Interfaces akustischen Instrumenten in der Spielbarkeit in nichts nach.

Des Weiteren ist es aufgrund des Mappings und der Flexibilität vieler Interfaces sehr einfach möglich, Instrumente und deren Klänge auf die individuellen Bedürfnisse von Musikern und an bestimmte Situationen anzupassen und so ein höheres Maß an Spielbarkeit zu erzeugen.

5.2. Performance

Auch auf diesem Gebiet hat sich seit dem Arbeiten mit der *Bandmaschine* viel getan. Aufgrund der Ähnlichkeit vieler aktueller elektronischer Interfaces mit (klassischen) akustischen Instrumenten ist nicht nur die gleiche Spiel- und Steuerbarkeit gegeben, sondern es kann auch die gleiche Live-Performance (inklusive Ausdruck) ermöglicht und gewährleistet werden.

Weiters bieten verschiedenste Interfaces bis jetzt nicht bekannte bzw. nicht genutzte Möglichkeiten des Ausdrucks und eröffnen damit ganz neue Welten. So kann etwa durch die hohe Flexibilität von Interfaces und der Möglichkeit von verschiedensten Mappings eine noch intimere und damit ausdrucksvollere Bindung zwischen einem Musiker und seinem Instrument erzeugt werden.

5.3. Der Computer als Maschine

In den Anfängen wurde der Computermusik noch „Unmenschlichkeit“ vorgeworfen, da sie sehr maschinell wirkte. Diese Eigenschaft wurde (falls gewünscht) wieder abgelegt. Der Musiker ist derjenige, der die Interfaces bedient und somit den Computer steuert. Er ist für den Takt, den Rhythmus und

die Melodie verantwortlich und erzeugt so gleich wie mit akustischen Instrumenten seinen eigenen Sound, welcher sich präzise steuern lässt. Aber selbst wenn der Mensch beim Erzeugen von maschinelltem Rhythmus auf die Unterstützung des Computers zurückgreift, wird dies heutzutage nicht mehr als Fehlen von Körperlichkeit gewertet. Durch die elektronische Tanzmusik Techno trat dieser zuvor nur mental vorhandene maschinelle Rhythmus hörbar in den Vordergrund und stellte damals eine Revolution dar. Die Musikrichtung Techno entwickelte sich aber nicht so wie erwartet (Techno als Maß aller Dinge) und so wurde daraus „nur“ eine weitere Musikrichtung. Dennoch war dies ein erster Schritt der Computermusik in den Mainstream-Bereich und es war klar, dass sich diese Art von Musik weiterentwickeln würde.

So kamen bald die ersten MIDI-Sequencer auf, welche aber noch sehr unnatürlich und dadurch unmenschlich bzw. künstlich klangen. Die Entwickler suchten nach einer Lösung, dieses Faktum umzukehren, aber bereits nach kurzer Zeit hatte man sich (vor allem die Jugend) an diesen „künstlichen“ Sound gewöhnt. Anscheinend passt sich unser Geschmack schneller an, als wir in der Lage sind, neue Technologien zu entwickeln.

Des Weiteren wurde auch das Performance-Problem (siehe Kapitel 5 / Abschnitt 2) gelöst bzw. es kam in der elektronischen Tanzmusik gar nicht auf, da hier die Musik selbst an zweiter Stelle steht und tanzen, trinken, sich unterhalten und das allgemeine Zusammensein den ersten Platz einnehmen; die Wichtigkeit der Performance des Künstlers wird hintangestellt. Somit brachte der Künstler seinen Körper weniger ein, dafür aber umso mehr das Publikum.

5.4. Rückmeldung / Feedback

Auch heute noch wird Computermusik über Lautsprecher wiedergegeben und größtenteils wird bei den meisten elektronischen Instrumenten auf ein haptisches Feedback verzichtet. Mit der richtigen Wahl des Interfaces ist aber schon jede erdenkliche Form von Feedback, egal ob visuell, haptisch oder akustisch möglich (siehe z.B. BoSSa). Auch gibt es genügend weitere elektronische Instrumente, welche auf ein Force-Feedback-System zurück-

greifen und somit eine spürbare Rückmeldung bieten. Diese Instrumente haben auch den Vorteil, dass das Feedback an verschiedenste Anwendungen adaptiert werden kann und sich so nach den Vorlieben des Musikers richtet.

5.5. Technische Nachvollziehbarkeit

Zu Beginn der Computermusik konnte man sich nicht vorstellen, wie mit Hilfe einer Maschine – des Computers – Musik erzeugt werden könne. Inzwischen verfügt der Großteil der Menschen selbst über eine oder mehrere dieser Maschinen und sind damit bestens vertraut. Vor allem die heutige Jugend ist mit Computern aufgewachsen und sieht sie als selbstverständlich an.

Auch heute noch ist für viele Menschen nicht nachvollziehbar, wie mittels elektrischer Ströme und Spannungen Musik erzeugt werden kann. Ebenso wissen viele aber auch nicht, wie der Klang eines Klaviers, einer Orgel oder einer Trompete zustande kommt bzw. wie die klassischen akustischen Instrumente funktionieren. Letztere werden einfach als gewöhnlich und bekannt angesehen und als gegeben hingenommen. Diesen Status nimmt nun auch der Computer mit all seinen Funktionen ein.

5.6. „mit Computermusik unzufrieden“

Viele Computermusiker beklagten sich darüber, dass sich zu viel Technik zwischen ihnen und dem erzeugten Sound befindet. Diese Technik gerät im Interface in den Hintergrund und kann vernachlässigt bzw. vergessen werden. Weiters muss das Instrument, um eine körperliche Ausstrahlung des Künstlers zu erreichen nicht direkt berührt werden. Somit stellt dies kein Hindernis dar, selbst wenn die Technik zwischen unserem Körper und der erzeugten Musik steht.

6. Schlussfolgerungen

Wie Kapitel 5 zeigt, lassen sich im Bereich des Ausdrucks, der Spielbarkeit, der Performance und weiterer Eigenschaften keine wirklichen Nachteile digitaler Instrumente gegenüber akustischen finden.

Warum aber stellt trotz all der Möglichkeiten, die einem heutige Interfaces bieten, das Fehlen von Körperlichkeit vielmals eine der ersten Assoziationen mit

Computermusik dar? Wie lässt sich dieses Gefühl des Disembodiments, wenn man an digitale Instrumente denkt, erklären? Um diese Frage zu beantworten, wird hier noch ein Vergleich zwischen akustischen und digitalen Instrumenten angestellt.

Im Zuge einer Studie im Jahr 2006 (vgl. Magnusson, Mendieta 2007) wurde eine Gruppe von 209 Leuten, bestehend aus Musikern, Komponisten, Ingenieuren, Künstlern und weiteren an Musik interessierten Menschen, über ihr Verhältnis zu akustischen und digitalen Instrumenten sowie zur Computermusik befragt. Ebenso sollten Erfahrungen geschildert werden. Dabei wurde der Begriff "digitales Instrument" nicht genauer definiert.

Ein Umfragepunkt, auf den ich nun näher eingehen möchte, behandelt die verschiedenen Qualitäten akustischer und digitaler Instrumente. Hierbei wurden die Teilnehmer nach den Vor- und Nachteilen der beiden Gruppen mit folgendem Ergebnis gefragt:

| Akustische Instrumente | |
|--|---|
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fühlbares Feedback • Begrenzung der Inspiration • Tradition/Geschichte, Herkunft • Musiker erreichen „Tiefe“ • Instrument als zweite menschliche Haut • Jedes Instrument ist einzigartig • Keine Latenz • Einfacher, seine Gefühle auszudrücken • Extrovertierter Zustand beim Spielen | <ul style="list-style-type: none"> • Geringes bzw. fehlendes Spektrum • Kein Korrigieren von Fehlern • Kein Speicher / keine Intelligenz • Anfällig für klischeehaftes Spielen • Zu viel Geschichte/Tradition; Altlast • Einschränkungen/Vorgaben beim Bau (keine Experimente) • unflexibel • Keine Mikrotonalität • Keine inharmonischen Spektren |

Tabelle 1: Vor- und Nachteile akustischer Instrumente (vgl. Magnusson, Mendieta 2007)

| Digitale Instrumente | |
|--|--|
| Vorteile | Nachteile |
| <ul style="list-style-type: none"> • Frei von musikalischer Tradition/Altlast • Experimentelle Erforschung • Beliebiger Sound und beliebiges Interface • Freiheit beim Mapping • Automatisierung, Speicher, Intelligenz • Gut, um damit zu komponieren • Einfacher (er)lernbar • Nicht so sehr auf tonale Musik begrenzt | <ul style="list-style-type: none"> • Fehlen der Substanz • Kein Vermächtnis oder keine Fortführung • Kein haptisches Feedback • Fehlen von Richtlinien • Disembodiment-Erfahrungen • Sklave der akustischen Geschichte • Imitat von akustischen Instrumenten • Eher introvertierter Zustand beim Spielen |

Tabelle 2: Vor- und Nachteile digitaler Instrumente (vgl. Magnusson, Mendieta 2007)

Eine Vielzahl der von den Teilnehmern angeführten Antworten lässt sich wie folgt begründen:

Akustische Instrumente gibt es schon seit jeher und somit hat man sich mit ihren Begrenzungen und auch mit den Instrumenten selbst abgefunden. Allerdings wird die Kreativität der Musiker dadurch gefördert, dass sie versuchen die Grenzen der Instrumente auszuloten und zu erkunden. Diese Beschränktheit hängt also vom Musiker, seinem jeweiligen Zustand und seiner Gefühlslage ab.

Man geht davon aus bzw. glaubt, dass akustische Instrumente für oder angepasst an den menschlichen Körper gebaut wurden. Diese Annahme ist falsch, denn die Hauptkriterien bei der Konstruktion klassischer akustischer Instrumente stellen die akustische Leistung oder Lautstärke und eine Stabilität der Intonation dar. Auch werden heutige akustische Instrumente nicht mehr

oder nur mehr geringfügig weiterentwickelt bzw. verändert. So hat man sich bereits an die bestehenden Formen und Funktionen gewöhnt.

Digitale Instrumente dagegen unterstehen einem ständigen Wandel und werden oft verbessert und geändert. Weiters wird ein Großteil dieser Instrumente für spezielle Zwecke entwickelt und genutzt und lässt sich in weiterer Folge individuell an den entsprechenden Musiker anpassen. Akustische Instrumente bieten diese Vielfalt und Möglichkeiten nicht, hier muss sich der Musiker an das Instrument anpassen. Als Nachteil der Individualität digitaler Instrumente kann das Fehlen einer Allgemeinheit, einer Basis gesehen werden. Auch beklagen viele Nutzer die ungewisse Fortführung von digitaler Software (keine neue Version, keine Updates, kein Support, nicht mit dem neuen Betriebssystem kompatibel).

Aufgrund all dieser Gründe weisen akustische Instrumente eine längere Lebensdauer auf und geben den Musikern somit mehr Zeit das Instrument zu erlernen, damit zu üben und es zu beherrschen. Je länger und besser man ein Instrument spielt, desto höher werden auch die Anforderungen an die Verkörperung, sprich das Embodiment bildet sich beim Üben und Erlernen aus. Bei digitalen Instrumenten ist es dagegen viel einfacher, durch verschiedene individuelle Mappings und Änderungen das Instrument an den Musiker anzupassen und somit das Embodiment zu erhöhen. Da dies eine geringere Arbeit in Anspruch nimmt und man sich deshalb weniger mit dem Instrument beschäftigt, leidet aber wiederum die Beziehung zwischen Instrument und Musiker (und somit auch das Embodiment). Das ideale digitale Instrument müsste demnach eine steile Lernkurve sowie viele (Entdeckungs-) Möglichkeiten bieten, um eine lange Lebensdauer zu gewährleisten.

Aufgrund der inzwischen großen Anzahl digitaler Instrumente wird auch vermehrt die Forderung nach Software und Instrumenten laut, welche nicht eine Vielzahl von nicht perfektionierter Möglichkeiten beherrschen sondern welche sich auf bestimmte Gebiete konzentrieren, diese aber zur vollsten Zufriedenheit ausfüllen und dadurch gewisse Grenzen setzen.

Viele Musiker aber experimentieren und „spielen“ viel lieber mit digitalen Instrumenten als dass sie auf akustischen Instrumenten üben. Andere wiederum sehen in den unendlichen Möglichkeiten, aber dem beschränkten Ausdrucksvermögen von akustischen Instrumenten ein Problem und arbeiten daher lieber mit eingeschränkter Software. Bei digitalen Instrumenten hängen die Möglichkeiten und eben jener Beschränkungen von der Software ab. Des Weiteren wird gern mit digitalen Instrumenten komponiert, da diese aufgrund ihrer fehlender Tradition/Geschichte nicht so sehr an Skalen und tonale Klischees gebunden sind.

Schlussendlich lässt sich sagen, dass sich digitale Instrumente dank des heutigen Stands der Technik mehr verkörpern lassen als je zuvor; dies nicht zuletzt dadurch, dass die von klassischen akustischen Instrumenten bekannten Formen des Embodiments bereits von ihren digitalen Nachfahren übernommen und verbessert wurden. Weiters wurden und werden immer wieder neue Wege beschritten, den Körper und die digitalen Instrumente und die damit verbundene Computermusik in Einklang zu bringen. Durch diese Forschung und die nicht stillstehende Entwicklung wird auf immer neue Arten und Methoden versucht den Körper und unser „Sein“ in die Produktion von Musik mit einzubeziehen. So können wir auch auf zukünftige Interfaces und Formen der Computermusik gespannt sein.

7. Literaturverzeichnis

Ostertag, Bob, 'Human Bodies, Computer Music', *Leonardo Music Journal* , vol. 12, 11-14 (2002).

Magnusson, Thor Mendieta, Enrike H., 'The Acoustic, the Digital and the Body: A Survey on Musical Instruments', in *NIME 2007 International Conference on New Interfaces for Musical Expression* , pp. 94-99 (New York, USA, 2007).

Paradiso, Joseph A., 'Electronic music: new ways to play', *IEEE Spectr.* , vol. 34, no. 12, 18-30 (1997).

Dobrian, Christopher Koppelman, Daniel, 'The 'E' in NIME: musical expression with new computer interfaces', in *NIME '06: Proceedings of the 2006 conference on New interfaces for musical expression* , pp. 277-282 (Paris, France, France: IRCAM - Centre Pompidou, 2006).

Paine, Garth, 'Gesture and Musical Interaction: Interactive Engagement Through Dynamic Morphology', in Nagashima, Yoichi Lyons, Michael J. eds., *NIME* , pp. 80-86 (Shizuoka University of Art and Culture, 2004).

Fels, S., 'Designing for intimacy: creating new interfaces for musical expression', *Proceedings of the IEEE* , vol. 92, no. 4, 672-685 (2004).

Taylor, Timothy D., *Strange sounds: music, technology & culture* (Routledge, 2001).

Haselwander, Philipp, *FRONT: a new musical interface* , Master's thesis , FH Joanneum IDE (2004).

Trueman, Dan Cook, Perry R., 'Bossa: The deconstructed violin reconstructed', in *Proceedings of the 1999 International Computer Music Conference* (San Francisco: International Computer Music Association, 1999).

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elisha Gray's Musical Telegraph (1876),

<http://120years.net/machines/telegraph/HARMON.jpg>, 06. Oktober 2009.

Abbildung 2: Ondes Martenot (1928),

http://4.bp.blogspot.com/NzHG4HjtdwI/Ru135qNy93I/AAAAAAAAANQ/50QBXC_Vppto/s400/ondes_Martenot.jpg, 06. Oktober 2009.

Abbildung 3: Electronic Sackbut (1948),

http://usuarios.lycos.es/audionautas/Audiografias/electronicsackbutprimerprototipo1945_48.jpg, 06. Oktober 2009.

Abbildung 4: MiniMoog (1970),

<http://www.muzoborudovanie.ru/equip/studio/synth/minimoog/pict/minimoog.jpg>, 06. Oktober 2009.

Abbildung 5: Thunder,

<http://www.buchla.com/historical/thunder/images/thunderpretty.jpeg>, 06. Oktober 2009.

Abbildung 6: BoSSa, <http://silvertone.princeton.edu/~dan/BoSSA/critterTall.gif>,

06. Oktober 2009.

Abbildung 7: Leon Theremin am Theremin,

http://www.137.com/theremin/leon_theremin300c.jpg, 06. Oktober 2009.