

Computerunterstützte harmonische Musikkomposition

STEFAN MOOSBAUER

MASTERARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

INTERACTIVE MEDIA

in Hagenberg

im Dezember 2012

© Copyright 2012 Stefan Moosbauer

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der *Creative Commons Lizenz Namensnennung–NichtKommerziell–KeineBearbeitung Österreich* (CC BY-NC-ND) veröffentlicht – siehe <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/>.

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hagenberg, am 3. Dezember 2012

Stefan Moosbauer

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	iii
Kurzfassung	vii
Abstract	viii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	3
2.1 Musik	3
2.1.1 Ton	3
2.1.2 Intervalle	4
2.1.3 Schwebung	4
2.1.4 Kritische Bandbreite	5
2.1.5 Konsonanz und Dissonanz	6
2.1.6 Tonleiter	7
2.1.7 Akkord	8
2.2 Farbe-Ton-Analogien	9
2.2.1 Farbklaviere	10
2.2.2 Klangfarbe zu Farbe	10
2.2.3 Ton zu Farbe	11
2.2.4 Intervall zu Farbe	11
2.2.5 Tonart zu Farbe	12
3 Verwandte Ansätze	14
3.1 Autoharp	15
3.2 Tronichord	15
3.3 Catanya	16
3.4 Tenori-on	17
3.5 Isomorphe Klaviaturen	18
3.5.1 Rechteckige Klaviaturen	19
3.5.2 Hexagonale Klaviaturen	20

3.6	HarmonyPad	20
3.7	Garageband Smart-Keyboard	22
4	Eigener Ansatz	26
4.1	Idee	26
4.1.1	Pattern	27
4.1.2	Klaviatur Harmoniespur	27
4.1.3	Klaviatur Melodiespur	27
4.1.4	Sequenzer	28
4.1.5	Farbmodell	28
4.2	Aufbau	28
4.3	Anforderungen	29
5	Implementierung	31
5.1	Allgemeine Architektur	31
5.2	Architektur Client	32
5.2.1	Modelle	33
5.2.2	Klasse Harmony	34
5.2.3	Klasse Transposition	37
5.2.4	Klasse Player	39
5.2.5	Klasse AClient	39
5.3	Interface	40
5.3.1	Produktionsumgebung	40
5.3.2	Klaviatur	41
5.3.3	Notensequenz	43
5.3.4	Notensequenz-Editor	44
5.3.5	Pattern	44
5.3.6	Sequenzer	45
5.3.7	Farbmodell	46
6	Evaluierung	48
6.1	Methodik	48
6.2	Testteilnehmer	49
6.3	Testablauf	49
6.4	Ergebnisse	49
6.4.1	Benutzeroberfläche	50
6.4.2	Tonabfolge	50
6.4.3	Motiv	51
6.4.4	Harmonie und Melodiekklaviatur	52
6.4.5	Multitouch	52
6.4.6	Farbzuordnung	53
6.4.7	Tastenanordnung	54
6.4.8	Pattern	54

Inhaltsverzeichnis	vi
7 Schlussbemerkungen	56
7.1 Zusammenfassung	56
7.2 Ausblick	56
A Inhalt der CD-ROM	58
A.1 Masterarbeit	58
A.2 Literatur	58
A.3 Projektdateien	58
Quellenverzeichnis	59
Literatur	59
Online-Quellen	61

Kurzfassung

Ein Instrument zu lernen, ist eine herausfordernde Aufgabe, welche lange Übung, hohe motorische Fähigkeiten und intensives Training abverlangt. Zwar haben viele Musiker die Fähigkeit, im Lesen und im Spielen von Noten gut zu sein, wenn aber von ihnen verlangt wird, zu improvisieren oder zu komponieren, treten oft scheinbar unlösbare Schwierigkeiten auf. Besonders das Ausdrücken der eigenen Gefühle ist jedoch in der Regel der Himmel eines jeden Musikers und ist hauptsächlich durch Improvisation und Komposition möglich. Neben dem Aufwand die erforderlichen Techniken zu erlernen, um Noten lesen und spielen zu können, ist es für den angehenden Musiker zusätzlich eine Herausforderung, sich die theoretischen Grundlagen der Musik und der Komposition zu erarbeiten. Eine Abhilfe stellt die Entwicklung musikalischer Instrumente dar, welche nicht nur einen direkten Zugang zu allen Tönen ermöglichen, sondern tonale Musikmodelle berücksichtigen und somit ungeübten und unerfahrenen Musikern einen einfacheren Zugang zur Improvisation und Komposition ermöglichen. Ein eigener Ansatz, ein neues Musikinstrument, welches ohne umfangreiche motorische Fähigkeiten oder musiktheoretischen Wissens gespielt werden kann, sich auf die Grundlagen der harmonischen Beziehungen der Töne stützt und in der Entwicklung eines Motivs behilflich sein soll, wird in dieser Arbeit vorgestellt.

Abstract

To learn an instrument is a challenging task, which demands long practice, high motor skills and intensive training. A lot of musicians are good in reading and playing notes but when it comes to improvising or composing, there are often insurmountable difficulties. Especially the expression of one's feelings is usually the desired goal of every musician and it is mainly made possible through improvisation and composition. In addition to the effort of learning the necessary techniques to be able to read and play notes, it is also a challenge for the musicians-to-be to develop the theoretical foundations of music and composition. A possible remedy is the development of musical instruments that allow not only direct access to all notes, but consider tonal music models and thus allow untrained and inexperienced musicians easier access to improvisation and composition. A separate approach, a new musical instrument that can be played without extensive motor skills or knowledge of music theory, which is based on the fundamentals of harmonic relations of sounds and which provides assistance in the development of a motif, is presented in this thesis.

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Ein Instrument zu erlernen, ist mit hohem Aufwand verbunden und wer nicht über ein naturgegebenes Talent verfügt, benötigt viel Übung und Geduld. Wer dann nicht nur bereits fertige Kompositionen nachspielen möchte, sondern selbst schöpferisch tätig werden will, neue Kompositionen erschaffen möchte, wird nicht herumkommen, sich näher mit der theoretischen Welt der Musiknoten auseinanderzusetzen.

Musikinstrumente können in der jeweiligen Gestaltung variieren, wie der Zugang zu den spielbaren Tönen ermöglicht wird. Eine Methode besteht darin, den direkten Zugriff auf jede Note in Form eines Gitters oder einer Skala bereitzustellen. So funktionieren Tasteninstrumente wie das Klavier, bei dem alle Noten von der tiefsten bis zur höchsten Tonhöhe in einer Reihe liegen. Diese Anordnung geht jedoch mit einer Reihe von Fragen einher: Welche Tasten können betätigt werden, um gut zusammenklingende Töne zu erzeugen? Wie kann eine musikalische Idee auf dem Instrument umgesetzt werden?

Viele Musiker sind sehr gut im Lesen und Spielen von Noten, aber wenn von ihnen verlangt wird, zu improvisieren oder zu komponieren, treten oft scheinbar unlösbare Schwierigkeiten auf. Aber besonders zum Ausdruck der eigenen Gefühle, hauptsächlich durch Improvisation und Komposition möglich, ist in der Regel der Himmel eines jeden Musikers. Aber warum gibt es so viele Menschen, die ein Instrument spielen können, aber nicht in der Lage sind, zu improvisieren und komponieren? In der ersten Zeit ist ein Musiker vor allem darauf konzentriert, die erforderlichen Techniken zu erlernen um in der Lage zu sein, Noten zu lesen und zu spielen. Neben dem Spielen des Instruments muss danach zusätzlich noch viel Aufwand in das Erlernen theoretischer Grundlagen der Musik und der Komposition gesetzt werden. Der Ausdruck der eigenen Gefühle während des Spiels und musikalische Artikulation braucht Praxis und eine Reihe von verschiedenen harmonischen

Bausteinen.

Eine Abhilfe ist die Entwicklung musikalischer Instrumente, die nicht nur einen direkten Zugang zu allen Tönen ermöglichen, sondern tonale Musikmodelle berücksichtigen und somit ungeübten und unerfahrenen Musikern einen einfacheren Zugang zur Improvisation und Komposition ermöglichen. Jedoch scheinen viele neue virtuelle Musikinstrumente noch sehr inspiriert von den traditionellen Instrumenten [9] zu sein, die durch ihre physische Bauart sehr eingeschränkt sind und die neuen Möglichkeiten, die ein Computer bieten kann, werden oft nicht genützt. Ziel dieser Arbeit ist es, eine neue Möglichkeit der Interaktion mit Musikinstrumenten zu finden und diese zu untersuchen. Improvisation und Ausdruck der eigenen Gefühle sollen nicht von den persönlichen motorischen Fähigkeiten des Musikers abhängen, ein musikalischer Anfänger sollte bereits in einem sehr frühen Stadium in der Lage sein, sich mit Tönen kreativ auszudrücken. Als Grundlage der Arbeit dient ein Prototyp, welcher jenen Personen, die sich musikalisch ausdrücken wollen, einen einfacheren Zugang zur Musikkomposition ermöglichen soll.

1.2 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit setzt sich aus insgesamt sieben Kapiteln zusammen. Nach diesem einleitenden Kapitel werden in Kapitel 2 die Grundlagen der Harmonielehre erläutert und eine Farb-Ton-Analogie diskutiert.

Das Kapitel 3 beschäftigt sich im Anschluss mit bereits vorhandenen Arbeiten zum Thema dieser Arbeit. Vom Autor ausgewählte Arbeiten aus dem Gebiet der neuen musikalischen Benutzerschnittstellen werden in einem kurzen Überblick dargestellt.

Nach den allgemeinen Ausführungen beschäftigt sich Kapitel 4 mit einem eigenen Lösungsansatz. Dieses Kapitel soll einen Einblick in die grundlegenden eigenen Überlegungen zum Thema dieser Arbeit geben. Ziel ist es, den Benutzer dabei zu unterstützen, Teile eines musikalischen Stückes auf Grundlage der harmonischen Musikkomposition, wie in Kapitel 2 beschrieben, zu entwickeln.

In Kapitel 5 wird die praktische Umsetzung des im vorhergehenden Kapitel theoretisch beschriebenen Lösungsansatzes erläutert. Im Zuge des Projektes für die Masterarbeit ist daraus ein erster Prototyp entstanden. Zunächst werden der allgemeine Aufbau und die eingesetzte Technologie dargestellt, danach werden der Client, wichtige Klassen und die Umsetzung des Interfaces genauer beschrieben.

Kapitel 6 widmet sich der Evaluierung des entwickelten Ansatzes. Hier werden Methodik und Ablauf der durchgeführten Benutzerbefragung erklärt, bevor die Auswertungsergebnisse dargestellt und diskutiert werden.

In Kapitel 7 erfolgt eine Zusammenfassung über die gesamte Arbeit und ein Ausblick über mögliche zukünftige Entwicklungen.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Musik

Weshalb klingen manche Töne miteinander gut und manche weniger gut? Sind diese Empfindungen nur subjektiv, rein durch Hören abendländischer Musik erlernt, oder stecken dahinter Prinzipien, die von allgemeiner Gültigkeit sind?

In diesem Kapitel soll veranschaulicht werden, dass es mathematisch begründet werden kann, weshalb wir Intervalle musikalisch als konsonant oder dissonant empfinden, weshalb die Tonleitern gerade so aufgebaut sind und weshalb im Laufe der Musikgeschichte die Oktave in genau zwölf Töne eingeteilt wurde.

2.1.1 Ton

Bereits die Pythagoreer experimentierten mit dem *Monochord* und variierten die Länge der unter konstanter Spannung stehenden Saite durch Einschieben eines Steges und beobachteten folgenden Effekt: Beim Halbieren der Saite ergab sich ein zum Grundton harmonischer Ton.

Wird die Saite gezupft, so schwingt diese Saite und erzeugt einen natürlichen Ton. Neben diesem Grundton schwingen auch noch weitere Obertöne mehr oder weniger zugleich mit. Die Saite schwingt mit einer bestimmten Frequenz, die Obertöne schwingen dabei mit einem Vielfachen der Frequenz des Grundtons (siehe Tab. 2.1 Ton 1). Wird die Saite des *Monochords* halbiert, so schwingt die Saite mit der doppelten Frequenz und entspricht dem ersten Oberton der Schwingung einer ganzen Saite. Ein Ton ist dadurch definiert, dass eine regelmäßige Schwingung vorliegt. Der einfachste Ton ist der Sinuston, welcher in der Natur aber nur sehr selten auftritt [21].

Werden mehrere Instrumente betrachtet, so fällt auf, dass ein Ton einer Gitarre anders klingt, als ein Orgelton oder ein Geigenton. Jedes Instrument besitzt seine eigene individuelle Klangfarbe. Die meisten klangerzeugenden physikalischen Systeme schwingen auf komplizierte unterschiedliche

Tabelle 2.1: Zwei Töne mit verschiedenen Grundtönen und ihren Obertönen.

	<i>Ton 1</i>	<i>Ton 2</i>
Grundfrequenz	440	880
1. Oberton	880	1760
2. Oberton	1320	1320
3. Oberton	1760	1760
4. Oberton	2200	4400

Weise. Jeder natürliche Gegenstand, der eine akustische Schwingung erzeugt, gibt ein individuelles Obertonspektrum frei. Werden die Obertöne zu einem Grundton unterschiedlich zusammengesetzt, ergibt sich daraus der spezifische Klang des Instrumentes. Der Klang eines Tones hängt aber nicht nur von seinen Obertönen ab, ebenso von großer Bedeutung sind die Lautstärke der Töne, der zeitliche Verlauf der Lautstärke und Frequenz der einzelnen Obertöne, sowie die auftretenden Nebengeräusche [21].

2.1.2 Intervalle

Der Abstand eines Tones zu einem anderen wird als Intervall bezeichnet. Erklängen die Töne in einem Intervall gleichzeitig, so wird von einem harmonischen Intervall gesprochen, erklingen sie nacheinander, so wird von einem melodischen Intervall gesprochen [13].

Werden zwei unterschiedliche Töne mit der Frequenz 440 Hz und 880 Hz erzeugt, so ergeben sich (auf ein vernünftiges Maß reduziert) die Obertöne wie in Tab. 2.1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Grundfrequenz des zweiten Tons der erste Oberton des ersten Tons ist und weitere Obertöne des ersten Tons in den Obertönen des zweiten Tons enthalten sind.

Durch diesen Effekt kommt es vor, dass Menschen in einem bestimmten harmonischen Intervall singen und sich im Glauben wägen, denselben Ton zu singen, ohne dabei zu bemerken, dass es sich um einen anderen Ton handelt [11].

2.1.3 Schwebung

Klingen zwei Töne gemeinsam, kann es auftreten, dass nicht zwei, sondern ein Ton wahrgenommen wird. Die Gründe für diese Wahrnehmung liegen vor allem in unseren Ohren und an dem nachgeschalteten neuronalen akustischen Analysesystem [21]. Werden zwei einfache Töne (Sinustöne) mit den Schwingungen 440 Hz und 880 Hz betrachtet, so können die Töne auch als ein Ton mit seiner ersten Oberschwingung interpretiert werden.

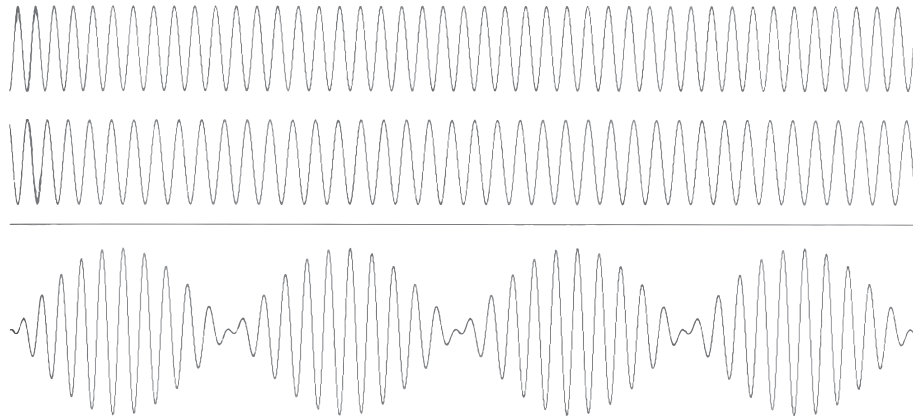


Abbildung 2.1: Überlagerung zweier reiner Töne. Durch Addition der beiden oberen Schwingungen ergibt sich die untere Schwingung [21].

Durch die begrenzte Auflösungsfähigkeit unserer Ohren tritt das Problem auf, zwei naheliegende Töne nicht als jeweils einen Einzelnen zu erkennen. Klingen zwei reine Sinustöne gleichzeitig, die mit ihren Frequenzen nahe beieinander liegen, so wird diese Überlagerung als ein einzelner Ton wahrgenommen, dessen Lautstärke pulsiert (siehe Abb. 2.1).

Wird der erste Ton $f_0 = 44\text{Hz}$ und der zweite $f_1 = 40\text{Hz}$ überlagert, so wird ein neuer Ton $f = 42\text{Hz}$ mit der Schwebungsfrequenz $\Delta f = 4\text{Hz}$ erzeugt. Der neue Ton erzeugt eine Schwebung mit der Schwebungsfrequenz

$$\Delta f = f_1 - f_0$$

und einen Ton mit der Frequenz

$$f = \frac{f_0 + f_1}{2}$$

, dessen Lautstärke mit der Schwebungsfrequenz Δf schwankt [17].

2.1.4 Kritische Bandbreite

Das Beispiel aus dem vorherigen Abschnitt ergibt einen wahrnehmbaren pulsierenden Ton. Wird der zweite Ton langsam in seiner Frequenz gesteigert, ergibt sich zunächst eine Schwebung, das Pulsieren der Lautstärke nimmt mit zunehmendem Tonabstand zu. Überschreitet der Abstand der Töne den Betrag von ca. 15 Hz, wird das Pulsieren nicht mehr wahrgenommen, sondern es tritt an der Stelle der Schwebung eine Rauigkeit auf, welche als unangenehm empfunden wird [21]. Überschreitet die Schwebungsfrequenz schließlich die kritische Bandbreite, werden zwei einzelne Töne wahrgenommen, die den Frequenzen f_0 und f_1 entsprechen (siehe Abb. 2.2). Die Rauigkeit nimmt so ab und beide Töne werden nicht mehr als unangenehm empfunden [19].

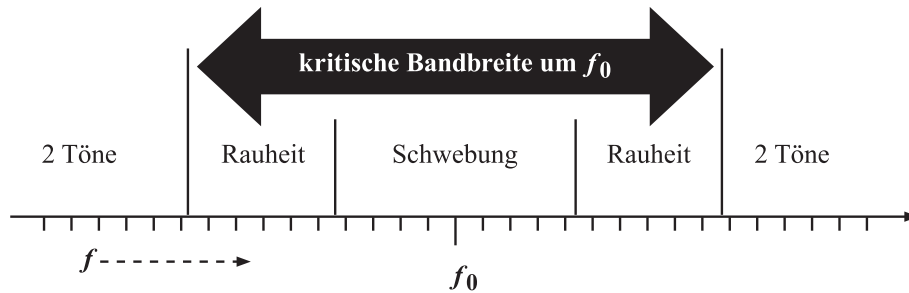


Abbildung 2.2: Kritische Bandbreite [21].

Der Bereich der kritischen Bandbreite ist abhängig von den Frequenzen der zwei klingenden Töne. Sie ist bei tiefen Tönen größer und bei Tönen ab etwa 1000 Hz nimmt sie linear mit deren Frequenz zu. Ihre Ursache liegt in der begrenzten Auflösungsfähigkeit des Hörsystems für unterschiedliche Frequenzen begründet [21].

2.1.5 Konsonanz und Dissonanz

Terhardt [22] führt die Rauigkeit als psychoakustische Grundlage für musikalische Konsonanz bei isoliert dargebotenen Klängen an und bezieht sich auf die Begriffe Dissonanz und Konsonanz von Helmholtz [5]:

Wenn zwei musikalische Klänge nebeneinander erklingen, ergeben sich im Allgemeinen Störungen ihres Zusammenklingens durch die Schwebungen, welche ihre Partialtöne miteinander hervorbringen, so dass ein größerer oder kleinerer Teil der Klangmasse in getrennte Tonstöße zerfällt und der Zusammenklang rau wird. Wir nennen dies Verhältnis Dissonanz.

Es gibt aber bestimmte Verhältnisse zwischen den Schwingungszahlen, bei denen eine Ausnahme von der Regel eintritt, wo entweder gar keine Schwebungen sich bilden, oder diese Schwebungen so schwach in das Ohr fallen, dass keine unangenehme Störung des Zusammenklingens veranlasst wird; wir nennen diese Ausnahmefälle Konsonanzen.

Helmholtz vertrat die Ansicht, dass sich Konsonanz und Dissonanz alleine aus dem Sachverhalt der Schwebung und der Obertöne ergeben. Die Überlegung ging zwar in die richtige Richtung, aber eine Schwebung kann jedoch auch gut klingen und erwünscht sein.

Wie bereits beschrieben, besteht ein natürlicher Ton aus der Grundfrequenz und den Obertönen. Klingen zwei derartige Töne gleichzeitig zusammen, so kommt es zu Überlagerungen, nicht nur der Grundfrequenzen, sondern auch der Obertöne. Wie im Beispiel in Abschn. 2.1.2 ersichtlich, sind

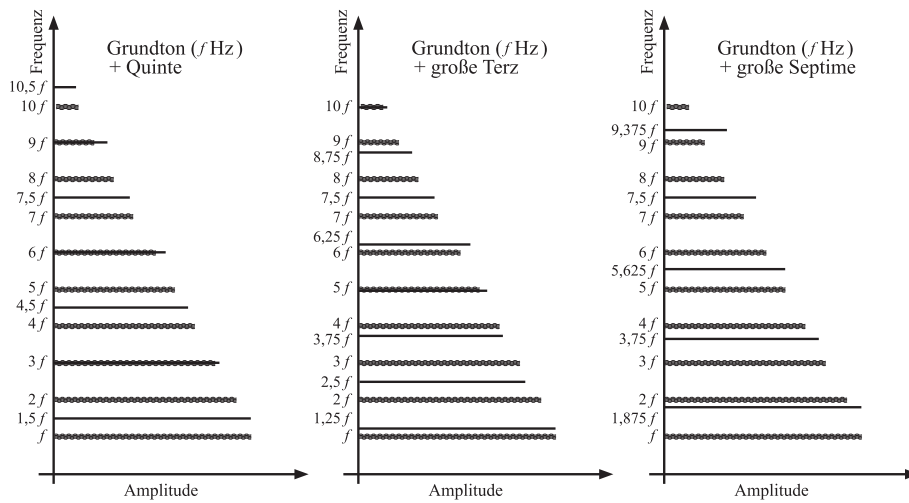


Abbildung 2.3: Schematische Darstellung der Obertöne zweier Töne in verschiedenen Abständen [21].

die Obertöne der zwei Töne fast identisch. Daher passen solche Töne gut zusammen. Klingen zwei Töne miteinander, dessen Obertöne ganz nahe beieinander liegen, entsteht eine Schwebung, die für das Harmonieempfinden nicht tragisch ist. Liegen die Töne so, dass sie weder die kritische Bandbreite überschreiten, noch in der Schwebung liegen, werden sie als rau und dissonant empfunden. Bei je mehr Obertönen dies der Fall ist, desto dissonanter klingen die beiden Töne zusammen (siehe Abb. 2.3) [21]. Durch die Bestimmung des Bereichs der Rauheit lässt sich die Dissonanz zweier natürlicher Töne auch mathematisch berechnen (siehe Abb. 2.4).

2.1.6 Tonleiter

Eine Tonleiter ist eine Ansammlung von Tönen, welche anhand der in den vorhandenen Obertönen harmonischen Schwingungen bestimmt werden können. Wird ein natürlicher Ton mit der Frequenz f bestimmt, so ist in diesem Ton der Oberton mit der Frequenz $2f$ enthalten. Dieser Oberton legt den zweiten Ton der Tonleiter fest. Die Töne f und $2f$ sind allerdings weit voneinander entfernt, weshalb weitere Töne dazwischen für die Tonleiter festgelegt werden. Der nächste Oberton des Tons f mit der Frequenz $3f$ liegt außerhalb der beiden Töne und wird deshalb halbiert (durch die Halbierung enthält der Ton in seinen Obertönen den ursprünglichen Ton).

Ausgehend von diesem Prinzip werden alle weiteren Töne der Tonleiter erzeugt. Nachdem der letzte Ton dieser Konstruktion nicht mit dem zweiten erzeugten Ton übereinstimmt (*pythagoräisches Komma*), ergibt diese Konstruktion keine vollkommen zufriedenstellende Tonleiter. Das Problem wird dadurch gelöst, dass alle Töne innerhalb der Tonleiter denselben Frequenz-

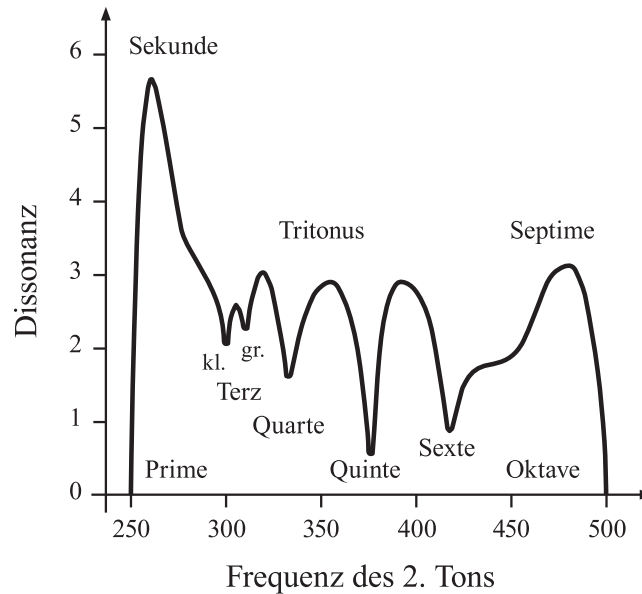


Abbildung 2.4: Berechnetes Ausmaß der Dissonanz zweier Töne [21].

abstand erhalten (siehe Tab. 2.2). Die temperierte Tonleiter teilt den Bereich zwischen den beiden ersten Tönen in zwölf gleiche Abschnitte. Damit ergibt sich das Frequenzverhältnis von $\sqrt[12]{2} : 1$ [4]. Durch diese Anpassung werden Intervalle aus der Tonleiter nicht mehr ganz rein getroffen, der Unterschied ist jedoch gering und wird durch den Effekt der Schwebung nicht unangenehm wahrgenommen.

Durch die Kombination der einzelnen Töne dieser Tonleiter ergeben sich unterschiedliche Intervalle. Manche Kombinationen bilden konsonante, manche dissonante Intervalle. Die Abstände der Töne der Dur-Tonleiter ergeben sich durch Auswahl bestimmter Töne der Tonleiter. Zusammen ergibt diese Auswahl 21 Intervalle, wovon acht dissonant und dreizehn konsonant sind. Würden andere Töne ausgewählt werden, ergäbe sich ein ungünstigeres Verhältnis konsonanter und dissonanter Intervalle. Ebenso ergeben auch die Moll-, die Pentatonische- (aus fünf Tönen) sowie die Blues-Tonleiter ein günstiges Verhältnis [12].

2.1.7 Akkord

Zwei Töne, die in einem Intervall miteinander klingen und sich harmonisch als konsonant oder dissonant deuten lassen, wurden bereits in Abschn. 2.1.2 besprochen. Erklängen gleichzeitig zwei oder mehrere unterschiedliche Töne, die sich harmonisch deuten lassen, so wird von einem Akkord gesprochen. Er-

Tabelle 2.2: Frequenzen der Töne einer reinen und gleichstufigen Stimmung.

<i>Ton</i>	<i>Reine</i>	<i>Gleichstufige</i>
1	264	261,6
2	281,6	277,2
3	297	293,7
4	316,8	311,1
5	330	329,6
6	352	349,2
7	371,25	370
8	396	392
9	422,4	415,3
10	440	440
11	475,2	466,2
12	495	493,9
13	528	523,3

klingen sie nacheinander, ist von einem Arpeggio die Rede. Akkorde werden durch die Verwendung von Tonarten, in ihrem Tonvorrat beschränkt.

2.2 Farbe-Ton-Analogien

Farbe-Ton-Analogien sind Zuordnungen von bestimmten Farben zu bestimmten Tönen. Die Analogien können sich dabei auf einen einzelnen Ton, einem Intervall oder einer Tonleiter zu einer Farbe beziehen. Im Laufe der Geschichte kamen viele verschiedene Ansätze aus philosophischer, naturwissenschaftlicher, kunst- und musiktheoretischer Hinsicht hervor. Abhängig vom Stand der Farbenlehre und Optik bzw. der Musiktheorie und Akustik wurden unterschiedlichste Verfahren für die Analogiebildung angewendet und das jeweils vorherrschende Weltverständnis für die theoretische Begründung herangezogen.

Isaac Newton hatte bereits 1704 in seinem Werk *Opticks* die Beziehung von Farbbreiten im Lichtspektrum und Tönen innerhalb einer Tonskala dargestellt [18]. Weitere bekannte Persönlichkeiten wie Aristoteles, Goethe oder Beethoven haben versucht, eine Korrelation von Tönen und Farben zu finden, aber ein übereinstimmendes System liegt bis heute nicht vor.

2.2.1 Farbklaviere

In [42] definiert Jörg Jewanski Farbklaviere wie folgt:

Ein Farblichtklavier ist eine meist an eine Tastatur gekoppelte Apparatur, mit der Musik visualisiert oder ein reines Farbenspiel als eigenständige Kunstform gezeigt werden kann.

Auf die Idee einer Apparatur, die als Musikvisualisierung Farben und Töne zeigen konnte, kam der Mathematiker Louis-Bertrand Castel im 18. Jahrhundert, der ein Farbenklavier (*Clavecin oculaire*) anvisierte [7]. Sein Farbklavier gab beim Drücken einer Taste eine entsprechende Farbe frei. Castel entwickelte dazu seine eigene Transformationstheorie, um Töne mit Farben zu verbinden [43]. Alle weiteren Farbenklaviere des 18. Jahrhunderts resultieren aus der Rezeption von Castels Ideen in Frankreich, Deutschland und England.

Im 19. Jahrhundert waren die Farbklaviere weniger durch ästhetische als vielmehr durch technische Fortschritte gekennzeichnet. Lichtstärkere Lampen ersetzten schwache Kerzen. William Schooling sprach 1893 von einem *Electrical-Colour-Organ*. Die Farbe-Ton-Analogie war bei denjenigen Instrumenten, die einzelne Töne und einzelne Farben koppelten, zumeist die gleiche, wie die Vorherrschende im 18. Jahrhundert [7].

Eine verstärkte Auseinandersetzung mit der *Synästhesie* seitens der Sinnesphysiologie im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts beflügelte die Entwicklung von Farbklavieren weiter. Durch die *spezielle Synästhesie* von Musik und Farbe wurde bei manchen Menschen ein unwillkürlich auftretender Sinneseindruck ausgelöst. Tonhöhen, Tonarten, Klangfarben, Intervalle oder allgemeine Musikstile fügten der vorhandenen akustischen Wahrnehmung eine zusätzliche Farbwahrnehmung hinzu. Dabei ist diese *Synästhesie* unidirektional, wobei Töne zwar Farben hervorrufen, jedoch Farben keine Töne erzeugen können. Einerseits wurde *Synästhesie* als weiterer Beleg für eine dem Menschen innewohnende Einheit von Farben und Tönen betrachtet, ergänzend zu physikalisch-mathematischen Analogien. Andererseits war sie symptomatisch für die Überwindung der Wissenschaftsdifferenzierung, vereinte Geistes- und Naturwissenschaft und stand für eine neue Synthese des Geistes [6].

Im Laufe der Zeit entwickelten sich verschiedene Zugänge und Modelle zu der Farbe-Ton-Analogien, welche im Folgenden erläutert werden.

2.2.2 Klangfarbe zu Farbe

Wassily Kandinsky, ein bedeutender russischer Maler des 20. Jahrhunderts, teilte Farben in warme und kalte bzw. helle und dunkle ein. Er versuchte, in Zusammenarbeit mit Arnold Schönberg, eine Farbe-Ton-Korrelation, basierend auf dem charakteristischen Klang der Instrumente zu finden. Kandinsky

ging von der *Synästhesie* aus und ordnete den Farben verschiedene andere Sinneseindrücke zu. Hohe Töne assoziierte er mit hellen Farben und tiefe Töne mit dunklen Farben [8]. Des Weiteren versuchte Kandinsky die emotionale Wirkung und die seelische Ausdrucksqualität der Farben in seine Farbe-Ton-Analogien einfließen zu lassen. Aufgrund dieser Annahmen entwickelte Kandinsky eine Farbskala, in der er die Farben mit der Lautstärke und der Tonhöhe korrelieren ließ.

2.2.3 Ton zu Farbe

Im 17. Jahrhundert führten die Versuche von Isaac Newton, der mit Hilfe von Prismen das Spektrum des Sonnenlichts entdeckte, zu einer fünfteiligen Farbskala: Rot, Gelb, Grün, Blau, Purpur. Um das Verhältnis dieser fünf Farben zueinander elegant und ausgeglichen zu gestalten, führte er zunächst Zwischenfarben ein: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett. Mit dieser Lösung schuf er eine Aufteilung der Farben ähnlich dem Tonsystem. In seiner Farbskala teilen die sieben Farben das Spektrum so auf, wie die sieben Töne die Tonleiter. Mit dieser Aufteilung postulierte er eine Ähnlichkeit zum Tonsystem, da die sieben Stufen seiner Farbskala das Spektrum so aufteilen würden, wie die sieben Töne eine Tonleiter. Daraus entstand die Schlussfolgerung, dass es eine Harmonie der Farben in Analogie zur Harmonie der Töne geben könne [41].

Roy De Maistre, ein australischer Maler, entwickelte eine Farbe-Ton-Skala, die auf Newtons Farbtheorien basiert. Auch er ordnet die Farben den sieben Tönen der Tonleiter zu, berücksichtigt aber die physikalische Wellenlänge einer Farbe, die er in Beziehung zur Frequenz eines Tones stellt. Ein tiefer Ton mit niedriger Frequenz wird einer Farbe mit langer Wellenlänge zugewiesen. Erstmals werden die physikalischen Phänomene von Licht und Ton vereinigt. De Maistre verglich seine Theorie mit den weißen Tasten eines Klaviers, beginnend bei Note A mit der Farbe Rot (ca. 700 nm) bis zur Note G mit der Farbe Violett (ca. 400 nm). Die schwarzen Tasten werden durch Mischfarben der umliegenden Tasten gebildet. Bei höheren Oktaven werden die Farben aufgehellt, bei tieferen abgedunkelt (siehe Abb. 2.5).

2.2.4 Intervall zu Farbe

Johannes Itten, ein schweizer Maler, Kunsttheoretiker und Kunstpädagoge am Bauhaus, versuchte mit dem österreichischen Komponisten Josef Matthias Hauer, dem Erfinder der Zwölftonmusik, die Beziehung zwischen Musik und Malerei zu konkretisieren. Anhand eines zwölfteiligen Farbe-Klang-Kreises können die Tonintervalle mit Farben assoziiert werden [1]. Nach Hauer sind Einzeltöne in der Natur nicht vorhanden, da jeder Ton eine Sammlung seiner Obertöne ist und somit die Klangfarbe darauf beruht, welcher Oberton stärker hervortritt. Das Resultat ist eine Zuordnung von Intervallen zu

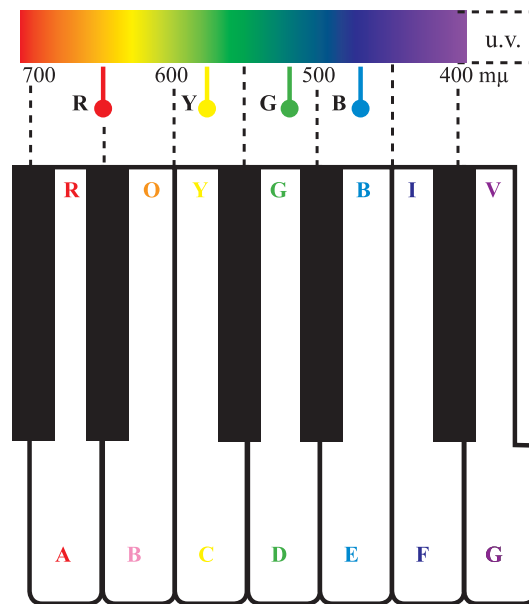


Abbildung 2.5: Farbe-Ton-Analogie nach De Maistre [24].

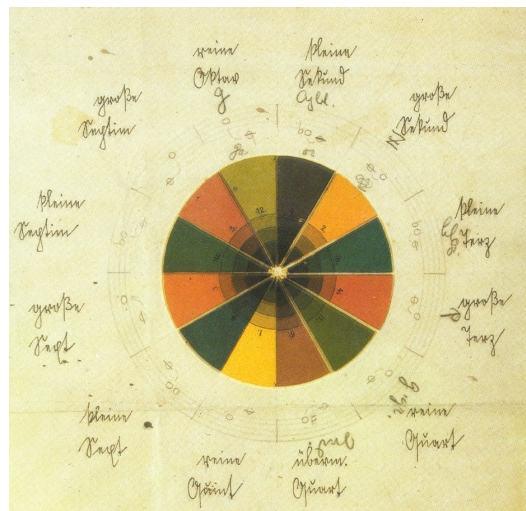


Abbildung 2.6: Farbe-Intervall-Analogie nach Itten [10].

Farben, wie in Abb. 2.6 dargestellt [43].

2.2.5 Tonart zu Farbe

Alexander Nikolaevitch Skriabin, ein Musiker, wollte mit seiner Komposition *Prometheus* die Synthese der Künste verwirklichen. Farbe war für ihn ein

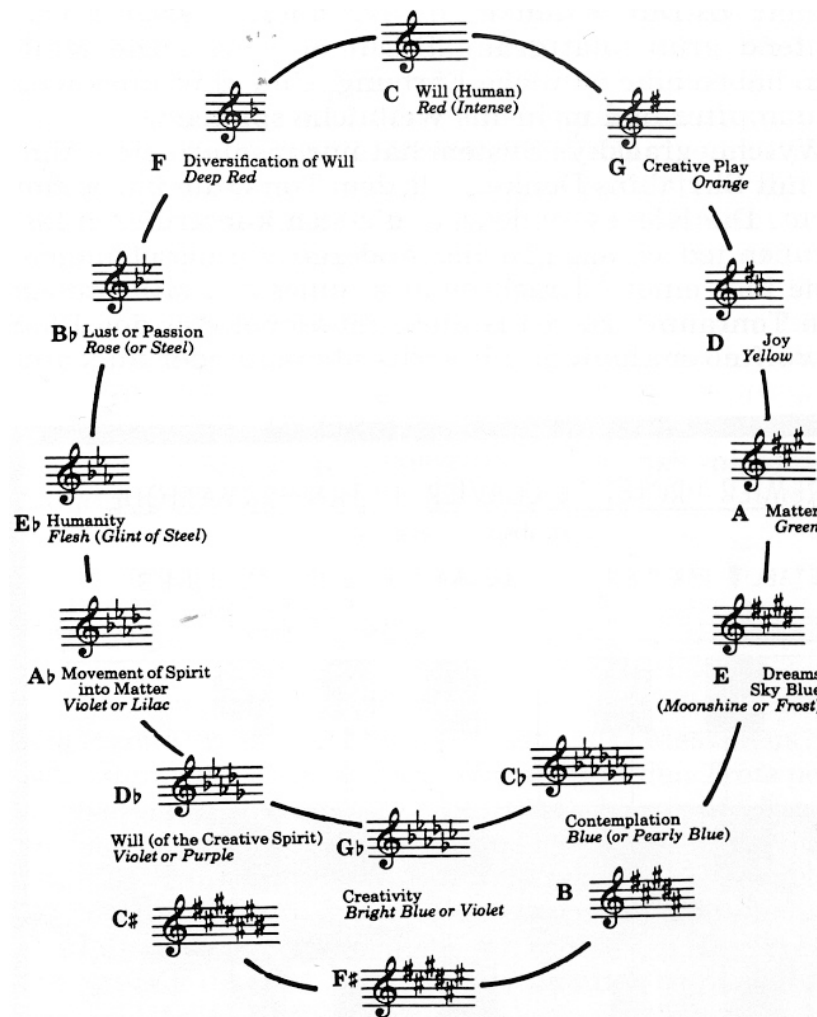


Abbildung 2.7: Farbe-Tonart-Analogie nach Skrjabin [25].

Mittel zur Intensitätssteigerung des Stückes. Für Skriabin selbst besitzt der Ton an sich keine Farbe, vielmehr wies er einer Tonart eine Farbe zu [10]. Die rote C-Dur-Tonart hat für ihn eine Beziehung zur Materie und duftet nach Erde, wohingegen die violette Fis-Tonart eine geistige Haltung einnimmt (siehe Abb. 2.7). Skriabin versuchte über die Töne Es und B auch infrarote und ultraviolette Farben in das Schema miteinzubeziehen, und versuchte so, seine theosophischen Interessen einfließen zu lassen.

Kapitel 3

Verwandte Ansätze

Die Beschreibung tonaler Musik mit geometrischen Modellen hat eine lange Tradition. Frühere Ansätze sind bereits ins 18. Jahrhundert auf Heinichen oder Kellner zurückzuführen. Einer der ersten grafischen Modelle von Beziehungen zwischen Tonarten wurde von Heinichen entwickelt. Er schlug mit seinem *musicalischer circul* vor, die Dur- und Moll-Tonleiter in einer kreisförmigen Anordnung darzustellen. David Kellner schlug eine alternative Anordnung vor, bei der die zwölf Dur- und zwölf Moll-Tonleiter auf konzentrischen Kreisen angeordnet werden. Jede Tonart wurde dabei vertikal mit seiner relativen Dur oder Moll ausgerichtet. Der Mathematiker Leonhard Euler hatte sich bereits im Jahr 1739 mit den mathematischen Zusammenhängen der Musik befasst und 1773 das Tonnetz aus Quinten und Terzen beschrieben [14]. Diese Modelle sind bis heute noch von großem Interesse.

Neuere Modelle kommen beispielsweise von Roger Shepard [20], der mehrere Helix-Modelle vorschlägt, die in erster Linie die Aspekte der Gleichwertigkeit der Oktaven oder die Nähe der Quinten beschreiben. Elaine Chew [2] schlägt einen sogenannten *Spiral Array* vor. Das Modell, von den harmonischen Netzwerken inspiriert, beschreibt eine geometrische Anordnung von Noten auf einer Spirale. Viele weitere Ideen existieren, um die tonalen Zusammenhänge und Strukturen zu beschreiben und zu visualisieren.

Die Entwicklung musikalischer Instrumente, die tonale Modelle berücksichtigen, gestaltet sich schwieriger, als die Entwicklung jener Instrumente, die einen direkten Zugang zu allen Tönen ermöglichen. Die neuen digitalen Möglichkeiten, die sich durch Computereinsatz in der Musik ergeben, haben die Entwicklung neuer Schnittstellen zu Instrumenten, welche die Aspekte der tonalen Musik berücksichtigen, weiter begünstigt. Spätestens seit dem Aufkommen der *MIDI*-Schnittstelle begann sich die Entwicklung nach und nach zu steigern, einhergehend mit einem ständig wachsenden Interesse in diesem Bereich. Als Zeichen für diese Tendenz begann im Jahr 2001 die jährliche Konferenz *New Interfaces for Musical Expression (NIME)*. Inzwischen sammeln mehr als 200 Forscher, Programmierer, Geigenbauer und Musiker

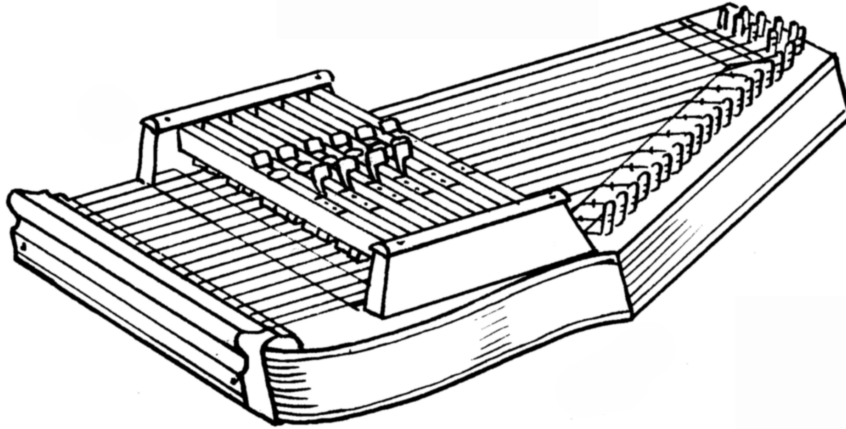


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung einer Autoharp [26].

aus der ganzen Welt ihr Wissen und ihre Arbeit und tauschen sich auf diesem Gebiet regelmäßig aus.

In diesem Kapitel wird ein Überblick über ausgewählte Projekte, die in einer Form tonale Modelle berücksichtigen und in einem engeren Zusammenhang mit der Entwicklung des Prototyps dieser Arbeit stehen, dargestellt.

3.1 Autoharp

Eine Umsetzung eines Modells einer tonalen Musik auf einem Instrument stellt das Instrument *Autoharp* dar. Die *Autoharp*, welche in Abb. 3.1 abgebildet ist, ist ein Saiteninstrument, hat einen Tonumfang von zwei bis vier Oktaven und besteht aus 36 oder 37 Saiten, welche mit einem Plektrum angeschlagen, mit den Fingern gezupft oder geschlagen werden können. Die freie Hand bedient mittels einer Klaviatur oder einer versetzt angeordneten Knopfmechanik ein System von Filzpuffern. Die Knopfbeschriftung orientiert sich am Quintenzirkel und wird mit Dur-, Moll- und Dominantseptakkorde belegt. Beim Anschlagen eines Akkords werden alle Saiten stummgeschaltet, außer jene, die für den Akkord benötigt werden [26]. Eine Akkordbegleitung wird durch dieses System dem Spieler in einer einfachen Form ermöglicht. Ebenso ist die Gestaltung einer Melodie einfacher möglich.

3.2 Tronichord

Einen ähnlichen Ansatz, wie die *Autoharp*, verfolgt das Instrument *Tronichord* bzw. *Portachord* (und ihre Nachfolger *Omnichord* und *Q-Chord*). Auf

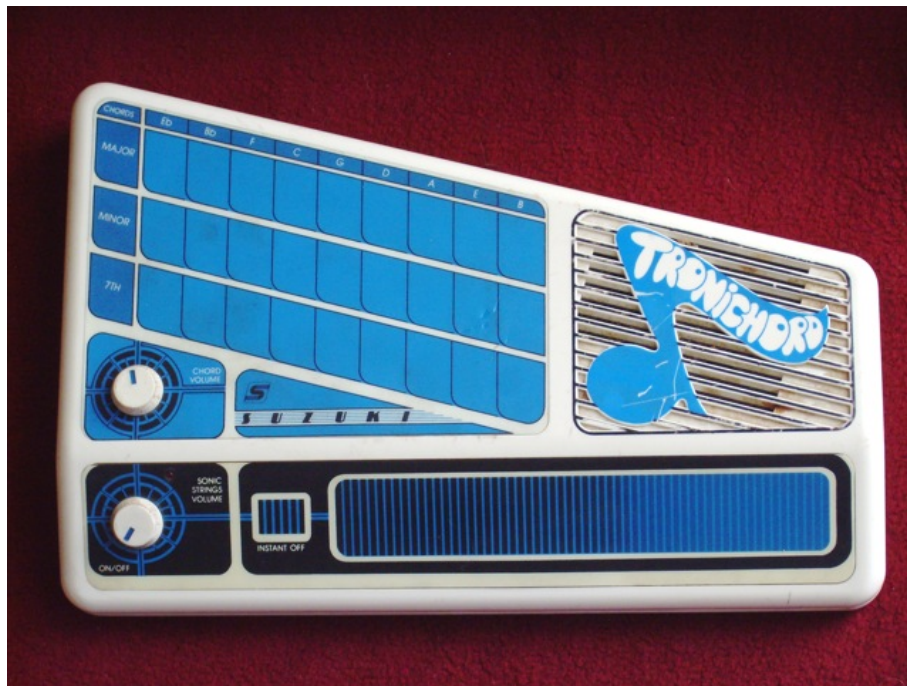


Abbildung 3.2: Tronichord [27].

dem *Tronichord*, welches in Abb. 3.2 dargestellt ist, sind in drei Reihen jeweils neun berührungsempfindliche Bereiche angebracht. Jede Spalte entspricht einer bestimmten Tonart, die Anordnung orientiert sich dabei am Quintenzirkel. Die Bedienung erfolgt durch Drücken von Tasten, welche Grundtöne oder Akkorde vorgeben und durch einen berührungsempfindlichen Sensor, welcher als *strumplate* bezeichnet wird. Dieser Sensor ermöglicht das Auslösen sowohl einzelner Töne als auch von mehreren Tönen, welche je nach gedrücktem Akkord aus dem Tonvorrat der zugehörigen Tonleiter stammen. Durch die spezifische Anordnung der Tasten und bestimmter Auswahl von spielbaren Tönen ergeben sich harmonische Tonsequenzen [27].

3.3 Catanya

Als Arpeggiator wird eine Funktion genannt, welche automatisch eine Notensequenz durch Eingabe eines Akkords erzeugt. Typisch für einen Arpeggiator ist, dass diese erzeugt Notenfolge sich auf den eingegeben Akkord bezieht und somit auch die Harmonie des Akkords übernimmt [28]. Arpeggiatoren werden sowohl in Instrumenten untergebracht, ebenso existieren sie als reine Software-Variante. Die erzeugten Noten sind meist als *MIDI*-Daten verfügbar und können in Sequenzer weiterverwendet werden. Ein Beispiel für einen Arpeggiator stellt das virtuelle Instrument *Catanya* von *7Aliens* dar. *Catan-*



Abbildung 3.3: Catanya Pattern-Editor [29].

ya konvertiert einfache Akkorde in komplexere Strukturen, welche mit einer Pattern-Technik festgelegt werden können. In einem Pattern-Editor (siehe Abb. 3.3) ist es möglich, einen Loop zu erstellen. Ähnlich wie bei einem Sequenzer können Noten in vorgegebenen Reihen eingetragen werden, dabei können die Noten in ihrer Position, Länge und Lautstärke variieren. Wird ein Akkord mit dem Pattern gespielt, passt *Catanya* die Noten des Akkordes den Noten des Patterns an. So entsteht eine harmonische komplexe Notensequenz aus einem einfachen Akkord [29].

3.4 Tenori-on

Einen anderen Ansatz wählt das Musikinstrument *Tenori-On*, das in Zusammenarbeit von dem Medienkünstler Toshio Iwai und YAMAHA 2007 entwickelt wurde. Das Instrument, welches in Abb. 3.4 abgebildet ist, besteht aus einer 16×16 Matrix aus *LED*-Schaltflächen, umhüllt von einem Magnesiumrahmen. Im oberen Rahmenteil sind zwei Lautsprecher angebracht und ein Schalter, welcher als Löschfunktion dient. Auf dem linken und rechten Rahmenteil befinden sich jeweils fünf Schalter. Im unteren Rahmenteil ist ein LCD-Display angebracht, zwei Tasten und ein Rad, mit denen das Menü bedient werden kann [16].

Im Rahmen ist von unten nach oben in einer Spalte jeder *LED*-Schaltfläche eine Tonhöhe zugeordnet, welche durch einen Druck aktiviert werden



Abbildung 3.4: Das Tenori-on [30].

können und zu leuchten beginnen. Die horizontale Achse stellt die Zeitachse dar und die vertikale die 16 verschiedenen Tonhöhen. Ein Scanner durchläuft die Matrix von links nach rechts und spielt jene *LED*-Schaltflächen ab, die aktiviert wurden. Wenn der Scanner die rechte Seite erreicht, springt er an den Anfang zurück und fängt von vorne wieder an. Einzelne Loops können als Ebene gespeichert werden und gemeinsam abgespielt werden. Über eine *MIDI*-Schnittstelle können Daten mit anderen *MIDI*-fähigen Geräten ausgetauscht werden [30, 31, 16].

Das *Tenori-On* ist sowohl für die Erstellung einer Drumline gedacht, als auch zur Erstellung einer Melodie. Durch unterschiedliche Effekte, durch die Verbindung der verschiedenen virtuellen Matrix-Ebenen können verschiedene kurze Tonsequenzen erzeugt werden. Die Verwendung der Pentatonik unterstützt dabei den Musiker, unharmonische Tonkombinationen zu vermeiden.

3.5 Isomorphe Klaviaturen

Eine weitere vereinfachte Eingabeform bilden isomorphe Klaviaturen. Isomorphie auf Musikinstrumente übertragen, bedeutet, dass jede Interaktion mit dem Instrument dieselbe Eingabeform aufweist. Auf einer standardmäßigen Klavier-Klaviatur haben Intervalle und Akkorde verschieden Formen in verschiedenen Tonarten. Zum Beispiel ist die geometrische Form eines C-E-Intervalls anders als ein D-F-Intervall. Ebenso unterscheidet sich jede Dur-Tonleiter in ihrer Form auf der Klaviatur. Abhilfe können hier die isomorphen Klaviaturen schaffen, wovon zwei verschiedene Arten im Folgenden beschrieben werden.

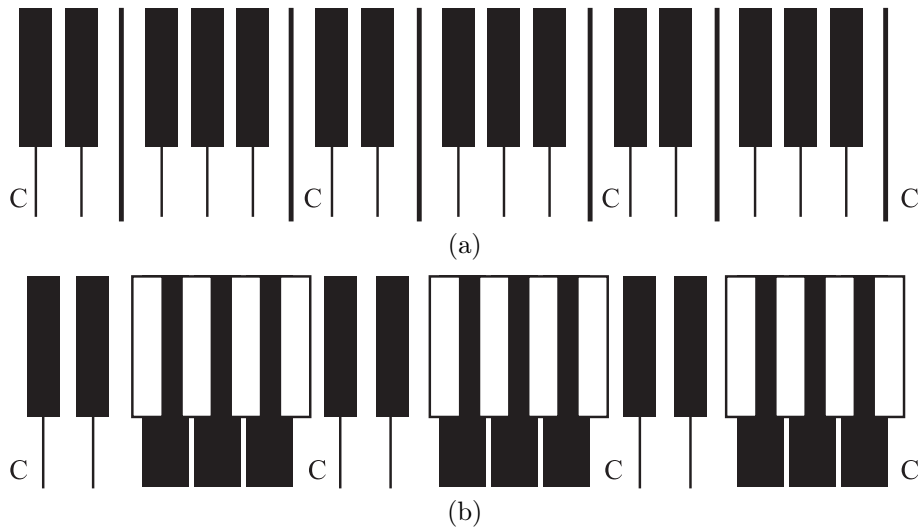


Abbildung 3.5: Die Standard Klavier-Klaviatur (a) und die Balanced-Keyboard-Klaviatur (b) [32].

3.5.1 Rechteckige Klaviaturen

Isomorphe rechteckige Klaviaturen bestehen aus einer Anordnung von Elementen für die Steuerung von Noten, auf denen jede Tonleiter und/oder Kombination von Intervallen die gleiche Form hat [15].

Ein Beispiel für eine isomorphe rechteckige Klaviatur ist das *Balanced-Keyboard-Layout*. Das *Balanced-Keyboard* ist eine leicht modifizierte Version der standardmäßigen Klavier-Klaviatur (siehe Abb. 3.5). Der Unterschied liegt hauptsächlich in der unteren Reihe. Das *Balanced-Keyboard* hat sechs untere Tasten innerhalb einer Oktave anstatt sieben, wie bei der standardmäßigen Klavier-Klaviatur. Die Notenanzordnung beginnt bei der weißen unteren Taste und entspricht folgender Reihung:

$$C, C\sharp D\flat, D, D\sharp E\flat, E, F, F\sharp G\flat, G, G\sharp A\flat, A, A\sharp B\flat, B, C$$

Durch diese Reihung ist eine Konsistenz der geometrischen Form von Akkorden, Tonleiter auf der Klaviatur möglich, ungeachtet bei welcher Taste angefangen wird zu spielen (siehe Abb. 3.6).

Isomorphe rechteckige Klaviaturen sind nicht sehr verbreitet und treten hauptsächlich in Form von *MIDI-Controller* in Erscheinung, meistens als *Drum-Machine*, welche aber vorrangig für die Rhythmusgenerierung eingesetzt werden, als für die Harmonie- und Melodieerstellung.

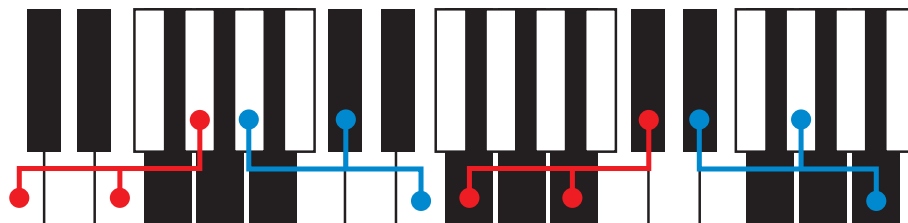


Abbildung 3.6: $C-$, $A-$, $F\sharp-$, $D\sharp-$ -Dur-Dreiklänge auf dem Balanced-Keyboard [32].

3.5.2 Hexagonale Klaviaturen

Klaviaturen mit einer hexagonalen Anordnung der Tasten scheinen größere Beliebtheit gefunden zu haben. Die ersten Klaviaturen dieser Form stammen von, im frühen 19. Jahrhundert entwickelten, verbreiteten Akkordeon bzw. Ziehharmonika. Das Akkordeon verwendet ein Raster von kreisförmigen Tasten, die auf einem hexagonalen Gitter angeordnet sind [15]. Heute gibt es mehrere hexagonale Klaviaturen, sowohl als Hardware als auch als Software implementiert. Beispiele hierfür sind, wie in Abb. 3.7 dargestellt, das *Opal Chameleon*, der *C-Thru Music's AXiS MIDI controllers* [33] oder das *Reactogon* [34].

Für die hexagonale Tastenanordnung existieren eine Vielzahl verschiedener Muster für Akkorde und Tonleiter. Ein Beispiel ist das *Harmonic-Table-Layout* (siehe Abb. 3.8). Das Layout ist speziell ausgerichtet zum Spielen von Akkorden. Die Noten sind in einem Dreieck angeordnet, ein C-E-G Dreiklang kann mit der Ausgangstaste C, der rechten oberen Taste E und der darüber liegenden Taste G gebildet werden (siehe Abb. 3.9). Auch alle anderen Dur-Dreiklänge können nach demselben Prinzip konstruiert werden (Beispiel G-B-D) [23]. Einen Moll-Dreiklang aufzubauen, ist durch folgende Tastenkombination möglich: Beginnend bei der Ausgangstaste C, der linken oberen Taste Eb und der darüber liegenden Taste G (siehe Abb. 3.9). Für die Dur- und Moll-Tonleiter ist das Muster wie in Abb. 3.9 gültig.

3.6 HarmonyPad

Nach [3] bestehen tonale Musikinstrumente aus drei Komponenten: Das Ton-system, die Tonauswahl und der Benutzeroberfläche.

Das Tonsystem definiert eine geometrische Anordnung von Tönen. Aspekte der Ordnung sind z.B. Konsonanz und Dissonanz. Die Tonauswahl besteht aus einer Untergruppe von Tönen eines gegebenen Tonsystems und umfasste jene Töne, die gespielt werden können. Töne, die musikalisch zusammengehören, geometrisch in Nähe zu positionieren und durch einfache geformte Bereiche eine Affinität zu signalisieren, ermöglichen eine einfachere Auswahl



Abbildung 3.7: Verschiedene Implementierungen einer hexagonalen Klaviatur. *C-Thru Music's AXiS-64 pro MIDI controller* (a), *Opal Chameleon* (b) [35, 36].

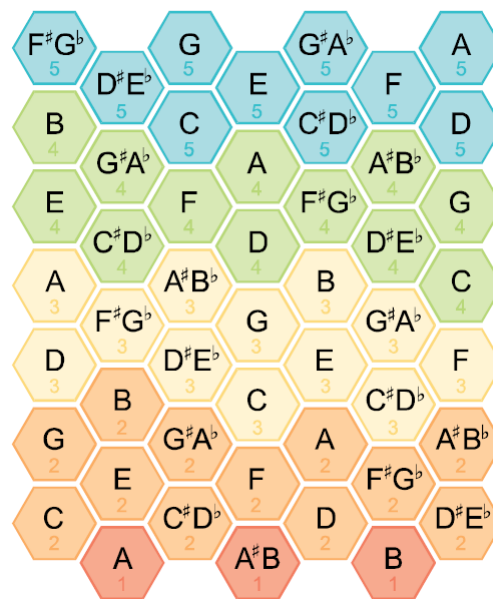


Abbildung 3.8: Hexagonales isomorphes Layout [23].

sinnvoller Tonkombination. Die ausgewählten Bereiche können dadurch auch einfacher Transformatiert werden. Die Benutzeroberfläche ist das Mittel mit dem der Musiker die Parameter des Tonsystems und die Parameter der Tonauswahl steuern kann. Des Weiteren legt die Benutzeroberfläche fest, wie das Tonsystem und die Tonauswahl dem Benutzer präsentiert werden.

Ein Beispiel für die Umsetzung eines Modells für tonale Musik stellt das *HarmonyPad* dar. Das *HarmonyPad* besteht aus zwei Tonsystemen, ein Tonsystem bestimmt die Tonart, das andere Tonsystem die dazugehörige

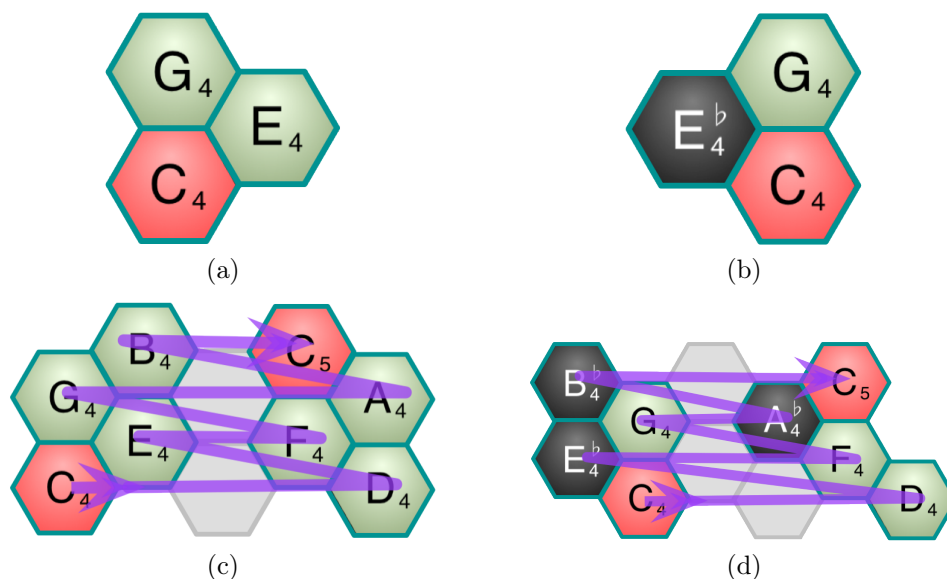


Abbildung 3.9: Mögliche Muster für Dreiklang und Tonleiter: C-Dur Dreiklang (a), C-Moll Dreiklang (b), C-Dur Tonleiter (c) und C-Moll Tonleiter (d) [37].

Tonleiter. Die beiden Tonsysteme sind auf einem Kreis angeordnet (siehe Abb. 3.10). Das erste Tonsystem, welches am äußeren Kreis angeordnet ist, stützt sich auf den Quintenzirkel. Tonleiter mit vielen gleichen Tönen liegen nebeneinander, Tonleiter mit wenig gleichen Tönen liegen weiter auseinander. Der äußere Kreis besteht aus zwölf Punkten, wobei jeder Punkt eine der zwölf Dur-Tonarten und die parallele Moll-Tonart repräsentiert.

Der innere Kreis stellt das zweite Tonsystem dar, welches sich nach der ausgewählten Tonart ändert und jene Töne dieser Tonleiter enthält. Wird beispielsweise eine C-Dur ausgewählt, so enthält der innere Kreis sieben Punkte mit den Noten d, F, a, C, e, G und b. Die Ordnung der Punkte des inneren Kreises ist so gewählt, dass drei benachbarte Noten einen Dur- oder Moll-Dreiklang bilden. Durch schrittweiser Auswahl mehrerer benachbarter Noten kann ein Akkord erzeugt werden (siehe Abb. 3.11 (a)). Durch Verschieben des Winkels der ausgewählten Noten des Akkords kann eine Akkordfolge gespielt werden (siehe Abb. 3.11 (b)). Je kleiner der Radius des inneren Kreises ist, desto tiefer sind die Töne, daher kann die Höhe eines Akkordes anhand des Radius bestimmt werden (siehe Abb. 3.11 (b)).

3.7 Garageband Smart-Keyboard

Einen ähnlichen Ansatz, wie das *HarmonyPad* verfolgt, bietet *Apple* mit dem *Smart Keyboard*, welches in *GarageBand* integriert ist. *GarageBand* ist

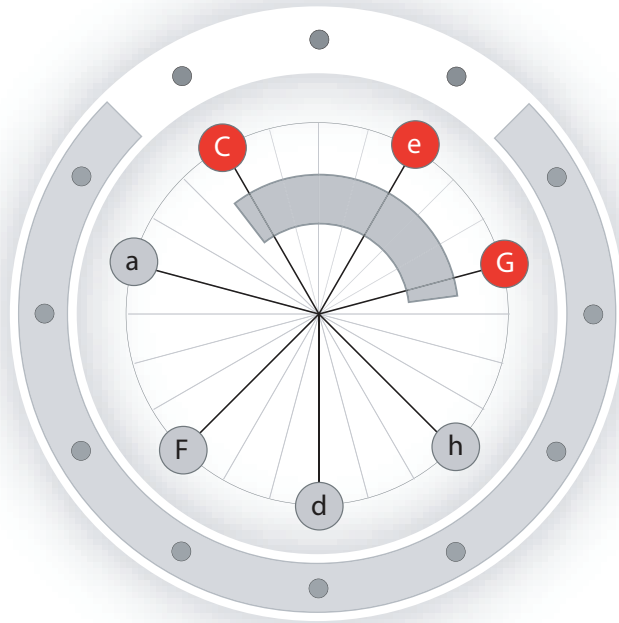


Abbildung 3.10: Schematische Darstellung des *Harmonypad* [3].

ein Programm zur Produktion von Musik und steht mit jeweils einer Version für die Plattformen *Mac OSX* und *IOS* zur Verfügung und soll eine Gesamtlösung darstellen. Zur Produktion von eigenen Stücken soll das Programm einen einfachen und schnellen Zugang mittels *Touch Instrumente* für Keyboard, Gitarre, Bass, Schlagzeug, einen Sampler und mehr bereitstellen. Besonders interessant sind die *intelligenteren* Instrumente, so genannte *Smart Instruments*. Jedes *Touch Instrument* verfügt über einen Spielbereich und einen Steuerbereich. Melodien, Akkorde und Töne können durch Berühren von Tasten, Saiten oder anderen Elementen im Spielbereich gespielt werden. Über die *MIDI*-Schnittstelle können die erzeugten Musikstücke weiter verwendet werden [38].

Eine Weiterentwicklung des Pianos stellt das *Smart Keyboard* dar. Mit dem Instrument können Akkorde, Bassnoten sowie *Comping-Muster* durch Tippen auf die Akkordstreifen gespielt werden. Im oberen Teil des Interfaces können u.a. unterschiedliche Keyboard-Sounds ausgewählt und Keyboard-Effekte angepasst werden. Die Akkordstreifen, mit denen gespielt werden kann, sind in acht Spalten nebeneinander angeordnet. Jeder Streifen ist in

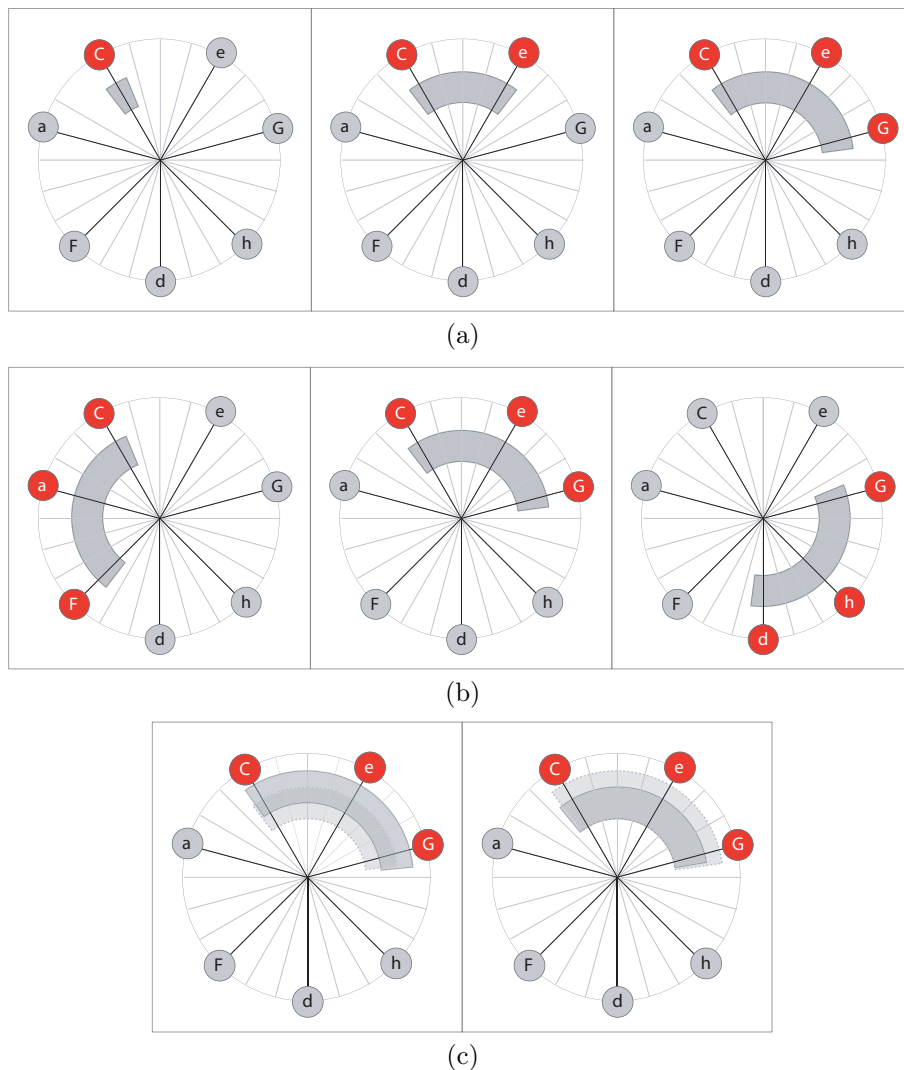


Abbildung 3.11: Schematische Darstellungen des *HarmonyPad*. Auswahl eines Akkords (a), Transformation eines Akkords zu einem anderen Akkord (b), Änderung der Höhe eines Akkords (c) [3].

zwei Segmente unterteilt: Im oberen Segment werden durch Antippen die Akkorde höher oder tiefer abgespielt. Im unteren Segment werden Basstöne abgespielt.

Um ein *Comping-Muster* zu spielen, ist es nötig den Knopf *Auto-Start* auf eine der nummerierten Positionen zu stellen. In den oberen Segmenten der Tasten, die die Akkordnamen anzeigen, spielen Akkorde und Bassnoten zusammen. Die mittleren Segmente spielen nur Akkorde. Durch Tippen mit zwei oder drei Fingern werden Variationen des Musters abgespielt. Die



Abbildung 3.12: *GarageBand Smart-Keyboard* auf dem *iPad* und *iPhone* [39].

unteren Segmente spielen nur Bassnoten.

Des Weiteren umfasst das *Smart Keyboard* einen *Arpeggiator*. Wenn der *Arpeggiator* aktiviert wird, werden die einzelnen Töne der gespielten Akkorde nacheinander gespielt und nicht gleichzeitig. Nach dem Aktivieren des *Arpeggiators*, ist es möglich, Richtung, Notenwert und Bereich der Noten festzulegen, welche als *Arpeggio* gespielt werden sollen [38].

Kapitel 4

Eigener Ansatz

Dieses Kapitel soll einen Einblick in die grundlegenden eigenen Überlegungen zum Thema geben. Ziel ist es, den Benutzer dabei zu unterstützen, Teile eines musikalischen Stückes auf Grundlage der harmonischen Musikkomposition, wie in Abschn. 2.1 beschrieben, zu entwickeln. Im Vordergrund der eigenen Überlegungen steht nicht eine Hilfestellung für das Erlernen eines Instrumentes oder ein bereits vorhandenes musikalisches Stück zu spielen, sondern eine für den Benutzer einfache Interaktionsmöglichkeit zwischen ihm und einem Musikinstrument, um bei der Entwicklung einer musikalischen Komposition behilflich zu sein.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist, eine bestmögliche harmonische Tonabfolge unter Beachtung der persönlichen Kreativität des Benutzers zu ermöglichen. Die eingegeben Notensequenz soll von möglichst hoher Qualität überzeugen, wobei Qualität in diesem Zusammenhang bedeutet, eine Tonabfolge zu kreieren, die sich nicht nach einer computergenerierten Sequenz anhört, sondern nach einer von Menschenhand erzeugten.

4.1 Idee

Der eigene Ansatz orientiert sich grundsätzlich an dem Prinzip der Reduktion sowie der Einfachheit einer Formidee (die jedoch in der weiteren Verwendung an Komplexität zunehmen kann). Im Zentrum steht das Motiv, welches hier als die kleinste sinntragende musikalische Einheit verstanden wird. Ein Motiv besteht aus einer Harmoniefolge (Akkorden und/oder *Arpeggio*) und gegebenenfalls einer Melodie. Eine zentrale Anforderung an den Prototypen stellte die Entwicklung eines Motivs für eine weiterführende Komposition dar. Sowohl die Ausarbeitung einer eigenen Idee als auch eine spielerische, kreative Auseinandersetzung mit dem Instrument soll ermöglicht werden.

4.1.1 Pattern

Ein wichtiger Bestandteil im eigenen Ansatz stellt das Pattern dar. Durch ein Beispiel soll verdeutlicht werden, was unter dem Begriff genau verstanden wird.

Eine typische Harmoniefolge kann aus acht Dreiklängen in vier verschiedenen Tonarten bestehen. Jeder Takt besteht aus zwei Dreiklängen derselben Tonart, im ersten Takt sind zwei C-Dur-Akkorde, im zweiten Takt zwei e-Moll-Akkorde, im dritten Takt zwei a-Moll-Akkorde und im vierten Takt zwei F-Dur-Akkorde. Eine einfache Variation wäre die Folgende: Ein Takt ist unterteilt in vier Teile, auf den Grundton des Dreiklänges folgt der Dreiklang, die Abfolge wird vier Mal wiederholt. Bei einem *Arpeggio* werden die einzelnen Töne eines Dreiklänges nicht gleichzeitig gespielt, sondern nacheinander. Was dadurch ersichtlich wird, sind sich wiederholende Akkorde, jeweils in einer anderen Tonart. Die einzelnen Teile der Harmoniefolgen haben dasselbe Muster als Grundlage. Sie folgen diesem Muster und werden in eine andere Tonart transponiert. Dieses Muster wird im Zuge dieser Arbeit als Pattern bezeichnet. Ein Pattern alleine wäre nicht abspielbar, erst wenn es einer Tonart zugewiesen wird, kann es abgespielt werden.

4.1.2 Klaviatur Harmoniespur

Um ein Pattern abspielen zu können, ist eine Tonart notwendig, welche auf das Pattern angewendet werden soll. Zur Bestimmung einer Tonart für ein Pattern wird eine Klaviatur eingesetzt, welche aus in einer horizontalen Reihe nebeneinander angeordneten Tasten besteht. Jede Taste repräsentiert dabei eine der Taste zugeordneten Tonart. Jene Tasten, die an eine bestimmte Taste angrenzen, repräsentieren die Tonarten, die harmonisch am besten zu dieser Tonart der Taste passen. Des Weiteren sind die Tasten vertikal in zwei Hälften unterteilt, oben befinden sich die Tasten für Dur- und unten jene für die Moll-Tonarten. Auch eine farbliche Darstellung der Tasten soll neben der einfacheren Orientierung für den Benutzer auch eine Ähnlichkeit der harmonischen Tonarten anzeigen.

4.1.3 Klaviatur Melodiespur

Neben dem wichtigen Bestandteil einer Harmoniefolge eines Motivs, welche durch Auswahl einer Tonart und dessen Anwendung auf ein Pattern bestimmt wird, soll es auch möglich sein, eine dazu passende Melodie einzuspielen. Welche Noten harmonisch zu der Harmoniefolge und zu der bereits eingespielten Melodie passen, wird durch eine dafür vorgesehenen Klaviatur, auf der Vorschläge für passende Noten angezeigt werden, ermöglicht.

4.1.4 Sequenzer

Um neben der akustischen Ausgabe auch einen visuellen Überblick über das erstellte Motiv zu erhalten, werden in einem Sequenzer die eingespielten Patterns und die Melodiesequenz angezeigt. Mehrere Spuren, sowohl für Melodie als auch für die Harmoniefolge, sind in dem Sequenzer untergebracht. Durch Betätigung einer Taste auf der Harmonieklaviatur wird das aktivierte Pattern in der der Taste zugeordneten Tonart abgespielt und zur aktuellen Position hinzugefügt.

4.1.5 Farbmodell

Um dem Benutzer noch eine weitere Hilfestellung bei der Entwicklung eines Motivs zu geben, ist neben dem akustischen Feedback auch eine Farbe-Ton-Analogie gedacht. Wie in Abschn. 2.2 bereits besprochen, haben sich verschiedene Farb-Ton-Analogien, welche unterschiedliche Zugänge verfolgen, bis heute entwickelt. Ein allgemein gültiges Modell ist jedoch nicht vorhanden. Ein eigener Ansatz für ein Farbmodell orientiert sich, wie auch schon Newtons und Roy De Maistres in ihrem Modell beschreiben (siehe Abschn. 2.2.3), an der Wellenlänge des Lichts und der Frequenz der Töne und stellt eine Affinität zwischen denen her. Die Analogie erfolgt nicht über eine Zuweisung von einer Farbe zu einem Ton, sondern zu einer Tonart.

Jene Tonleiter, welche in ihrem Tonvorrat sich am ähnlichsten sind, liegen auf der Harmonieklaviatur nebeneinander. Da sich dieser Tonvorrat bei dem Übergang von einer Tonleiter in eine benachbarte nur minimal ändert, ist auch eine minimale farbliche Änderung gedacht. Die Farben in der Anordnung Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett werden auf die Tonleiter aufgeteilt, so entsteht nicht nur ein akustisch fließender Übergang sondern auch ein farblicher. Je höher die Grundtöne der Tonarten sind, desto heller werden die Farben. Der Unterschied zwischen Tonalität (z.B. Dur und Moll) äußert sich in der farblichen Gestaltung im Grad der Sättigung, Moll wird farblich weniger gesättigt dargestellt als Dur.

Die Farbe des Patterns entspricht der Farbe der ausgewählten Tonart. Ein noch nicht einer Tonart zugewiesener Pattern wird in einem Grauton dargestellt. Die Noten der Melodie entsprechen jeweils der Farbe der Tonart, in der sie gespielt werden.

4.2 Aufbau

Durch die Verwendung eines Multitouch-Tablets ergeben sich viele neue Möglichkeiten, die mit einer nicht virtuellen Ausführung nicht umzusetzen sind. Die Applikation selbst erzeugt keine Töne, sondern *MIDI*-Daten. Jede Note, die durch die Applikation abgespielt wird, wird in Form einer Information über eine Netzwerkverbindung zu einem Server geschickt. Auf diesem Server

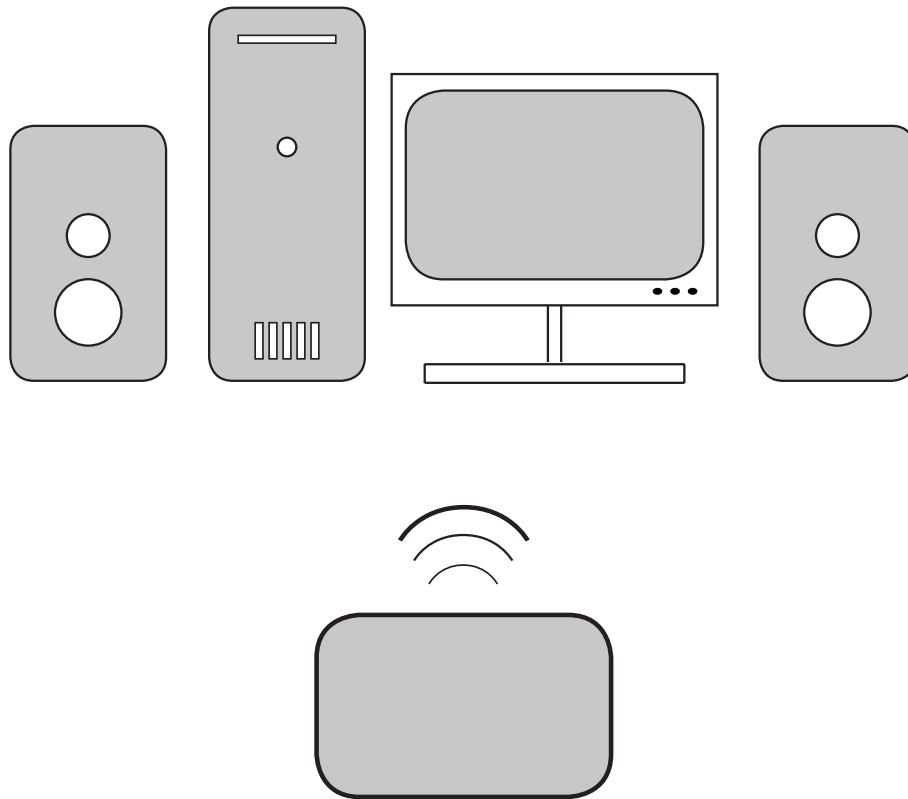


Abbildung 4.1: Aufbau Client-Server. Die Client-Applikation läuft auf einem Multitouch-Tablet und schickt die *MIDI*-Daten über WLAN an den Server, welcher die Daten weiterverarbeiten bzw. über ein virtuelles Instrument abspielen kann.

wird diese Nachricht entgegengenommen und zu einem Sequenzer (z.B. *Cubase* oder *Logic*) oder einem virtuellen Instrument (z.B. *Native Instruments*) weitergeschickt. Mit den ankommenden Daten ist es dann möglich, die Daten weiterzuverarbeiten und akustische Töne zu erzeugen (siehe Abb. 4.1).

4.3 Anforderungen

Aus den in diesem Kapitel beschriebenen Überlegungen ergeben sich für die Implementierung folgende Anforderungen:

- **Aufbau einer Tonleiter:** Bei Vorgabe eines Grundtons, einer Tonart (Dur oder Moll) und einem Notenraum sollen jene Noten eruiert werden, welche, wie in Abschn. 2.1.6 beschrieben wurde, für eine passende Tonleiter benötigt werden.
- **Harmonische Noten:** Zu einer Auswahl von Noten sollen jene Noten

gefunden werden, welche am besten zu der Auswahl von Noten passen.

- **Tonartwechsel:** Durch Vorschläge des Systems soll bei einer gegebenen Tonart ein Tonartwechsel ermöglicht werden.
- **Melodie:** Für die Erzeugung einer Melodie sollen Noten vorgeschlagen werden, die sowohl zu der vorgegebenen Tonart, wie auch zu den bereits in der Melodie vorkommenden Noten passen.
- **Aufbau eines Akkords:** Unter Vorgabe einer Tonleiter und eines *Patterns* soll ein Akkord, wie in Abschn. 4.1.1 erläutert, gebildet werden.
- **Akkordanpassung:** Unter Vorgabe bereits erzeugter Akkorde soll ein bestimmter Akkord an einen anderen durch Oktavierung der Einzeltöne angepasst werden.
- **Abspielen und senden von Noten:** Eingegebene Akkorde und Melodien sollen via *TCP/IP* in einem geeigneten Format an den Server geschickt und dort via *MIDI* abspielbar gemacht werden.
- **Klaviatur:** Für die Festlegung einer Tonart, welche auf ein Pattern angewendet wird, sowie für die Erstellung einer Melodie soll jeweils mit einer eigenen Klaviatur ermöglicht werden.
- **Sequencer:** Über die aufgenommenen Melodien und Harmoniefolgen soll ein visueller Überblick vorhanden sein.
- **Notensequenz:** Eingespielte Melodien und Harmoniefolgen sollen in einer Notensequenz dargestellt werden. Um die eingespielten Noten zu bearbeiten, soll ein Editor für die Notensequenzen vorhanden sein.
- **Patterneditor:** Um ein Pattern zu erstellen, soll ein eigener Editor verfügbar sein.
- **Farbmodell:** Sowohl für die Klaviaturen als auch für den Sequencer soll das Farbmodell konsistent umgesetzt werden.

Kapitel 5

Implementierung

In diesem Kapitel wird die praktische Umsetzung des im vorhergehenden Kapitel theoretisch beschriebenen Lösungsansatzes erläutert. Im Zuge des Projektes für die Masterarbeit ist daraus ein erster Prototyp entstanden. Zunächst werden in diesem Kapitel der allgemeine Aufbau und die eingesetzte Technologie dargestellt, danach werden der Client, wichtige Klassen und die Umsetzung der Benutzeroberfläche genauer beschrieben.

5.1 Allgemeine Architektur

Der Client wurde in *Actionscript 3.0* für die *Adobe Air* Laufzeitumgebung umgesetzt. Für den Test des Prototyps wurde ein *Motorola Xoom*-Tablet mit dem Betriebssystem *Android 4.0.4* und der Displayauflösung von $1280 \times 800px$ verwendet. Das Programm, welches am Server läuft, wurde in *Java* implementiert. Da die *Adobe Air* Laufzeitumgebung nur eine *TCP* und keine *UDP* Verbindungen anbietet, muss auf dem Server ein Übersetzungsprogramm laufen, welches *TCP* Datenpakete empfängt und auf die *UDP* Verbindung weiterleitet. Ein Ablauf, wie in Abb. 5.1 dargestellt, sieht wie folgt aus:

- Der Client baut eine *TCP* Verbindung (über Wlan) zum Server auf.
- Nachdem die Verbindung akzeptiert wurde, können Notendaten im *JSON*-Format empfangen werden.
- Der Server wandelt die empfangenen Notendaten in *MIDI*-Noten um und versendet sie über *UDP* an einen virtuellen *MIDI*-Treiber (z.B. *LoopBE1* [40]).
- Der virtuelle *MIDI*-Treiber schickt die Daten an den *MIDI*-Empfänger weiter (z.B. Sequenzer oder virtuelles Instrument).

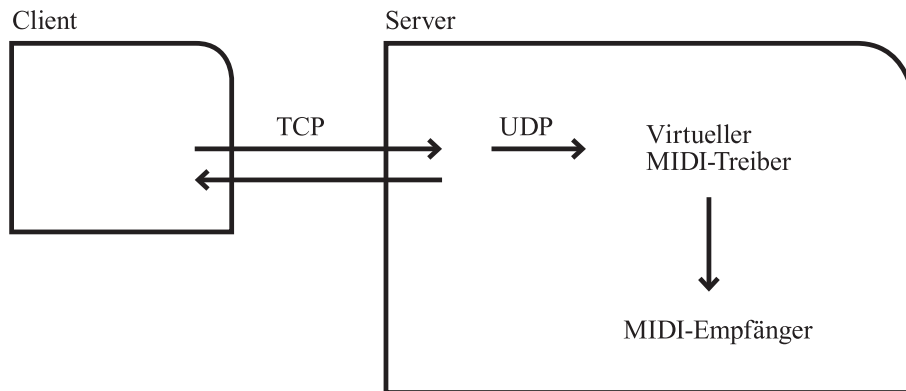


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung der Client-Server Kommunikation.

5.2 Architektur Client

Der Client ist nach dem *Model-View-Controller-Design-Pattern* aufgebaut. Die Klassen, die für das Interface benötigt werden, sind in dem Paket `components` enthalten. Die Klassen für die Berechnungen, Abspielen und Versenden der Noten befinden sich im Paket `core`. Die Einstiegsklasse ist die `ProductionView` Klasse mit der dazugehörigen `ProductionController` Klasse. Die Abhängigkeiten und das Zusammenspiel der Klassen sind in Abb. 5.2 dargestellt. Auch die Paket- und Klassenstruktur der Client-Applikation spiegelt das dargestellte Schema wider:

- `components.sequence`: besteht aus jenen Klassen, die für die Darstellung von Notensequenzen nötig sind.
- `components.sequencer`: besteht aus jenen Klassen, die für die Darstellung von Akkorden und Melodien nötig sind.
- `components.pianoroll`: enthält jene Klassen, die zur Darstellung der Klaviatur nötig sind.
- `core.harmony`: enthält sämtliche Klassen, die für die Berechnungen der harmonischen Noten und Transpositionen von Noten verantwortlich sind.
- `core.harmony.model`: enthält jene Modelle, die zum Datenaustausch unter den Klassen verwendet werden.
- `core.player`: enthält alle Klassen, die für das Abspielen von Noten notwendig sind.
- `core.client`: enthält jene Klassen, die für eine Verbindung zum Server wichtig sind.

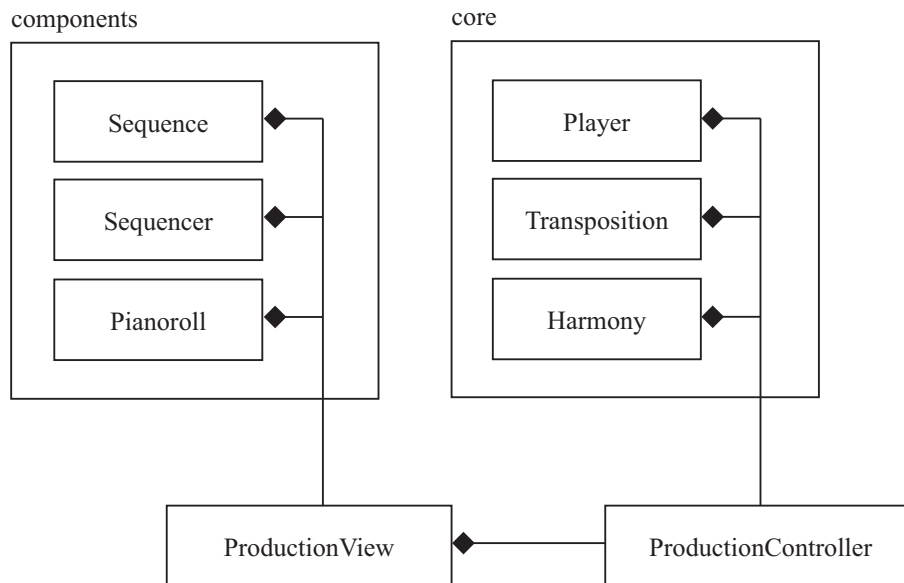


Abbildung 5.2: UML Diagramm wichtiger Pakete und Klassen.

5.2.1 Modelle

Die Modelle sind nicht nur als Datenträger für den Datenaustausch zwischen den Klassen wichtig, sondern bieten vereinzelt auch wichtige Funktionen an. Die wichtigsten Modelle mit ihren Eigenschaften und Funktionen werden im Nachfolgenden genauer erläutert.

Klasse Note

Die Klasse **Note** ist das Modell für eine Note und repräsentiert jene Daten, die an den Server und schließlich an den *MIDI*-Empfänger geschickt werden. Die Klasse enthält u.a. folgende wichtige Eigenschaften:

- **pitch**: gibt die Notenhöhe an, der Wert entspricht dem Wert der äquivalenten *MIDI*-Note.
- **duration**: gibt die Länge einer Note an.
- **velocity**: gibt die Velocity einer Note an der Wert entspricht dem Wert der äquivalenten *MIDI*-Note.
- **position**: gibt die Position einer Note an.

Klasse NoteSequence

Die Klasse **NoteSequence** ist das Modell für die Verwaltung von einer Notenfolge. Wichtige Eigenschaften der Klasse sind u.a. folgende:

- **notes**: enthält einen Vector mit Note-Objekten.

- **position**: gibt die Position der Notensequenz an.

Klasse Scale

Die Klasse **Scale** ist das Modell für eine Tonleiter und repräsentiert eine Tonleiter mit Noten in einem vorgegebenen Bereich. Durch Angabe des Grundtons, der Tonart und des Notenbereichs kann eine neue Tonleiter, wie in Kap. 2.1.6 beschrieben, erzeugt werden. Die Klasse enthält u.a. folgende wichtige Eigenschaften und Funktionen:

- **steps**: gibt einen Vector mit Integer Werten an, welche die Notenschritte ab dem Grundton angeben.
- **rootNote**: gibt die Note an, die den Grundton der Tonleiter darstellt.
- **startNote**: gibt die Note an, bei der die Tonleiter beginnt.
- **endNote**: gibt die Note an, bei der die Tonleiter endet.
- **notes**: repräsentiert einen Vector mit der Notenabfolge der Tonleiter.

Zusätzlich enthält die Klasse zwei statische Konstanten, welche jeweils einen Vector mit den Schrittweiten der Dur- und Moll-Tonleiter angeben.

Beispiel Eine neue Tonleiter wird erzeugt, der Grundton ist C und die Tonart DUR. Der Notenbereich erstreckt sich innerhalb der ersten Oktave.

```
1 var cdurScale:Scale = new Scale();
2 cdurScale.steps = Scale.MAJOR;
3 cdurScale.rootNote = new Note(0);
4 cdurScale.startNote = new Note(0);
5 cdurScale.endNote = new Note(12);
6
7 var cdurNotes:Vector.<Note> = cdurScale.notes;
```

Der Vector **cdurNotes** enthält die erzeugten Noten mit folgenden **pitch** Werten: 0, 2, 4, 5, 7, 9, 11, welche den Notennamen C, D, E, F, G, A, H entsprechen.

5.2.2 Klasse Harmony

In der Klasse **Harmony** werden alle Berechnungen durchgeführt, um zu einer Auswahl von Noten jene Noten zu finden, die am besten zu der Auswahl von Noten passen. Des Weiteren ist die Klasse dafür zuständig, Vorschläge bei einer gegebenen Tonart anzubieten, um einen Tonartwechsel zu ermöglichen. Für die Erzeugung einer Melodie bietet die Klasse Notenvorschläge an, die sowohl zu der vorgegebenen Tonart, wie auch zu den bereits in der Melodie vorkommenden Noten passen. Die wichtigsten Funktionen werden im Folgenden genauer erläutert.

Funktion `getHarmonyValue`

Die Funktion berechnet, auf Grundlage der in Abschn. 2.1.5 beschriebenen Methode, den Harmoniewert von zwei vorgegebenen Noten und gibt ihn als Typ `Number` zurück. Je niedriger der Wert ist, desto harmonischer passen die Noten zusammen.

Funktion `getHarmonyNoteFromNotesToNotes`

Die Funktion ist zuständig, um von einem vorgegebenen Vector aus Noten jene Note(n) zu finden, welche am besten (im Sinne von am harmonischsten) zu einem vorgegebenen Vector aus Noten passt.

Der erste Eingangsparameter der Funktion stellt jenen Vector dar, aus dem die Note gesucht wird, die zu den Noten aus dem Vector des zweiten Eingangsparameters passen sollen. Da mehrere Noten denselben Harmoniewert aufweisen können, können mehrere Noten in einem Vector als Ergebnis der Funktion zurückgegeben werden.

Beispiel Der Algorithmus der Funktion wird im Folgenden mithilfe eines Beispiels genauer beschrieben:

Es sollen die ersten zwei harmonischen Noten auf den Grundton der C-Dur-Tonleiter gefunden werden (C-Dur-Dreiklang). Zunächst wird die Tonleiter mit den Notenwerten 2, 4, 5, 7, 9, 11 (C-Dur ohne C) erzeugt und dem Vector `notesA` hinzugewiesen.

```
1 var scale:Scale = new Scale();
2 scale.steps = Scale.MAJOR;
3 scale.rootNote = new Note(0);
4 scale.startNote = new Note(1);
5 scale.endNote = new Note(12);
6 var notesA:Vector.<Note> = scale.notes;
```

Dem Vector `notesB` wird die Note mit dem Grundton der Tonleiter C zugewiesen.

```
1 notesB.push(new Note(0));
```

Durch Aufruf der `getHarmonyNoteFromNotesToNotes` Funktion werden zunächst alle Noten gesucht, die am besten zu der Note in Vector `notesB` passen. Passen mehrere gleich gut, wird der Note der Vorzug gegeben, die einen kleineren Abstand zu der Note in Vector `notesB` aufweist. Danach wird die eruierte Note dem Vector `notesB` hinzugefügt. Durch mehrmaliges Durchlaufen des Algorithmus werden die gesuchten zwei harmonischen Noten ermittelt.

```
1 var harmony:Harmonic = new Harmonic();
2 for (var i:int = 0; i < 2; i++)
3 {
4   var harmonyNotes:Vector.<Note> = harmony.getHarmonyNoteFromNotesToNotes(
      notesA,notesB);
```

```

5  var harmonyNote:Note = harmony.getNearestNote(notesA, harmonyNotes);
6  notesB.push(harmonyNote);
7  VectorHelper.removeNote(notesA,harmonyNote);
8  }

```

Beim ersten Aufruf der Funktion `getHarmonyNoteFromNotesToNotes` besteht der erste Eingangsparameter Vector `nA` aus den Noten mit den Notenwerten 2, 4, 5, 7, 9, 11 und der zweite Eingangsparameter Vector `nB` aus der Note mit dem Notenwert 0. Da die vierte Note (mit dem Index 3 des Vectors und Notenwert 7) aus Vector `nA` den kleinsten Harmoniewert aufweist, passt sie von den Vorgegebenen am besten zu der Note aus Vector `nB`.

Beim zweiten Aufruf der Funktion besteht der erste Eingangsparameter Vector `nA` aus den Noten 2, 4, 5, 9, 11 und der zweite Eingangsparameter Vector `nB` aus den Noten 0 und 7. Die weiteren Noten werden in der Funktion `getHarmonyNoteFromNotesToNotes` durch die Berechnung

$$\sum_{i=0}^n h(nA[a], nB[b+i])^2$$

ermittelt. Die in der Berechnung verwendete Funktion $h(noteA, noteB)$ bestimmt den Harmoniewert zweier Noten, wobei `nA` den Vector `notesA` und `nB` den Vector `notesB` darstellt. Durch die Berechnungen ergeben sich folgende Werte:

$$d(nA[0], nB[0])^2 + d(nA[0], nB[1])^2 = 13.45$$

$$d(nA[1], nB[0])^2 + d(nA[1], nB[1])^2 = 8.84$$

$$d(nA[2], nB[0])^2 + d(nA[2], nB[1])^2 = 13.45$$

$$d(nA[3], nB[0])^2 + d(nA[3], nB[1])^2 = 11.7$$

$$d(nA[4], nB[0])^2 + d(nA[4], nB[1])^2 = 13.84$$

Die zweite Note (mit dem Index 1 und Notenwert 4) aus Vector `nA` weist den kleinsten Harmoniewert auf und passt deshalb von den vorgegebenen am besten zu den Noten aus Vector `nB`.

Die zwei Noten, die aus den Noten aus Vector `nA` am besten zu der Note aus Vector `nB` passen, sind daher die Noten mit der Tonhöhe 7 und 4 und bilden mit dem Grundton den Dreiklang C-E-G.

Funktion `getHarmonyScales`

Wenn von einer Tonart in eine andere Tonart gewechselt werden soll, würden sich unter der Anzahl vorhandener Tonarten viele Wechselmöglichkeiten ergeben. Die Funktion ist dafür zuständig, unter Vorgabe einer Tonleiter, Vorschläge zu liefern, welche Tonart am besten zu der vorgegebenen Tonleiter passen würde. Eine Tonart passt dann am besten zu einer anderen, wenn sie die meisten harmonischen Noten zu der vorgegebenen Tonart aufweist.

Im ersten Eingangsparameter der Funktion ist die vorgegebene Tonart definiert. Der zweite Eingangsparameter gibt an, wie viele Tonarten ermittelt werden sollen. Die Funktion gibt einen Vector zurück, der eine Liste der Tonarten enthält, welche geordnet am besten zu der vorgegebenen Tonart passen.

Beispiel Der erste Eingangsparameter enthält eine C-Dur-Tonleiter, die zunächst mit der `Scale` Klasse erzeugt wird:

```
1 var scale:Scale = new Scale();
2 scale.steps = Scale.MAJOR;
3 scale.rootNote = new Note(0);
```

Nach der Erzeugung der Tonleiter wird die Funktion aufgerufen und die C-Dur-Tonleiter übergeben. Um die Auswahl der vorgeschlagenen Tonarten, welche in dem Rückgabevector der Funktion enthalten sind, auf ein vernünftiges Maß zu reduzieren, wird der zweite Eingangsparameter auf fünf gesetzt.

```
1 var harmonyScales:Vector.<Scale> = harmony.getHarmonyScales(scale,5);
```

Der Vector `harmonyScales`, welcher von der Funktion zurück gegeben wird, enthält nach dem Aufruf folgende fünf Tonarten: a-Moll, G-Dur, e-Moll, D-Dur und h-Moll.

5.2.3 Klasse Transposition

In der Klasse `Transposition` werden jene Funktionen angeboten, die unter Vorgabe einer Tonleiter und eines Patterns behilflich sein können, um einen Akkord aufzubauen. Des Weiteren bietet die Klasse die Möglichkeit, unter Vorgabe bereits erzeugter Akkorde einen bestimmten Akkord an einen anderen durch Oktavierung der Einzeltöne anzupassen. Die wichtigsten Funktionen werden im Nachfolgenden genauer erläutert.

Funktion `transposeHarmonicsToNotes`

Ein Pattern, wie in Abschn. 4.1.1 beschrieben, ist eine Ansammlung von Noten-Objekten, die in einem Vector festgehalten werden. Dabei gibt die `harmonic` Eigenschaft des Objektes vom Typ `Note` an, um welche harmonische Note es sich handelt. Wurde ein Pattern erzeugt, so ist dies noch nicht abspielbar. Um einen Pattern abzuspielen, müssen die gegebenen harmonischen Notenwerte auf eine Tonart angewendet werden. Die Funktion bietet die Möglichkeit diese Aktion durchzuführen.

Der erste Eingangsparameter repräsentiert ein Objekt vom Typ `Vector` und enthält jene Objekte vom Typ `Note`, die für ein Pattern definiert wurden. Der zweite Eingangsparameter repräsentiert ein Objekt vom Typ `Vector` mit jenen Noten, auf die die Noten aus dem ersten Eingangsparameter transponiert werden sollen. Die Funktion gibt ein Objekt vom Typ `Vector` mit jenen Noten zurück, die gemäß der Vorgaben im Pattern transponiert wurden.

Beispiel Zunächst wird ein neues Pattern erstellt: Es werden drei Noten, mit den `harmonyKey` Werten 0, 1 und 2 erzeugt, welche jeweils einen Takt lang sind und in dem Vector `patternNotes` gespeichert werden.

```
1 var patternNotes:Vector.<Note> = new Vector.<Note>();
2
3 var note0:Note = new Note();
4 note0.harmonyKey = 0;
5 note0.duration = 1;
6 note0.position = 0;
7 patternNotes.push(note0);
8
9 var note1:Note = new Note();
10 note1.harmonyKey = 1;
11 note1.duration = 1;
12 note1.position = 0;
13 patternNotes.push(note1);
14
15 var note2:Note = new Note();
16 note2.harmonyKey = 2;
17 note2.duration = 1;
18 note2.position = 0;
19 patternNotes.push(note2);
```

Danach wird eine C-Dur-Tonleiter erzeugt, auf die das Pattern angewendet werden soll, welche nach der Harmonie zum Grundton C sortiert wird.

```
1 var sortedNotes:Vector.<Note> = harmony.getHarmonyNotesFromNotesToNote(
    sortNotes,scaleCDUR.rootNote);
```

Die Notenwerte sind nach diesem Funktionsaufruf in folgender Reihenfolge sortiert: 7, 4, 11, 2, 9, 5. Die Notenwerte entsprechen den Notennamen G, E, H, D, A, F. Danach wird das Pattern auf die Tonleiter angewendet.

```
1 var transposedNotes:Vector.<Note> =
2 harmony.transposeHarmonicsToNotes(patternNotes,sortedNotes);
```

Nachdem im Pattern drei harmonische Noten definiert wurden, die erste harmonische Note mit dem Wert 0, die zweite mit den Wert 1 und die dritte mit dem Wert 2, werden die ersten zwei Werte (da die harmonische Note mit dem Wert 0 dem Grundton entspricht) aus dem sortierten Vector mit den Notenwerten: 7, 4 ausgewählt. Mit dem Grundton entsprechen die Noten dem C-Dur-Dreiklang C-E-G.

Funktion `transposeNotesToNearestNotesByOctave`

Ein sprunghaft klingender Akkordwechsel kann durch eine Auf- bzw. Abtransposition einer Oktave von Einzeltönen des Akkords vermindert werden. Die Funktion bietet die Möglichkeit, unter Vorgabe eines bereits erzeugten Akkords, einen bestimmten Akkord durch Oktavierung der Einzeltöne, anzupassen.

Der erste Eingangsparameter stellt den Ausgangsakkord dar, der zweite Eingangsparameter den Akkord, der durch Transposition der Einzeltöne an den Ausgangsakkord angepasst werden soll.

Beispiel Ein Akkord mit drei Teiltönen C, E, G wird erzeugt. Der Akkord entspricht dem C-Dur-Dreiklang.

```
1 var notesA:Vector.<Note> = new Vector.<Note>();
2 var noteC:Note = new Note(12);
3 notesA.push(noteC);
4 var noteE:Note = new Note(16);
5 notesA.push(noteE);
6 var noteG:Note = new Note(19);
7 notesA.push(noteG);
```

Ein zweiter Akkord mit den drei Teiltönen G, H, D wird erzeugt, welcher dem G-Dur-Dreiklang entspricht.

```
1 var notesB:Vector.<Note> = new Vector.<Note>();
2 var noteG:Note = new Note(19);
3 notesB.push(noteG);
4 var noteH:Note = new Note(23);
5 notesB.push(noteH);
6 var noteD:Note = new Note(26);
7 notesB.push(noteD);
```

Durch Aufruf der Funktion wird der zweite Akkord dem ersten Akkord angepasst. Für jeden Ton des Akkords, der angepasst werden soll, wird durch Auf und Aboktavierung, die kürzeste Distanz zu einem Teilton des Ausgangsakkords gesucht.

```
1 transposition.transposeNotesToNearestNotesByOctave(notesB,notesA);
```

Die Notenwerte der einzelnen Noten des zweiten Akkords haben sich nach der Anpassung von 19, 23, 26 auf 19, 11, 14 geändert.

5.2.4 Klasse Player

Die Klasse **Player** bietet Funktionen an, die das Abspielen von eingegebenen Noten ermöglicht. Ein Objekt des Typs **Vector** bestehend aus Noten kann durch Aufruf der Funktion **addNotes** der Klasse übergeben werden. Dieser Vector wird, nachdem die **start** Funktion aufgerufen wird, durchlaufen. Durch Angabe eines Objektes vom Typ **Bar** kann der genaue Zeitpunkt errechnet werden, wann eine Note abgespielt werden soll. Wird der Zeitpunkt erreicht, wird ein Event ausgelöst.

5.2.5 Klasse AClient

Eingegebene Akkorde und Melodien sollen via *TCP* in einem geeigneten Format an den Server geschickt und dort via *MIDI* abspielbar gemacht werden.

Mit der Klasse `AClient` ist es möglich, eine *TCP* Verbindung zu einem Server aufzubauen. Die abgeleitete Subklasse `JSONClient` ermöglicht es, Objekte vom Typ `Note` in das *JSON*-Format umzuwandeln und zum Server zu übertragen.

5.3 Interface

Das folgende Unterkapitel beschreibt die Umsetzung der in Kap. 4 entworfenen Benutzerschnittstelle.

5.3.1 Produktionsumgebung

Im Folgenden wird der Aufbau des Hauptfensters, welcher in Abb. 5.3 dargestellt ist, beschrieben. Das Hauptfenster besteht grundsätzlich aus drei Teilen, in dem der Benutzer die Erstellung einer Harmoniefolge und einer Melodie durchführen kann: Menü, Sequenzer mit Zeitleiste und Klaviatur. Im Folgenden werden die einzelnen Beschriftungen der Abb. 5.3 des Hauptfensters genauer beschrieben:

- **100:** In diesem Teil befindet sich das Menü. Es ist in einem statischen Zustand und der einzige durchgehend sichtbare Interface-Bestandteil der Produktionsumgebung.
- **101:** Durch diesen Button ist es möglich, in das Hauptmenü zu gelangen, wo ein Überblick über die gespeicherten Projekte und Einstellungen (u.a. IP-Adresse des Servers, Tempo) dargestellt werden.
- **102:** In diesem Textfeld wird der Name des aktuellen Projektes dargestellt.
- **200:** In diesem Teil befindet sich die Zeitleiste. Durch Markierungsstriche werden Zeitabschnitte gekennzeichnet. Zeitabschnitte können den Abschnitt eines Taktes kennzeichnen, welcher in weitere Zeitabschnitte unterteilt werden kann.
- **201:** Der Indikator ist dafür zuständig, die aktuelle Zeitposition anzuzeigen.
- **202:** In diesem Textfeld wird die aktuelle Zeitposition angezeigt.
- **204:** Um die Zeitabschnitte der Zeitleiste weiter zu unterteilen, hilft dieser Button.
- **205:** Um die Zeitabschnitte der Zeitleiste weniger zu unterteilen, hilft dieser Button.
- **300:** In diesem Bereich befindet sich die Melodiespur, welche jene Noten anzeigt, die durch die passende Melodiekklaviatur aufgenommen wurden. Wird diese Spur ausgewählt, erscheint die Melodiekklaviatur im unteren Bereich (700).

- **400:** In diesem Bereich befindet sich die Harmoniespur, die aufgenommen und einer Tonart zugeordnetem Pattern darstellt. Wird diese Spur ausgewählt, erscheint eine passende Klaviaturansicht im unteren Teil (700).
- **401:** Die Spur kann mehrere Notensequenzen, die einen ausgewählten und einer Tonart zugeordnetem Pattern, enthalten.
- **402:** Wird dieser Button ausgewählt, wird beim Abspielen nur diese Spur abgespielt.
- **403:** Mit diesem Button können die markierten Spurelemente gelöscht werden.
- **404:** Wird dieser Button ausgewählt, wird beim Abspielen diese Spur nicht abgespielt.
- **500:** In diesem Teil sind sämtliche Harmonie- und Melodiespuren untergebracht.
- **501:** Weitere Melodiespuren lassen sich mit diesem Button hinzufügen.
- **502:** Weitere Harmoniespuren lassen sich mit diesem Button hinzufügen.
- **600:** In diesem Teil befinden sich alle Patterns, die durch den Benutzer erstellt wurden.
- **602:** Neue Pattern können mit diesem Button hinzugefügt werden.
- **603:** Das aktuell markierte Pattern kann mit diesem Button dupliziert werden.
- **604:** Das aktuell markierte Pattern kann mit diesem Button editiert werden.
- **700:** In diesem Teil befindet sich die Klaviatur. Sie kann unterschiedliche Formen annehmen, abhängig davon, welche Art von Spur (Harmonie oder Melodie) ausgewählt wurde.

5.3.2 Klaviatur

Für die Eingabe von Noten stehen zwei verschiedene Klaviaturen, die Harmonieklaviatur oder die Melodieklaviatur, zur Auswahl. Nachfolgend werden beide Klaviaturen erläutert.

Harmonieklaviatur

Die Harmonieklaviatur bietet neben dem Überblick über alle erzeugten Patterns die Möglichkeit, dieses Pattern auf einer Tonleiter angewendet abzuspielen.

In der oberen Reihe (Abb. 5.4 701) der Klaviatur befinden sich sämtliche Tasten für die Dur-Tonarten. Jede Taste vertritt dabei eine bestimmte Tonart. Die Tasten sind sowohl nach der harmonischen Affinität (entspricht dem

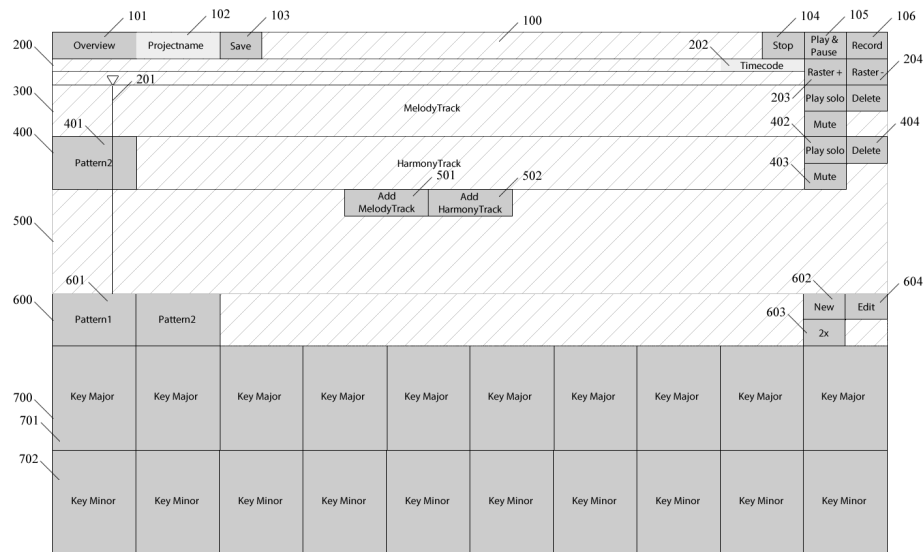


Abbildung 5.3: Überblick Oberfläche der Produktionsumgebung.

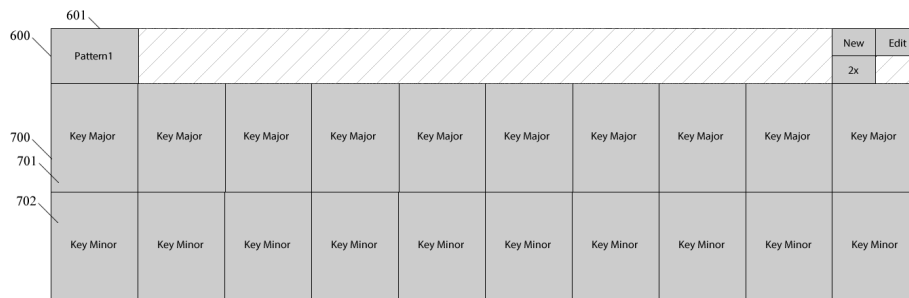


Abbildung 5.4: Klaviatur für Auswahl der Tonarten und Pattern.

Ergebnis aus der in Abschn. 5.2.2 beschriebenen Funktion) der Dur-Tonarten und der Höhe des Grundtons der Tonart von links mit der niedrigsten Tonhöhe beginnend horizontal geordnet. In der unteren Reihe der Klaviatur befinden sich sämtliche Tasten der Tonart Moll. Die Tasten sind nach der harmonischen Affinität der Moll-Tonarten horizontal geordnet. Wird eine Taste ausgewählt, passen jene Tasten, die sich links und rechts neben der Taste befinden, mit Steigerung der Entfernung immer weniger gut zur ausgewählten Taste. Die Farbzusweisungen entsprechen den Überlegungen wie in Abschn. 4.1.5 dargestellt und weisen zusätzlich auf die harmonische Affinität der Tasten hin.

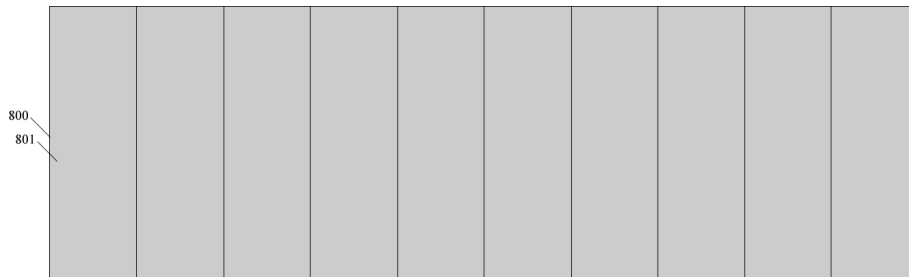


Abbildung 5.5: Klaviatur für Melodie.

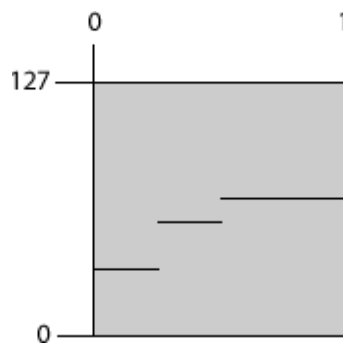


Abbildung 5.6: Eine Notensequenz im Überblick.

Melodieklaviatur

Für die Eingabe einer Melodie ist eine eigene Klaviatur dafür vorhanden. Sie besteht im Gegensatz zur Harmonieklaviatur nicht aus zwei Tastenebenen, sondern nur aus einer (siehe Abb. 5.5). Jede Taste repräsentiert eine Note, die Anordnung ist von links nach rechts nach der Höhe der Töne geordnet. Gemäß der aktuellen Tonleiter, die verwendet wird, richtet sich der Tonvorrat. Zu der Harmoniespur und zur bereits gespielten Melodiesequenz passenden Noten werden durch Helligkeitsunterschiede verdeutlicht.

5.3.3 Notensequenz

Die Notensequenz-Komponente (Abb. 5.3 401, 601) dient zur Darstellung einer Notenfolge. Es kann sich dabei um eine Melodiefolge oder einen Pattern handeln. Die Komponente, wie in Abb. 5.6 dargestellt, zeigt eine Notensequenz im Überblick an. Die Noten sind von links nach rechts nach ihrer Position (die Position orientiert sich dabei an der Notensequenz) und von unten nach oben nach ihrer Tonhöhe geordnet. Die Noten in dieser Darstellung sind nicht editierbar. Doppeltes Antippen führt in einen Editormodus, indem die Noten bearbeitbar sind.

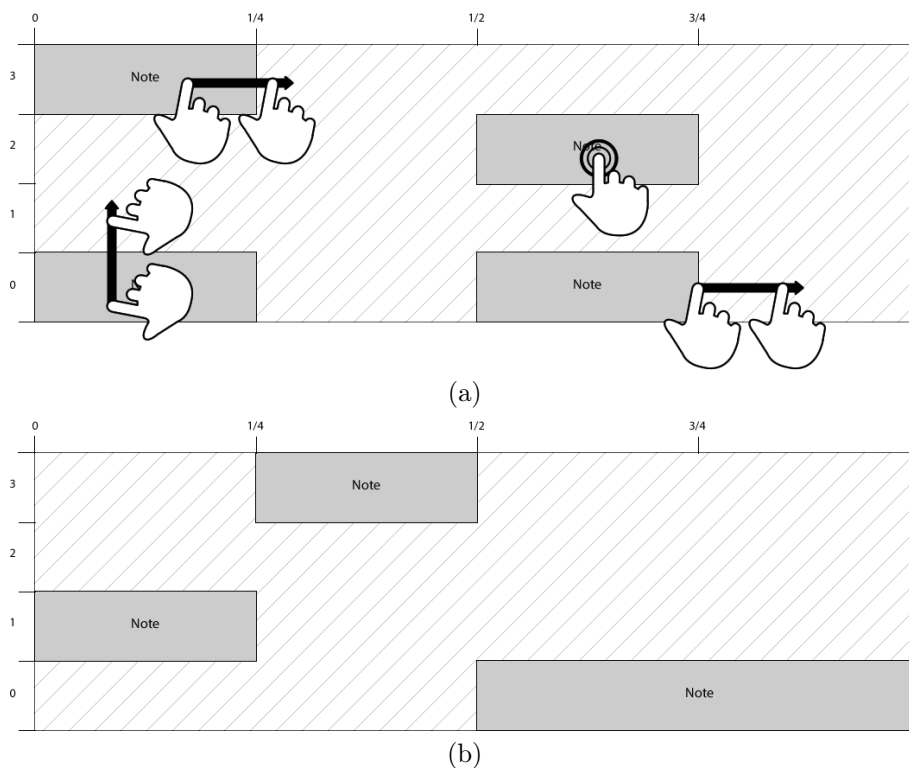


Abbildung 5.7: Darstellungen einer Notensequenz. Vor der Bearbeitung (a), nach der Bearbeitung (b).

5.3.4 Notensequenz-Editor

Der NotenSequenz-Editor bietet die Möglichkeit, Noten in ihrer Position, Länge und Tonhöhe zu verändern. Die Noten sind von links nach rechts nach Position und von unten nach oben nach ihrer Tonhöhe geordnet. Die Noten können mittels Touch-Gesten verlängert, verkürzt, entfernt, und horizontal und vertikal verschoben werden. Das oben angezeigte Zeitraster bietet eine Positionsorientierung (siehe Abb. 5.7).

5.3.5 Pattern

Für die Bearbeitung oder Erstellung eines Pattern ist der Pattern-Editor, welcher in Abb. 5.8 dargestellt ist, zuständig. Die Harmonieklaviatur bietet durch zwei Schaltflächen (Abb. 5.3 602, 604) die Möglichkeit, in den Editormodus zu wechseln. Der Unterschied zu einem Notensequenz-Editor ist, dass bei einem Pattern nur die harmonischen Noten bearbeitbar sind. Die restlichen Noten sind nicht bearbeitbar.

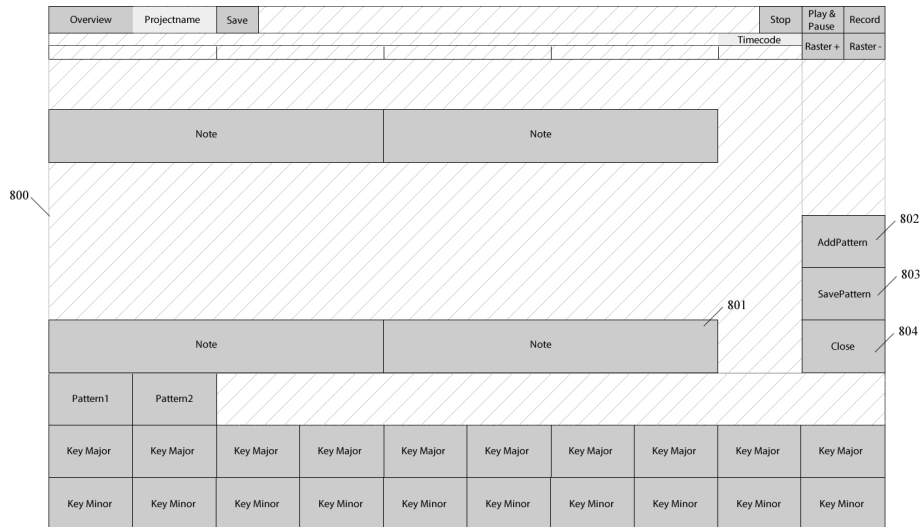


Abbildung 5.8: Der Patterneditor im Überblick.

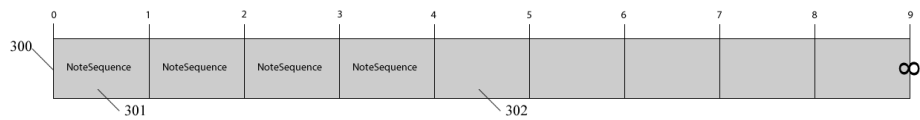


Abbildung 5.9: Eine Harmoniespur mit Notensequenzen.

5.3.6 Sequenzer

Um eine Melodie oder eine Harmoniefolge aufzunehmen, ist es zunächst nötig, die richtige Spur auszuwählen. Der Aufbau einer Spur ist in Abb. 5.9 dargestellt. Durch Antippen der leeren Takte (Abb. 5.9 302) werden diese aktiviert und können Notensequenzen aufnehmen. Dadurch wird die Länge des Motivs definiert. Die Schaltfläche Record (Abb. 5.3 106) aktiviert den Aufnahmemodus.

Aufnahme Harmoniespur

Durch Antippen wird die Harmoniespur ausgewählt und die dazugehörige Klaviatur (Abb. 5.4 700) erscheint. Durch Auswahl eines Pattern (Abb. 5.4 601) und das Antippen einer Taste auf der Klaviatur wird der Harmoniespur bei dem Takt, in dem sich der Indikator (Abb. 5.3 201) befindet, die erzeugte Notensequenz hinzugefügt. Befindet sich bereits eine Notensequenz auf dieser Position wird sie überschrieben (siehe Abb. 5.10).

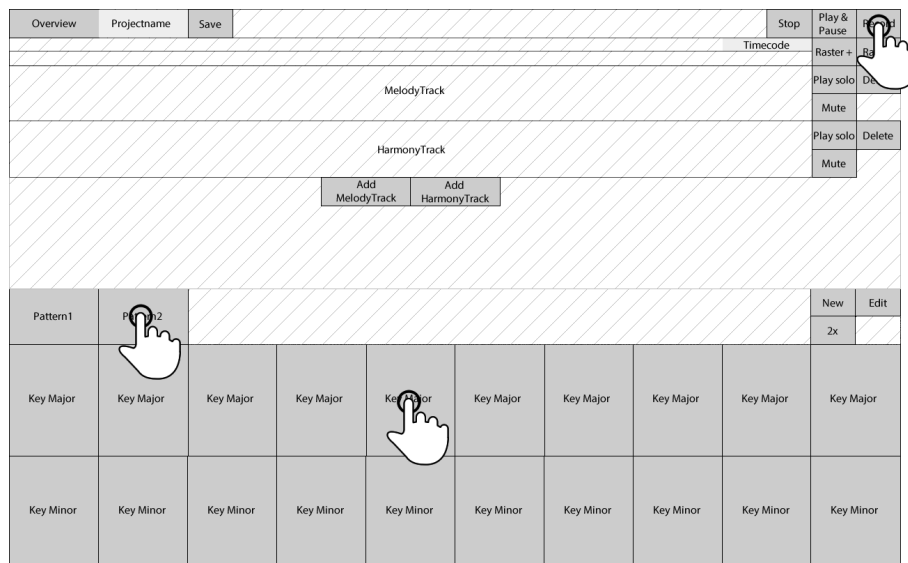


Abbildung 5.10: Aufnahme einer Harmoniefolge.

Aufnahme Melodiespur

Durch Antippen wird die Melodiespur ausgewählt und die dazugehörige Klaviatur (Abb. 5.5 800) erscheint. Die Tasten der Klaviatur werden jeweils nach der aktuellen Tonart der Harmoniespur angeordnet. Wird eine Taste angeklippt, so wird der Notensequenz der Melodiespur an der Position, an der sich der Indikator befindet, die Note hinzugefügt.

Abspielen

Um einen aufgenommen Teil abzuspielen, steht die Play/Pause Schaltfläche zur Verfügung (Abb. 5.3 105). Wird diese Schaltfläche betätigt, werden die aktivierten Takte abgespielt. Ist kein Play- oder Record-Modus aktiviert, kann im freien Modus beliebig mit der Harmonie und Melodiekklaviatur gespielt werden.

5.3.7 Farbmodell

Die Einzelfarben des entwickelten Farbmodells (wie in Abschn. 4.1.5 besprochen) sind Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett. Sie werden mit den erzeugten Mischfarben auf die Tonleiter, nach dem Grad ihrer Ähnlichkeit des Tonvorrates, aufgeteilt. Die Aufteilung ergibt die Zuordnung, wie in Abb. 5.11 dargestellt.

Auf der Harmonieklaviatur liegen jene Tonleiter, welche in ihrem Tonvorrat sich am ähnlichsten sind nebeneinander. Wurde noch keine Tonart gespielt, so sind alle Tasten gleichberechtigt, die Farben der Tasten werden



Abbildung 5.11: Farbmodell. Die Abgebildeten Farben sind den Durtonleitern nach der Reihe C, G, D, A, E, H, Fis, Des, As, Es, B, F zugeordnet.

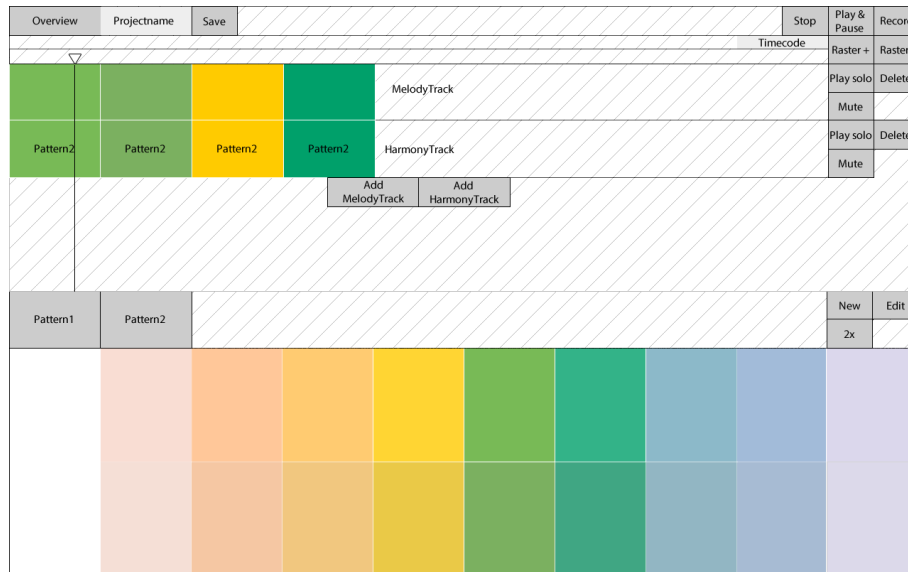


Abbildung 5.12: Das Farbmodell umgesetzt auf die Harmonieklaviatur und den Sequenzer.

gleich intensiv dargestellt. Wird eine Tonart auf ein Pattern angewendet, so ändert sich die Helligkeit der Tasten neben der ausgewählten Taste. Je weiter die Taste von der aktuellen Taste entfernt ist, desto mehr verliert die Intensivität der Farbe (siehe Abb. 5.12). Die aktuelle Tonart bestimmt auf der Melodieklaviatur die Farbe der Tasten. Die Intensivität korreliert dabei mit der Höhe des Tones. Je höher ein Ton ist, desto weniger intensiv ist die Farbe. Die im Sequenzer dargestellten Notensequenzen, sowohl jene in der Harmonie- wie in der Melodiespur, erhalten die nach Tonart zugeordneten Farben. Unbespielte Notensequenzen werden Grau dargestellt.

Kapitel 6

Evaluierung

6.1 Methodik

Um eine erste Meinung über die Qualität des entwickelten Lösungsansatzes zu dem im Zuge dieser Arbeit entwickelten Prototyps zu evaluieren, wurde eine Benutzerbefragung mittels Fragebogen durchgeführt. Neben demografischen Angaben wie Alter oder Geschlecht, mussten die Teilnehmer auch ihre Vorkenntnisse in der Komposition bzw. im Umgang mit Musikinstrumenten angeben. Der Hauptteil der Befragung bildete jedoch das Einholen von eigenen Meinungen zu den zentralen Merkmalen des entwickelten Konzeptes und der Benutzeroberfläche des Prototypens. Als Bewertungssystem kam eine Likert-Skala (nach Rensis Likert) zum Einsatz, die den Grad der Zustimmung zu vorgegebenen Aussagen misst. Die abzufragenden Eigenschaften wurden daher als Aussagen formuliert, die von den Testteilnehmern zu beurteilen waren. Bei der Formulierung wurde darauf geachtet, positive und negative Aussagen unregelmäßig abzuwechseln, um Zustimmungstendenzen zu vermeiden. Die folgenden Aussagen wurden getestet:

- „Die Benutzeroberfläche ist übersichtlich.“
- „Der Prototyp erzeugt eine willkürliche Tonabfolge.“
- „Die Erstellung eines kurzen Motivs ist für eine Weiterentwicklung einer Komposition unzureichend.“
- „Eine Trennung von Harmonieklaviatur und Melodieklaviatur ist sinnvoll.“
- „Eine Eingabe über ein Multitouch-Gerät ersetzt kein traditionelles Instrument.“
- „Die Farbzuordnungen zu den Tonarten erweist sich als stimmig.“
- „Die automatische Anordnung der Tonarten/Noten ist sinnvoll.“
- Die Erstellung und Verwendung eines Patterns ist nützlich.“

Die Beurteilung dieser Aussagen erfolgte auf einer vierteiligen Skala bestehend aus den Stufen „trifft zu“, „trifft eher zu“, „trifft eher nicht zu“ und

„trifft nicht zu“. Die Anzahl der Stufen wurde bewusst gerade gewählt, um eine neutrale Mittelposition zu vermeiden und dadurch klare Tendenzen aus dem Antwortverhalten der Befragten ableiten zu können.

6.2 Testteilnehmer

Die Gruppe der Testteilnehmer umfasste zehn Personen, von denen sieben männlich und drei weiblich waren. Das Alter der Befragten lag zwischen 21 und 30 Jahren, das Durchschnittsalter betrug 25,7 Jahre. Ein Großteil der Befragten hat bereits Kenntnisse im Umgang eines Instrumentes: Zwei Personen gaben an gute Kenntnisse im Spielen eines Instrumentes zu haben, fünf Personen hatten Kenntnisse und drei Personen hat keine Kenntnisse. Bereits über gute Kompositionskenntnisse im Speziellen verfügten zwei Personen der Befragten, drei hatten bereits schon Erfahrung und fünf hatten keine Kenntnisse in der Komposition. Von den zehn Befragten nutzten acht Personen mehrmals pro Woche einen Computer, zwei mehrmals pro Monat.

6.3 Testablauf

Der Test wurde mit dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Prototypen durchgeführt. Die Teilnehmer wurden im Vorfeld über die Bedienung des Programms und der Tatsache, dass der Prototyp automatisch gut klingende Notenvorschläge liefert, informiert. Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase, die zum Kennenlernen der Steuerung diente, bekamen die Testteilnehmer die Aufgabe gestellt, sich mit dem Programm auseinanderzusetzen, um ein Motiv bestehend aus einer Harmonie und Melodiespur zu entwickeln. Die Teilnehmer hatten für diese Aufgabe eine halbe Stunde Zeit. Nach Ablauf dieser Zeit wurde die Aufgabe abgebrochen und die Teilnehmer erhielten einen Fragebogen zur anonymen Beantwortung.

6.4 Ergebnisse

Für die Auswertung der Zustimmung zu den untersuchten Aussagen wurde den vier Antwortmöglichkeiten ein Wert von 0 bis 3 zugeordnet:

- 0 – „trifft nicht zu“,
- 1 – „trifft eher nicht zu“,
- 2 – „trifft eher zu“,
- 3 – „trifft zu“.

Mit Hilfe dieser Werteverteilung konnte dann die mittlere Zustimmung zu den jeweiligen Aussagen berechnet werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung aufgeschlüsselt nach den acht untersuchten Kriterien dargestellt und diskutiert.

Tabelle 6.1: Ergebnis „Die Benutzeroberfläche ist übersichtlich“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	5
Trifft eher zu	3
Trifft eher nicht zu	2
Trifft nicht zu	0

Tabelle 6.2: Ergebnis „Der Prototyp erzeugt eine willkürliche Tonabfolge“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	0
Trifft eher zu	1
Trifft eher nicht zu	2
Trifft nicht zu	7

6.4.1 Benutzeroberfläche

Die Übersichtlichkeit der Benutzeroberfläche für den Prototypen ist in Anbetracht der begrenzten Möglichkeiten auf einem Multitouch-Tablet entscheidend für eine erfolgreiche Verwendung des Programms. Die Hauptmaßnahme, die dazu getroffen wurde, ist, nur jene Oberflächenteile anzuzeigen, die für die Durchführung der gewünschten Aufgabe nötig ist. Konzentriert sich der Benutzer auf die Harmoniespur, so werden nur jene Teile angezeigt, die für die Erstellung der Harmoniefolge nötig ist.

Um die Übersichtlichkeit der Benutzeroberfläche zu evaluieren, wurde die Meinung der Testteilnehmer zu der Aussage „Die Benutzeroberfläche ist übersichtlich“ abgefragt. Die Zustimmung fällt dabei sehr hoch aus (siehe Tab. 6.1): Fünf Personen bewerten die Aussage als zutreffend, drei Personen zumindest als eher zutreffend und zwei Personen als eher nicht zutreffend, woraus sich ein Durchschnittswert von 2,3 und eine Standardabweichung von 0,78 ergibt.

Das Ergebnis zeigt also, dass die Testteilnehmer beim Spielen meist die Übersicht behielten und sich auf ihre Teilaufgabe gut konzentrieren konnten.

6.4.2 Tonabfolge

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist eine bestmögliche harmonische Tonabfolge unter Beachtung der persönlichen Kreativität des Benutzers zu ermöglichen. Die eingegeben Notensequenz soll von möglichst hoher Qualität

Tabelle 6.3: Ergebnis „Die Erstellung eines kurzen Motivs ist für eine Weiterentwicklung einer Komposition unzureichend“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	0
Trifft eher zu	1
Trifft eher nicht zu	2
Trifft nicht zu	7

überzeugen, wobei Qualität in Zusammenhang bedeutet, eine Tonabfolge zu kreieren die sich nicht nach einer computergenerierten Sequenz anhört, sondern nach einer von Menschenhand Erzeugten.

Die Teilnehmer sollten die Aussage „Der Prototyp erzeugt eine willkürliche Tonabfolge“ bewerten. Keine der Personen gab dabei an, die Aussage treffe zu, eine Person beurteilen sie als eher zutreffend, zwei Personen hält sie für eher nicht zutreffend und sieben Personen hält sie für eher nicht zutreffend (siehe Tab. 6.2).

Der Durchschnitt der Zustimmung liegt damit bei 0,4 bei einer Standardabweichung von 0,66. Die niedrige mittlere Zustimmung lässt daraus schließen, dass die Tonabfolgen einen sinnvollen und harmonischen Eindruck auf die Benutzer machen.

6.4.3 Motiv

Eine zentrale Anforderung an den Prototypen stellte die Entwicklung eines Motivs für eine weiterführende Komposition dar. Im Vorhinein wurden die Teilnehmer darüber aufgeklärt, was ein Motiv genau ist. Die Ausarbeitung einer eigenen Idee soll möglichst unkompliziert und schnell von statten gehen. Im praktischen Test wurden die Teilnehmer nun befragt, wie sie die Entwicklung wahrgenommen haben.

Dazu wurde ihre Zustimmung zu der Aussage „Die Erstellung eines kurzen Motivs ist für eine Weiterentwicklung einer Komposition unzureichend“ gemessen. Drei Personen halten diese Aussage für zutreffend, vier Personen für eher zutreffend, zwei Personen für eher nicht zutreffen und eine für nicht zutreffen (siehe Tab. 6.3).

Die durchschnittliche Zustimmung ist mit einem Wert von 1,9 und einer Standardabweichung von 0,94 vergleichsweise in der Mitte anzusetzen und zeigt, weder eine große Zustimmung noch eine Ablehnung.

Tabelle 6.4: Ergebnis „Eine Trennung von Harmonieklaviatur und Melodieklaviatur ist sinnvoll“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	2
Trifft eher zu	3
Trifft eher nicht zu	3
Trifft nicht zu	2

6.4.4 Harmonie und Melodieklaviatur

Eine von für die Übersichtlichkeit große Bedeutung ist die Trennung der Harmonie und Melodieklaviatur. Für die Durchführung der Eingabe der Harmonie wird die Harmonieklaviatur eingeblendet, während die Klaviatur für die Melodie ausgeblendet wird und umgekehrt. Aus diesem Umstand ist es möglich, sich auf die Erstellung der Harmonie- oder der Melodiefolge zu fokussieren, jedoch ist dadurch eine gleichzeitige Eingabe nicht möglich.

Um diese Trennung zu evaluieren wurden die Teilnehmer zur Beurteilung der Aussage „Eine Trennung von Harmonieklaviatur und Melodieklaviatur ist sinnvoll“ gebeten.

Zwei Personen halten diese Aussage für zutreffend, drei Personen für eher zutreffend, drei Personen für eher nicht zutreffen und zwei für nicht zutreffen (siehe Tab. 6.4). Mit einer mittleren Zustimmung von 1,5 und einer Standardabweichung von 1,02 war keine Mehrheit für das Konzept der Trennung zwischen Harmonie und Melodieklaviatur zu finden.

Es ist zu überdenken, ob dieses Konzept weiterhin sinnvoll ist. Eine Überarbeitung wäre, die Harmonie und Melodieklaviatur gleichzeitig nebeneinander zu positionieren. Diese parallele Klaviatur ist insofern vorstellbar, da die meisten, wie sich in der Evaluierung gezeigt hat, sich mit einem kleinen Bereich der Klaviaturen zufrieden gaben und meist nicht über eine Oktave hinaus spielten.

6.4.5 Multitouch

Der Prototyp ist dafür gedacht, die Nachteile, welche sich durch physische Gegebenheiten eines traditionellen Instruments ergeben, auszubessern. Durch die Verwendung eines Multitouch-Tablets ergeben sich viele neue Möglichkeiten, die mit einer nicht virtuellen Ausführung nicht umzusetzen sind. Die Implementierung eines virtuellen Instrumentes auf einem Multitouch-Tablet verfügt dennoch nicht über all die Eigenschaften (z.B. kein haptisches Feedback), die ein traditionelles Instrument bietet.

Um die Eignung des Einsatzes eines Multitouch-Tablets zu evaluieren,

Tabelle 6.5: Ergebnis „Eine Eingabe über ein Multitouch-Gerät ersetzt kein traditionelles Instrument“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	3
Trifft eher zu	1
Trifft eher nicht zu	2
Trifft nicht zu	4

Tabelle 6.6: Ergebnis „Die Farbzusordnungen zu den Tonarten erweist sich als stimmig“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	2
Trifft eher zu	4
Trifft eher nicht zu	3
Trifft nicht zu	1

wurde die Zustimmung der Testteilnehmer zu der allgemeinen Aussage „Eine Eingabe über ein Multitouch-Gerät ersetzt kein traditionelles Instrument“ erhoben (siehe Tab. 6.5). Drei Personen halten diese Aussage für zutreffend, eine Personen für eher zutreffend, zwei Personen für eher nicht zutreffen und vier für nicht zutreffen. Der Durchschnitt der Zustimmung liegt damit bei 1,3 bei einer Standardabweichung von 1,27.

Die Meinung über die Implementierung eines virtuellen Instrumentes auf einem Multitouch-Tablet scheint die Testteilnehmer (wie auch allgemein) die Gemüter zu spalten. Sowohl ein größere Anzahl scheint davon begeistert, wie auch ein großer Teil eher abgeneigt ist, ein Instrument in dieser Form zu benutzen. Jedes Instrument, ob virtuell oder nicht, hat seine Vor und Nachteile und keines scheint dem anderen weit Überlegen zu sein.

6.4.6 Farbzusordnung

Ein weiterer Bestandteil der Benutzeroberfläche ist die konsistente Verwendung der Farb-Tonart-Zuordnung. Wie bereits dem Abschn. 2.2 erklärt, ist ein allgemein gültiges Modell nicht vorhanden. Sowohl die Beziehung zwischen den farbliche Markierungen auf den Tasten der Harmonie- und Melodiekaviatur mit der Tonleiter, sowie die der der Melodiekaviatur, sollen evaluiert werden.

Der Einsatz des im Zuge dieser Arbeit entwickelten Farbmodells wurde

Tabelle 6.7: Ergebnis „Die automatische Anordnung der Tonarten/Noten ist sinnvoll“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	5
Trifft eher zu	2
Trifft eher nicht zu	2
Trifft nicht zu	1

die Zustimmung der Testteilnehmer zu der Aussage „Die Farbzusordnungen zu den Tonarten erweist sich als stimmig“ erhoben (siehe Tab. 6.6). Zwei Personen halten diese Aussage für zutreffend, vier Personen für eher zutreffend, drei Personen für eher nicht zutreffen und eine für nicht zutreffen. Der Durchschnitt der Zustimmung liegt damit bei 1,7 bei einer Standardabweichung von 0,9.

Das eingesetzte Farbmodell stieß weder auf große Zustimmung noch auf große Ablehnung.

6.4.7 Tastenanordnung

Die automatische Anordnung der Tasten nach dem Prinzip, je näher eine Taste zu der gespielten Taste liegt umso besser passt sie zu jener, stellt eine der zentraler Überlegungen des Prototyps dar. Sowohl auf der Harmonie wie auch auf der Melodiekaviatur wurde dieses Prinzip umgesetzt.

Die Testteilnehmer wurden daher befragt, wie sie die automatische Anordnung der Tasten empfinden. Das Ergebnis ergibt eine erkennbare Tendenz: Fünf der zehn Teilnehmer beurteilen die Aussage „Die automatische Anordnung der Tonarten/Noten ist sinnvoll“ als zutreffend, zwei Personen für eher zutreffend, zwei Personen für eher nicht zutreffen und eine für nicht zutreffen (siehe Tab. 6.7). Der Durchschnitt der Zustimmung liegt damit bei 2,1 bei einer Standardabweichung von 1,04.

Die automatische Anordnung macht für die Teilnehmer Sinn, eine alternative Einstellung wäre aber zu überlegen: Anstatt die passenden Tasten automatisch in die Nähe der gespielten zu rücken könnten die unpassenden einfach abgedunkelt bzw. inaktiv werden.

6.4.8 Pattern

Zur Unterstützung der Erstellung einer Harmoniefolge werden Pattern verwendet. Um wiederkehrende Muster einfach zu erzeugen und in verschiedenen Tonarten abzuspielen finden Pattern ihre Anwendung.

Die Akzeptanz sowohl der Idee als auch ihrer Umsetzung wurde durch die

Tabelle 6.8: Ergebnis „Die Erstellung und Verwendung eines Patterns ist nützlich“.

	<i>Anzahl</i>
Trifft zu	6
Trifft eher zu	3
Trifft eher nicht zu	1
Trifft nicht zu	0

Zustimmung der Testteilnehmer zu der Aussage „Die Erstellung und Verwendung eines Patterns ist nützlich“ erhoben (siehe Tab. 6.8). Sechs Personen halten diese Aussage für zutreffend, drei Personen für eher zutreffend, eine Personen für eher nicht zutreffen und keine für nicht zutreffen. Der Durchschnitt der Zustimmung liegt damit bei 2,5 bei einer Standardabweichung von 0,67.

Die hohe Anzahl an Zustimmung untermauert die Sinnhaftigkeit eines Patterns. Der schnelle und einfache Zugang eine harmonische Tonabfolge zu generieren und sie in verschiedene Tonarten zu transponieren, ermutigt viele Benutzer sich weiter mit der Musikproduktion zu beschäftigen.

Kapitel 7

Schlussbemerkungen

7.1 Zusammenfassung

In Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein eigener Ansatz, ein neues Musikinstrument, welches ohne umfangreiche motorische Fähigkeiten oder musiktheoretischen Wissens gespielt werden kann, sich auf die Grundlagen der harmonischen Beziehungen der Töne stützt und in der Entwicklung eines Motivs behilflich sein soll, vorgestellt. Die grundlegende Vorgehensweise besteht dabei aus mehrere aufeinander aufbauenden Schritten: Zunächst wird mittels der Harmonieklaviatur das Tonsystem bestimmt, eine Tonart wird ausgewählt und ergibt eine Tonauswahl. Durch vordefinierte Pattern können Harmoniefolgen auf die Tonarten angewendet werden. Ebenso besteht die Möglichkeit mittels der Melodieklaviatur aus der Tonauswahl eine harmonische Melodie zu generieren.

Der erarbeitete Lösungsansatz wurde in den eigens entwickelten Prototypen praktisch umgesetzt und erprobt. Zur ersten Überprüfung der Qualität des gesamten Systems wurde eine Benutzerbefragung mit zehn Teilnehmern durchgeführt, die das Programm testeten und im Anschluss einen anonymen Fragebogen beantworteten, in dem ihre Meinung zu acht zentralen Qualitätskriterien erhoben wurde. Die Auswertung der Fragebögen zeigte, dass die Benutzer mit den Ergebnissen, welche sie mit dem Einsatz des Prototypens hervorgebracht haben, grundsätzlich zufrieden waren. Gleichzeitig wurden jedoch auch Aspekte sichtbar, die noch Ugedacht werden können. Die Trennung von Harmonie- und Melodieklaviatur stieß nicht auf die große Zustimmung wie erwartet und lässt noch Optimierungsmöglichkeiten offen.

7.2 Ausblick

Die Entwicklung musikalischer Instrumente, die nicht nur einen direkten Zugang zu allen Tönen ermöglichen, sondern tonale Musikmodelle berücksichtigen und somit ungeübten und unerfahrenen Musikern einen einfacheren

Zugang zur Improvisation und Komposition ermöglichen, stellt auch weiterhin ein interessantes Forschungsfeld dar. Besonders nach der größeren Verbreitung und breiten Verwendung von Multitouch-Tables, die viele neue Möglichkeiten in diesem Gebiet ergeben, sind bei der Entwicklung neuartiger Instrumente besonders beliebt. Ihre Potentiale sind bei weitem nicht ausgeschöpft und lassen noch viele Möglichkeiten offen. Der Prototyp, der im Zuge dieser Arbeit entstanden ist, zeigt nur einen ersten eigenen Ansatz in diesem Feld. Viele weitere neue Ideen, die in der Entwicklung und Evaluierung dieses Projektes entstanden sind, warten auf ihre Umsetzung, wie z.B. ein freierer Spielmodus, bei dem sowohl die Harmonie- wie auch Melodiekлавiatur gleichzeitig benutzbar sind. Ebenso ist ein weiterer denkbarer Weg, die Integration eines erweiterten Systems in traditionelle Instrumente. So wäre ein modifiziertes Akkordeon vorstellbar, welches durch ein ähnliches computerunterstütztes System erweitert wird und dadurch einfacheres Spielen und Improvisieren möglich gemacht werden könnte. Ebenso ergeben sich viele neue denkbare Wege im gemeinsamen Musizieren auch mit ungeübten Musikern.

Anhang A

Inhalt der CD-ROM

Format: CD-ROM, Single Layer, ISO9660-Format

A.1 Masterarbeit

Pfad: /

Moosbauer2012.pdf . . . Masterarbeit (Gesamtdokument)

A.2 Literatur

Pfad: /Literatur

*.pdf Kopien der Literatur und Online-Quellen

A.3 Projektdateien

Pfad: /Projekt

/Aoide Quellcode des Prototyps

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] D. Bogner. „Zwei Formthemen – Johannes Itten und Josef Matthias Hauer“. In: *Farbe – Licht – Musik – Synästhesie und Farblichtmusik*. Hrsg. von D. Bogner und E. Badura Triska. Wien: Löcker Verlag, 1988, S. 72–79.
- [2] E. Chew. „Towards a Mathematical Model of Tonality“. Diss. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [3] G. Gatzsche u. a. „The Harmony Pad – A new creative tool for analyzing, generating and teaching tonal music“. In: *Proceedings of the Audio Mostly Conference*. Pitea, Sweden, 2008, S. 86–93.
- [4] C. Hartfeldt, W. Eid und H. Henning. *Mathematik in der Welt der Töne*. Techn. Ber. Magdeburg, Germany: Fakultät für Mathematik, 2002. URL: <http://www.math.uni-magdeburg.de/reports/2002/musik.pdf>.
- [5] H. v. Helmholtz. *Die Lehre von den Tonempfindungen*. Braunschweig: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1863.
- [6] J. Jewanski. „Die neue Synthese des Geistes. Zur Synästhesie–Euphorie der Jahre 1925–1933“. In: *Synästhesie. Interferenz – Transfer – Synthese*. Hrsg. von H. Adler und U. Zeuch. Würzburg: Königshausen und Neumann, 2002, S. 15–30.
- [7] J. Jewanski. „Ist C = Rot? Eine Kultur - und Wissenschaftsgeschichte zum Problem der wechselseitigen Beziehung zwischen Ton und Farbe. Von Aristoteles bis Goethe“. Diss. Berlin, 1996.
- [8] J. Jewanski. „Kunst und Synästhesie während der Farbe-Ton-Kongresse in Hamburg“. In: *Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie 18*. Hrsg. von K.E. Behne, G. Kleinen und H. de la Motte Haber. Hogrefe, 2006, S. 191–206.
- [9] S. Jorda. „Digital Lutherie: Crafting musical computers for new musics erformance and improvisation“. Diss. Barcelona: Universitat Pompeu Fabra, 2005.

- [10] M. Kepřt. *Skrjabins Farb-Ton Zuordnungen im Umfeld ähnlicher Synästhetischer Bestrebungen in der Kunst seiner Zeit*. Techn. Ber. Olomouc: Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, 2001. URL: <http://publib.upol.cz/~obd/fulltext/Musicologica%206/musicol6-9.pdf>.
- [11] M. Kolinski. „Recent trends in ethnomusicology“. In: *Ethnomusicology* 11. Illinois: University of Illinois Press, 1976, S. 1–24.
- [12] C. L. Krumhansl. „Rhythm and Pitch in Music“. In: *Psychological Bulletin*. Hrsg. von Stephen P. Hinshaw. Ithaca: American Psychological Association, Inc, 2000, S. 159–179.
- [13] H. K. H. Lange. *Allgemeine Musiklehre und Musikalische Ornamentik*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 1991.
- [14] F. Lerdahl. *Tonal pitch space*. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- [15] S. Maupin, D. Gerhard und B. Park. „Isomorphic Tessellations for Musical Keyboards“. In: *8th Sound and Music Computing Conference*. Padova, Italy, 2011.
- [16] Y. Nishibori und T. Iwai. „Tenori-On“. In: *Proceedings of the 6th International Conference on New Interfaces for Musical Expression NI-ME06*. Paris, France, 2006, S. 172–175.
- [17] R. Parncutt. „Wechselwirkungen zwischen Schallereignissen“. In: *Musikpsychologie – Ein Handbuch*. Hrsg. von H. Bruhn, R. Oerter und H. Rosing. Rowolt: Reinbeck, 1994, S. 670–678.
- [18] K. Peacock. „Instruments to Perform Color-Music: Two Centuries of Technological Experimentation“. In: *Leonardo*. Windham, CT: Pergamon Press, 1988, S. 397–406.
- [19] J. Roederer. *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1977.
- [20] R. N. Shepard. „Geometrical approximations to the structure of musical pitch“. In: *Psychological Review*. 1982, S. 305–333.
- [21] M. Spitzer. *Musik im Kopf – Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk*. 9. Aufl. Stuttgart: Schattauer, 2009.
- [22] E. Terhardt. „Ein psychoakustisches begründetes Konzept der Musikalischen Konsonanz“. In: *Acustica* 36. S. Hirzel Verlag, 1976, S. 121–137.
- [23] B. Wöldecke u. a. „ANTracks 2.0 – Generative Music on Multiple Multitouch Devices“. In: *Proceedings of the 2010 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2010)*. Sydney, Australia, 2010, S. 172–175.

Online-Quellen

- [24] URL: <http://home.vicnet.net.au/~colmusic/maistre.htm> (besucht am 20.10.2012).
- [25] URL: http://piz.nmz.de/aeb/Farb_KLang_PIZ/Klangfarben/skrjabin.htm (besucht am 20.10.2012).
- [26] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Autoharp> (besucht am 01.12.2012).
- [27] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tronichord> (besucht am 01.12.2012).
- [28] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Arpeggiator> (besucht am 01.12.2012).
- [29] URL: <http://www.7aliens.com/product-catanya.php> (besucht am 01.12.2012).
- [30] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tenori-on> (besucht am 19.10.2012).
- [31] URL: <http://de.yamaha.com/de/products/musical-instruments/entertainment/tenori-on> (besucht am 19.10.2012).
- [32] URL: <http://www.balanced-keyboard.com/Layout.aspx> (besucht am 20.11.2012).
- [33] URL: http://www.c-thrumusic.com/cgi/?page=prod_axis-64 (besucht am 20.10.2012).
- [34] URL: www.youtube.com/watch?v=AklKy2NDpqs (besucht am 20.10.2012).
- [35] URL: http://www.c-thru-music.com/cgi/?page=prod_axis-64 (besucht am 02.12.2012).
- [36] URL: <http://www.theshapeofmusic.com> (besucht am 01.12.2012).
- [37] URL: http://shiverware.com/musix/harmonic/harmonic_manual.pdf (besucht am 01.12.2012).
- [38] URL: <http://www.apple.com/> (besucht am 01.12.2012).
- [39] URL: <http://www.apple.com/at/ilife/garageband> (besucht am 02.12.2012).
- [40] URL: <http://nerds.de/en/loopbe1.html> (besucht am 02.12.2012).
- [41] J. Jewanski. *Farbe-Ton-Analogien*. URL: <http://www.see-this-sound.at/kompodium/text/43/>.
- [42] J. Jewanski. *Von den Farbenklavieren zur autonomen Lichtkinetik*. URL: <http://www.see-this-sound.at/kompodium/abstract/69>.
- [43] M. McDonnell. *Visual Music*. 2007. URL: <http://www.soundingvisual.com/visualmusic/VisualMusicEssay.pdf>.