Kriterien für eine optimale Mikrofonierung des Akkordeons als Begleit- und Soloinstrument

Darstellung, Analyse und Auswertung eines Forschungsprozesses im Bereich der Aufnahmetechnik

Bachelorarbeit von Benjamin Weinmüller
Matrikelnummer: 0622607
Studienrichtung: Elektrotechnik-Toningenieur (V 033 213)

Graz, am 01.05.2014

Dipl.-Ing. Dr.techn. Alois Sontacchi
Institut 17 Elektronische Musik und Akustik
Aufnahmetechnik 01 (SE) SS 2013

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung....3
2 Definitionen der in der Arbeit verwendeten Begriffe....4
2.1 Definition der in der Arbeit verwendeten Teiltonskala....4
2.2 Definition von Klangfarbe beschreibenden Adjektiven nach Helmholtz....4
3 Aufbau und Funktionsweise des Akkordeons....5
3.1 Das Akkordeon auf einen Blick....5
3.2 Die Tonerzeugung des Akkordeons....7
4 Durchführung des praktischen Teils....13
4.1 Messungen....13
4.2 Verarbeitung in Matlab....15
5 Analyse der Ergebnisse....16
5.1 Teiltonspektren....16
5.2 Spektrale Analysen....18
5.2.1 Tristimulus....18
5.2.2 Aufnahmewinkel....20
5.2.3 Mikrofonabstand....22
5.2.4 Mikrofonlagen....23
5.3 Zeitlicher Verlauf des Akkordeontones....24
5.4 Erkenntnisse....25
6 Schlussfolgerungen....26
7 Literatur- und Geräteverzeichnis....28
7.1 Literaturliste....28
7.2 Geräteliste....29

1 Einleitung

Die Motivation der vorliegenden Bachelorarbeit liegt darin, Kriterien für die Mikrofonierung des Akkordeons zu erarbeiten. Diese ermöglichen in Folge das Auffinden günstiger Ausgangspunkte im Live- als auch Studiobereich. Nach eigenen Erfahrungen kommt es oft zu Unzufriedenheit sowohl bei MusikerInnen als auch bei AufnahmetechnikerInnen, weil meist erst ein langwieriges "Probieren" zu einem akzeptablen Ergebnis führt – was jedoch übermäßig viel Zeit in Anspruch nimmt, die in der Praxis meist kaum vorhanden ist.

Ziel dieser Arbeit ist es, fundierte Erkenntnisse über die Aufnahmesituation eines Akkordeons bereitzustellen, die sich auf systematische Untersuchungen stützen. Primär werden für zwei klassische Aufnahmesituationen Empfehlungen abgegeben, die einerseits das Akkordeon als *Begleitinstrument* und andererseits das Akkordeon als *Soloinstrument* im Blick haben.

Zuerst werden die in der Arbeit verwendeten Begriffe definiert und ein Überblick über den Aufbau und die Funktionsweise eines Akkordeons gegeben. Dabei werden die Entstehung eines Tones und die Komponenten, die die typische Klangfarbe des Akkordeons bestimmen, behandelt. Im nächsten Schritt wird das Schallfeld vor dem Instrument untersucht, um zu zeigen, welche spezifischen Klangeigenschaften ein Akkordeon besitzt.

In Kapitel vier und fünf wird der Prozess der Schallmessung beschrieben und die Ergebnisse signalverarbeitungstechnisch ausgewertet. Dies stellt die Grundlage dar, um schlussendlich Aussagen über mögliche Mikrofonpositionen treffen zu können.

In dieser Arbeit wird die Diskantseite des Akkordeons behandelt. Abgeleitet von den Erkenntnissen, die durch die Untersuchung erhoben wurden, lassen sich aufgrund der selben Bauform und Tonerzeugung der Bassseite auch dort ähnliche Ergebnisse erwarten.

2 Definitionen der in der Arbeit verwendeten Begriffe

2.1 Definition der in der Arbeit verwendeten Teiltonskala

In dieser Arbeit werden häufig Klänge beschrieben, die aus ihrem Grundton plus den dazugehörigen harmonischen Teiltönen/Obertönen bestehen. Hierzu wird der Grundton immer mit f_0 und die Teiltöne mit $f_1, f_2, \ldots, f_n$ bezeichnet. Der erste Teilton entspricht somit f_1 und ist *nicht* der Grundton.

2.2 Definition von Klangfarbe beschreibenden Adjektiven nach Helmholtz

Um Klangfarben wörtlich besser beschreiben zu können, ohne immer Frequenzspektren angeben zü müssen, benötigt man andere Parameter. Hierzu werden bestimmte Adjektive verwendet, die von *Hermann von Helmholtz* zur Beschreibung von Klangfarben in seinem Buch *"Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik"* eingeführt wurden. Es werden definiert[1]:

1. Einfache Töne mit keinen oder wenigen Obertönen, wie zum Beispiel ein Sinus Ton oder gedackte Orgelpfeifen, klingen *dumpf*.
2. Klänge, welche von einer Reihe ihrer niederen Obertöne bis etwa zum sechsten hinauf begleitet sind, sind klangvoller. Instrumentenbeispiele hierfür sind: offene Orgelpfeifen, weichere Pianotöne, Horn, etc. Ihre Klangfarbe wird von Helmholtz als *warm* und *weich* definiert.
3. Wenn nur die ungeradzahligen Obertöne da sind, wie zum Beipsiel bei der Klarinette, so bekommt der Klang einen *hohlen*, oder bei einer größeren Zahl von Obertönen, *näselnden* Charakter.
4. Wenn die höheren Obertöne jenseits des sechsten oder siebten sehr deutlich sind, wird der Klang als *scharf* empfunden. Bei geringerer Ausprägung zum Beispiel bei Streichinstrumenten, Harmonikas, Oboe und Fagott. Sind die Obertöne stark ausgeprägt, wird der Klang zusätzlich *brilliant* und hat gute Durchsetzungskraft, wie zum Beispiel bei den Blechblasinstrumenten.

1 Vgl. von Helmholtz, Hermann, Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, 180-181.

3 Aufbau und Funktionsweise des Akkordeons

3.1 Das Akkordeon auf einen Blick

In Abbildung 1 ist ein typisch aufgebautes Akkordeon dargestellt. Diese bestehen aus drei großen Baugruppen: Diskantgehäuse, Bassgehäuse und Balg. Die Tonerzeugung des Akkordeons geschieht durch periodische Unterbrechung eines Luftstroms mittels frei schwingender, innerhalb eines seperaten Längsrahmens spaltgenau durchschwingender Tonzungen. Durch Bewegen des Balges wird ein Luftstrom induziert (Spielwind). Durch Öffnen bzw. Schließen des Balges entsteht einerseits Druckwind und andererseits Saugwind.

Abbildung 1: Abbildung eines typischen Akkordeons mit Pianotastatur

Außen an den Diskant- und Bassgehäusen befinden sich Spieleinrichtungen in Form von Knopf- bzw. Pianotastaturen, deren Mechaniken durch ein Verdeck vor Staub und Beschädigungen geschützt werden. Große Öffnungen sorgen für eine möglichst ungehinderte Klangabstrahlung durch das Verdeck, welches durch dessen optische Gestaltung zugleich auch das Erscheinungsbild des jeweiligen Akkordeons prägt.[2]

Um das Raumangebot des Akkordeons voll auszunutzen, verteilt sich der Tonvorrat der Diskanttastatur auf mehrere sogenannte Stimmstöcke, welche wiederum aus jeweils zwei Stimmplattenreihen bestehen (siehe Abb. 2).

2 Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 27.

Abbildung 2: Stimmstock eines Akkordeons mit Stimmplatten und darauf festgenieteten Stimmzungen und Ventilen[3]

Auf diesen Stimmplatten sind die Tonzungen angebracht. Die Stimmstöcke werden auch als Chöre bezeichnet. Je nachdem wie viele Chöre das Akkordeon besitzt, werden beim Tastendruck dementsprechend viele Tonlöcher gleichzeitig freigegeben. Damit nicht immer alle Chöre gleichzeitig erklingen, ist das Akkordeon mit Registerschiebern ausgestattet. Diese sind seitlich in einer Schieberbahn verschiebbar, manuell bedienbar (durch Registerdrücker) und können die Tonlöcher eines Chores je nach Bedarf sperren oder freigeben.[4] (Siehe Abb. 3)

3 Grafik entnommen aus: siehe Kapitel 7.1

4 Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 28-30.

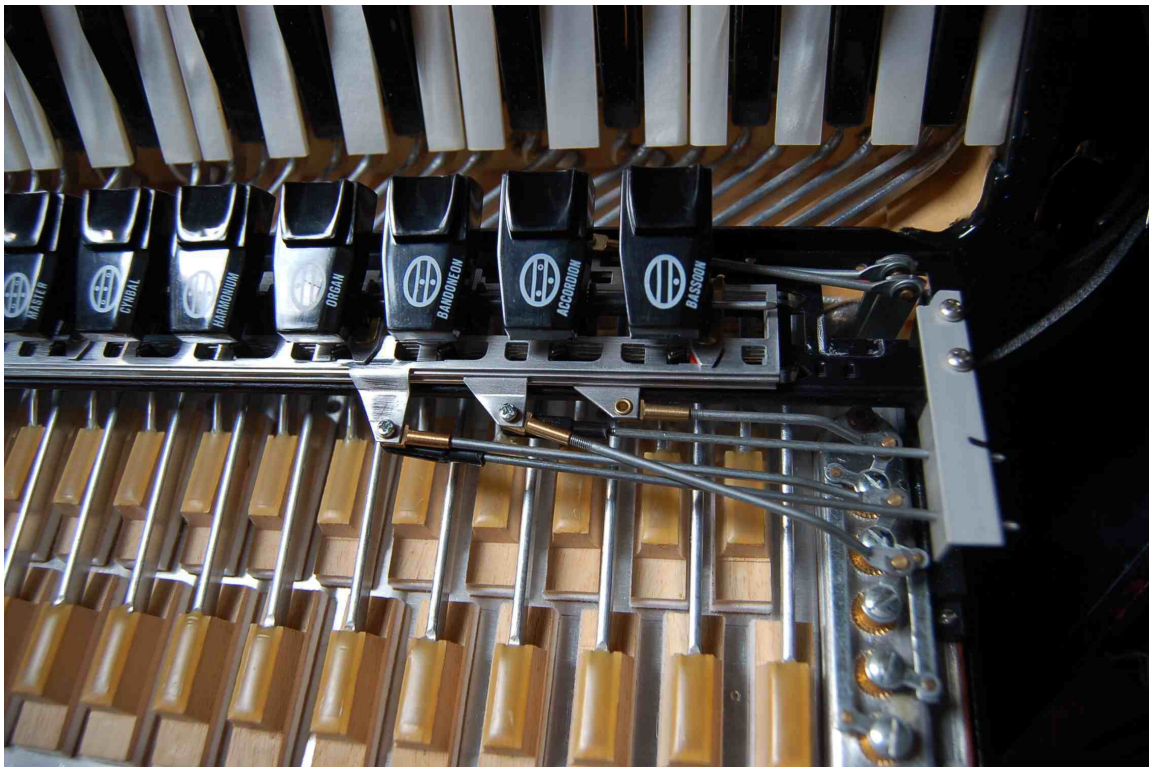

Abbildung 3: Offene Akkordeon Diskantseite mit Registersystem und Clavishebeln und daran befestigten Tonklappen[5]

3.2 Die Tonerzeugung des Akkordeons

Jeder Akkordeonton wird mit einer eigenen Stimmzunge erzeugt. Wird am Akkordeon eine Taste niedergedrückt, öffnet sich eine an der Taste mittels Clavis-Hebel befestigte Tonklappe und gibt den Luftweg frei. Die Luft kann hinein- oder hinausströmen.

Unterhalb des Verdecks und der Tonklappen befinden sich Stimmplatten, die mit Wachs an Stimmstöcken befestigt sind. Dieses Wachs sorgt auch für die erforderliche luftdichte Verbindung von Stimmplatte und Stimmstock. Jede Stimmplatte trägt zwei Tonzungen, die mit den Platten fest vernietet sind und in einem passgenau ausgeschnittenen Spalt der Stimmplatte (Schwingungskanal) frei schwingen können.

> "Aufgrund der geometrischen Anordnung von Tonzunge und Rahmenplatte kann die Tonzunge nur durch Spielwind zur Schwingung gebracht werden, der von der Seite auf die Tonzunge trifft, auf der sie auch mit der Rahmenplatte vernietet ist."[6]

5 Grafik entnommen aus: siehe Kapitel 7.1

6 Hester, Akkordeon begreifen, 58.

Aus diesen Gründen kann eine Tonzunge nur bei Saugwind und die andere dementsprechend nur bei Druckwind schwingen. Durch Abdeckung mittels Ventilen an den Rückseiten der Tonzungen wird verhindert, dass der Spielwind die jeweils ungenutzte Tonzunge umströmt. In der hohen Lage wird jedoch auf diese Ventile verzichtet, da sie die Klangabstrahlung beeinträchtigen würden.[7]

Die Biegeschwingungsfrequenz der Tonzunge entspricht der abgestrahlten Tonhöhe. Man hört die durch Pendelbewegung der Tonzunge periodisch unterbrochene Luftströmung.[8]

Als Schallquelle fungiert also die unterbrochene Luftströmung. Die Schwingung der Tonzunge selbst dient demnach hauptsächlich zur Steuerung des Luftstromes, denn ihr selbst erzeugter Schall ist im Vergleich zum entstehenden Schall der Luftströmung um vieles geringer.[9]

Jede Schwingung einer Tonzunge lässt sich in vier wie in Abb. 4 dargestellte Phasen einteilen. In Phase 1 wird durch Bewegung des Balges der Druck auf einer Seite der Zunge größer. Es wird angenommen, dass der Druck oberhalb der Zunge größer ist als unterhalb.

> "Dabei wirken Bernoulli-Kräfte auf das obere, leicht aufgebogene Tonzungenende und regen die Tonzunge zu einer ersten Pendelbewegung an."[10]

Die Zunge nimmt bei jeder Pendelbewegung weitere Energie aus dem Luftstrom auf, um dann schließlich erstmals in den Schwingungskanal einzutauchen. Durch das Eintauchen der Zunge in den Kanal wird die Strömung plötzlich gestoppt, wodurch eine Stauung eintritt. In Phase 2 findet deshalb kaum mehr Druckausgleich statt.

Diese Druckerhöhung beschleunigt die Zunge in Bewegungsrichtung, es findet also eine Energieübertragung statt, ohne welche keine gleichbleibende Amplitude möglich wäre – die Tonzunge würde nach einer Anregung irgendwann ausschwingen. Dadurch schwingt die Zunge in Phase 3 an der unteren Seite des Kanals heraus und gibt den Luftstrom ein weiteres Mal frei.

7 Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 28-29.

8 Vgl. ebd. 57.

9 Vgl. Richter, Handbuch der Harmonikainstrumente, Teil 1, 35.
Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 63.

10 Hester, Akkordeon begreifen, 60.

Aufgrund des nun plötzlichen Druckabfalls und ihrer eigenen Rückstellkraft schwingt die Tonzunge in Phase 4 entgegen der Strömungsrichtung in den Schwingungskanal zurück und durch ihren Bewegungsimpuls sogar über den Ruhepunkt hinaus, um dann nach dem Erreichen des Umkehrpunktes erneut in die Schwingungsphase 1 einzutreten.[11]

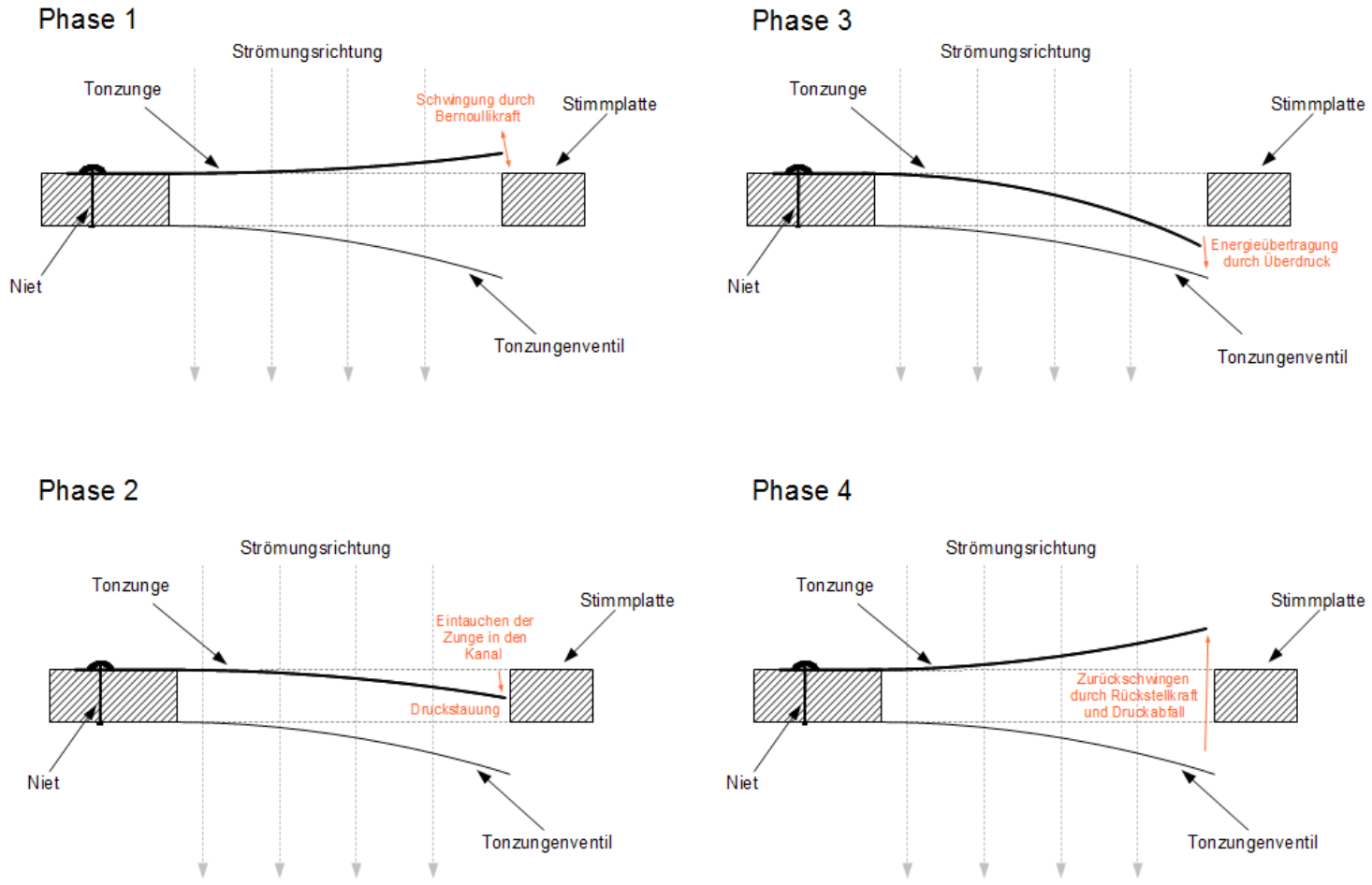

Abbildung 4: Schwingungsphasen einer Tonzunge[12]

Durch diesen Ablauf der Zungenschwingung bekommt man eine spezielle Steuerung der Luftströmung, die einen Wechseldruck hervorruft. Dieser wird als Schalldruck wahrgenommen und ist in Abb. 5 dargestellt.

11 Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 59-61.
Vgl. Richter, Handbuch der Harmonikainstrumente Teil 1, 35-37.

12 Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 60.
Vgl. Richter, Handbuch der Harmonikainstrumente, Teil 1, 37.

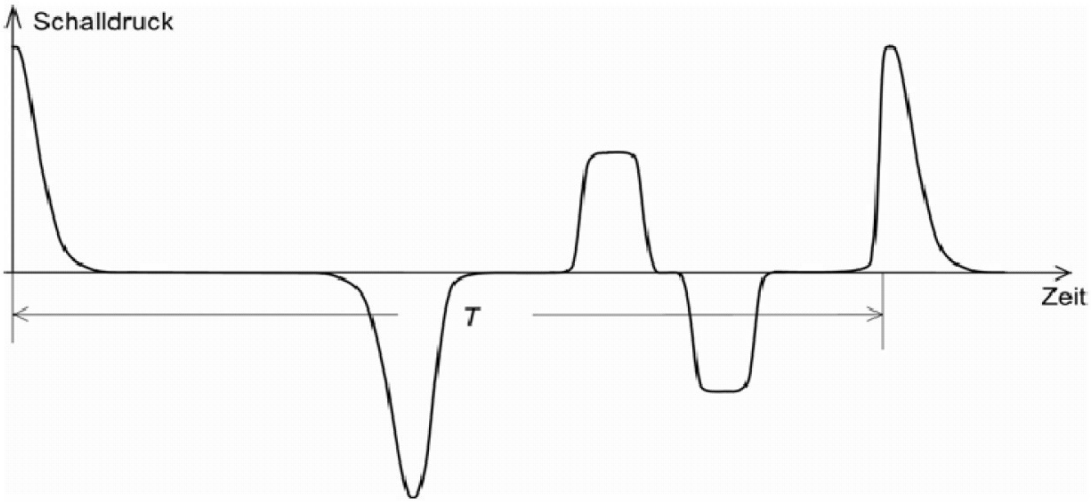

Abbildung 5: Durch Tonzungenschwingung hervorgerufener Schalldruckverlauf[13]

Obwohl der Ton eines Akkordeons durch eine einfache Pendelbewegung erzeugt wird, bekommt man doch einen sehr teiltonreichen Klang als Ergebnis. Ursache dafür sind einerseits die durch die Druckstauungen entstehenden sprunghaften Änderungen des Luft- und demnach auch Schalldrucks und andererseits die Verwirbelungen des Luftstroms an den scharfen Kanten der Tonzunge und des Schwingungskanals.

Durch die harmonische Schwingung der Tonzunge (Pendelbewegung) bekommt man einen periodischen Schwingungsverlauf, der dazu führt, dass die Luftverwirbelungen im Schwingungskanal ebenfalls periodisch verlaufen und zu weiteren periodischen Schwingungen im Luftstrom führen. Diese Schwingungen sind die klanggebenden harmonischen Teiltöne/Obertöne eines Akkordeons.

Demnach bekommt man – wie in Abb. 5 ersichtlich – eine von einem Sinus doch sehr stark abweichende, impulshafte Schwingung, die neben dem Grundton zahlreiche weitere Teiltöne vorweist.[14]

Unterhalb jeder Stimmplatte befindet sich eine Kanzelle, welche den Spielwind vom Tonloch zur Stimmplatte und umgekehrt führt. Sie wirkt zusätzlich als Resonanzraum, der jedoch aufgrund des begrenzten Raumangebots im Akkordeon nur bei Tönen der mittleren und hohen Lage zur Verstärkung der Grundfrequenz bzw. der ersten Teiltöne dient. In der tiefen Lage trägt die Kanzelle nur zur Formantenbildung in bestimmten höheren Frequenzgebieten des Teiltonspektrums bei, was dem Akkordeon seinen spezifischen Klang verleiht.[15] (siehe Abb. 6)

13 Vgl. Krist, Aufbau und Funktionsweise des Akkordeons, 10.

14 Vgl. Hester, Akkordeon begreifen, 72-74.

15 Vgl. Ebd. 29.

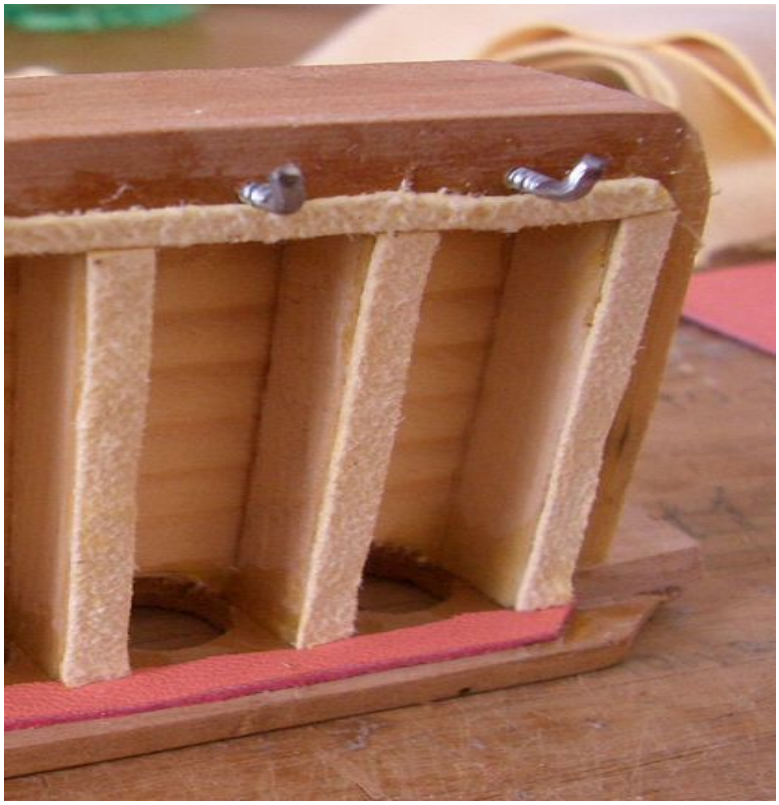

Abbildung 6: Kanzelle eines Akkordeons mit angrenzendem Tonloch[16]

Zum Klangspektrum des Akkordeons:

Das Akkordeon hat ein sehr teiltonreiches Spektrum. Mit höherer Oktavlage liegen einige hohe Teiltöne außerhalb des menschlichen Hörbereichs. Hin zu höheren Klängen verliert die Klangfarbe des Akkordeons dadurch mehr und mehr das Geräuschhafte und wird als weniger scharf empfunden.

Weiters beeinflusst die Kanzelle im höheren Bereich die Obertöne, aber ebenso die Grundfrequenz, während bei tiefen Klängen der 2. Teilton vorherrschend ist und auch der 1. den Grundton überragt.[17]

> "Beim Akkordeon treten also insbesondere die Oktave oder die Quinte über der Oktave hervor. (So gesehen ließe sich der Akkordeonklang beinahe als Mixturklang bezeichnen.)"[18]

16 Grafik entnommen aus siehe Kapitel 7.1.

17 Vgl, Richter, Handbuch der Harmonikainstrumente, Teil 2, 21.

18 Hester, Akkordeon begreifen, 74.

Zum Spieldruck ist zu sagen, dass die Klangfarbe mit höherem Spieldruck in allen Lagen schärfer wird, insbesondere bei höheren Tönen.[19]

Eine genauere Betrachtung der Kanzelle als einseitig offenes Rohr mit der effektiven Länge *l*, die von der oberen Öffnung des Tonlochs bis zur Kanzellenspitze gemessen werden muss (siehe Abb. 6), lässt eine Berechnung der Eigenschwingungsfrequenzen *f* der Kanzelle nach Formel (1) berechnen.[20]

$$f = \frac{(c \cdot k)}{(4 \cdot l)} \qquad (1)$$

c ... Schallgeschwindigkeit $k = 1, 3, 5, \ldots$

Durch diese Eigenschwingungen bekommt man eine formantenhafte Verstärkung bestimmter Frequenzbereiche rund um die Eigenfrequenzen.

Aus dem bisher Gesagten kann man zusammenfassen, dass die Tonerzeugung des Akkordeons durch Spalt-kombinierte Tonzungen erfolgt, zu deren Abstrahlung kein zusätzlicher Resonanzraum benötigt wird. Dennoch wirken sich die Kanzellen der Stimmstöcke auf das abgestrahlte Teiltonspektrum aus. Es entsteht ein Obertonspektrum, welches bis zur Hörgrenze und darüber hinaus reicht und einen brillianten und scharfen Klang zur Folge hat.

19 Vgl, Richter, Handbuch der Harmonikainstrumente, Teil 2, 21. 29-31.

20 Vgl. Ebd. 35.

4 Durchführung des praktischen Teils

4.1 Messungen

Als erstes wurden Messungen am Akkordeon durchgeführt, um Samples für die Auswertung zu bekommen. Diese wurden im *Cube* des *Instituts für elektronische Musik* in Graz durchgeführt, da dieser sehr groß ist und gute akustische Eigenschaften hat. Dies führt dazu, dass durch die Messungen nahe am Instrument nahezu *Freifeldbedingungen* herrschten.

In Abb. 7 und 8 werden schematisch die verschiedenen Mikrofonpositionen der Messungen dargestellt. Durch Radial- bzw. Abstandsmessungen (siehe Abb. 7) konnten dadurch neun Mikrofonpositionen erreicht werden, an welchen in drei äquidistanten Lagen (jeweils eine Oktave über oder unter a', siehe Abb. 8) gemessen wurde. Dies führt zu einer Menge an 27 verschiedenen Positionen, welche sowohl Abstand, Winkel und Lage des Mikrofons berücksichtigen.

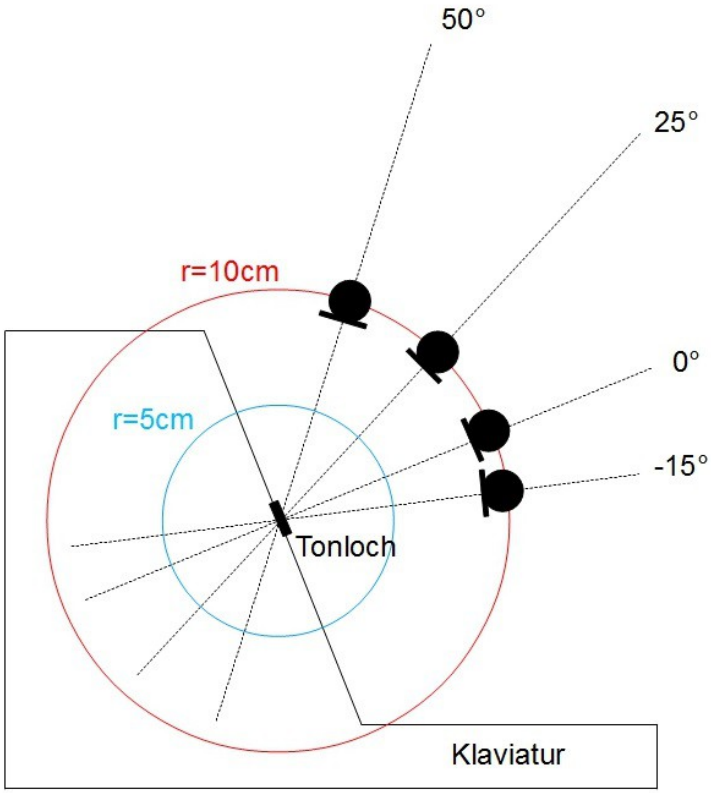

Abbildung 7: Neun Mikrofonpositionen für Radial- und Abstandsmessungen. Zusätzlich zu den 4 Positionen pro Radius wurde auch noch eine Position direkt am Tonloch gemessen

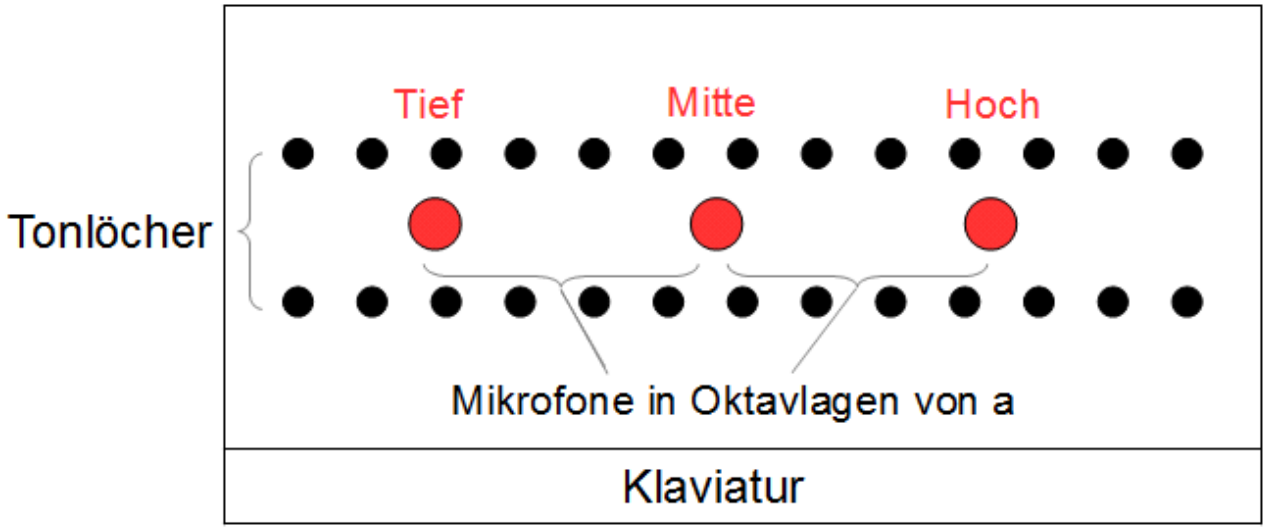

Abbildung 8: Mikrofonpositionen in drei äquidistanten Lagen

Weiters wurde auch noch für jede der drei Lagen ein kompletter chromatischer Lauf über die gesamte Klaviatur aufgenommen, um beurteilen zu können, wie sich der Klang verändert, wenn beispielsweise von der hohen Lage zur tiefen Lage gewechselt wird und das Mikrofon in der hohen Lage platziert ist.

Alle Messungen wurden im hohen, tiefen und im Schwebungsregister (zwei hohe Chöre leicht gegeneinander verstimmt) gemessen, um die typischen Klangfarben des Akkordeons abdecken zu können.

Bei den Messungen wurden G.R.A.S. Messmikrofone verwendet. Es wurde immer ein Mikrofon zur Messung verwendet, während das andere (immer an gleicher Stelle stehend) den Referenzpegel gemessen hat, um festzustellen ob immer annähernd der selbe Spieldruck gegeben war. Dies ist notwendig, um zu großen Schwankungen in den Messungen vorzubeugen. Um eine gänzlich Störungsfreie Messung durchführen zu können, wäre es jedoch nötig gewesen, das Akkordeon an eine Art *"Blasgerät"* anzuschließen. Jedoch ist im Studio und Live Bereich zu erwarten, dass durch menschliche Spielweise immer etwaige kleine Störungen auftreten. Aus diesem Grund konnte das vernachlässigt werden.

4.2 Verarbeitung in Matlab

Nach den Messungen erfolgte die Verarbeitung der Samples in MATLAB. Mittels FFT (Fast Fourier Transformation) kann man Audiosignale im Frequenzbereich betrachten und sich somit Amplituden und Phasenspektrum anschauen. Hierzu wurde eine Kurzzeit FFT angewandt. Diese ist im Grunde eine normale FFT, welche jedoch auf kurze Zeitabschnitte des Signals angewandt wird. Zusätzlich wurde auf jeden Zeitabschnitt eine Fensterung mittels Hamming-Window angewandt.

Zur Bestimmung der Frequenzkomponenten wurde ein Mittelwert über alle diese Zeitabschnitte genommen, um etwaigen Schwankungen (Spieldruck, etc.) vorzubeugen. Daraus wurden mittels Matlab-Funktionen die Spitzenwerte (Peaks) des Absolutbetrags, die den Teiltöne des Signals entsprechen, ermittelt.

Um eine wirklich exakte Darstellung der Frequenzkomponenten herauszuarbeiten, wird eine sehr hohe Rechenleistung für die FFT benötigt. Dies kann man aber insofern ändern, als das man eine FFT mit weniger Samples durchführt, an den relevanten Stellen allerdings eine *parabolische Interpolation* durchführt. Bei der parabolischen Interpolation wird das Maximum jedes Peaks durch die benachbarten Frequenzen interpoliert, sodass sich die Position des Maximums verschiebt, solange sich die Amplituden der Nachbarpunkte nicht gleichen. Dabei lässt sich ein Positionsverschiebungswert nach folgender Formel berechnen:

$$\delta = 0.5 \frac{X_{Mag,l} - X_{Mag,r}}{X_{Mag,l} - 2X_{Mag,m} + X_{Mag,r}} \qquad (2)$$

X_{Mag} ist der Amplitudenwert des Signals wobei die Zusätze m, l, r die Position des Werts bestimmen (Mitte, links, rechts).

Anschließend wurden die berechneten Ergebnisse mit verschiedenen Arten von Plots dargestellt.

5 Analyse der Ergebnisse

5.1 Teiltonspektren

Als erstes wird ein für Akkordeon typisches Teiltonspektrum in zwei verschiedenen Darstellungsformen betrachtet. Das Mikrofon war auf 0° und 10 cm Abstand direkt vor dem Tonloch aufgestellt.

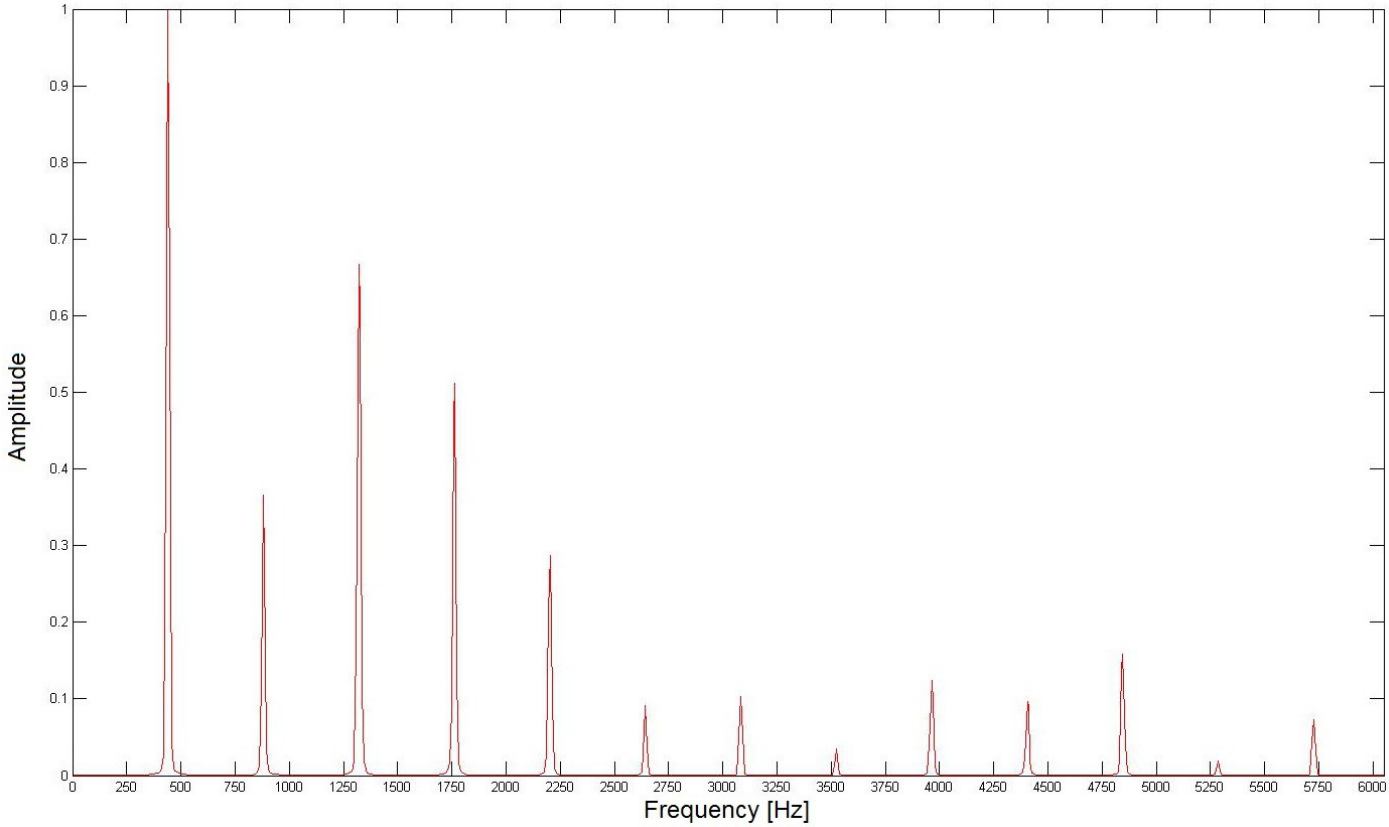

Abbildung 9: Teiltonspektrum eines a' (440 Hz)

In Abb. 9 und 10 sieht man ein Teiltonspektrum des Tones a'. Wie in Kapitel 1 beschrieben sieht man ein sehr teiltonreiches Spektrum bei dem sogar noch Obertöne bis zum zehnten bzw. zwölften Oberton vorhanden sind. Die Darstellungsform in Abb. 10 betrachtet den am stärksten ausgeprägten Teilton als Referenz mit 0 dB. Alle anderen Teiltöne sind im Verhältnis dazu gesetzt.

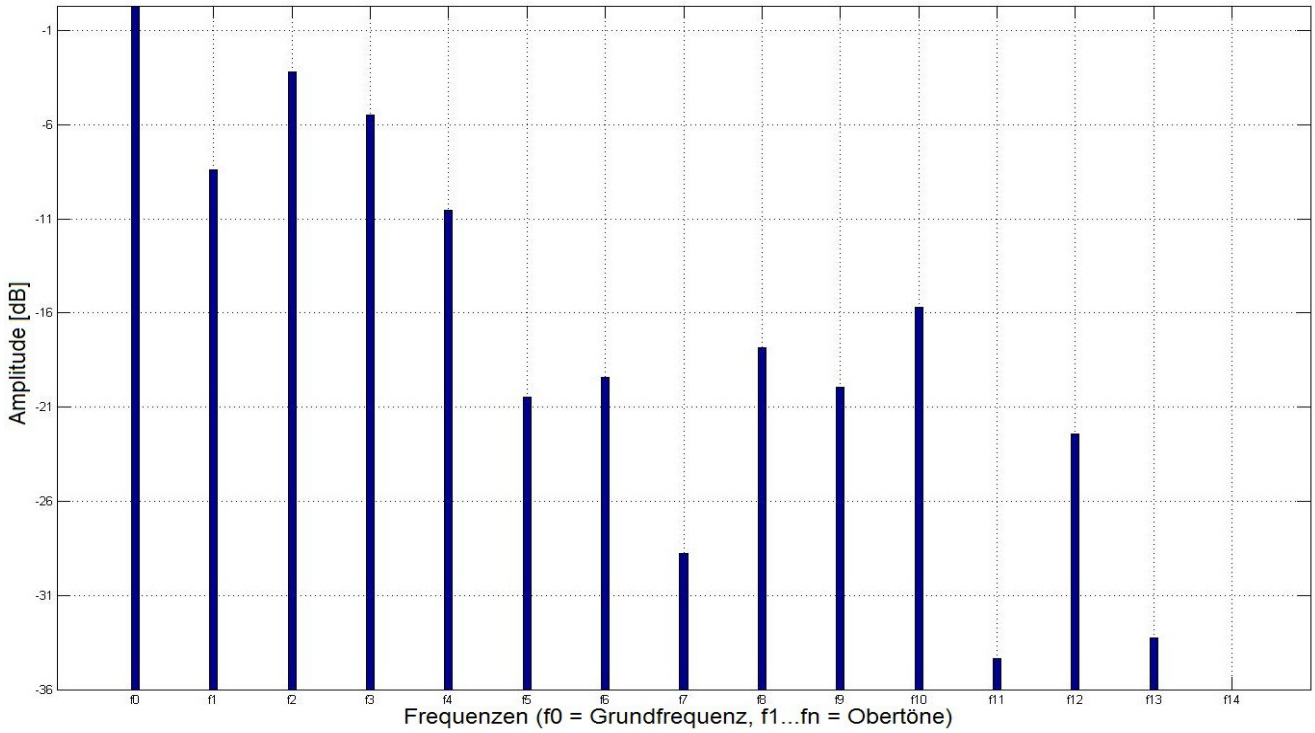

Abbildung 10: Teiltonspektrum eines a' (440 Hz) in Balkenform

Im Vergleich dazu sieht man in Abb. 11 das Spektrum des selben Tones, jedoch gespielt mittels Schwebungsregister. Man erkennt deutlich, dass die Stimmzungen leicht zueinander verstimmt sind, was speziell in den höheren Teiltonbereichen zu *Schwebung* führt.

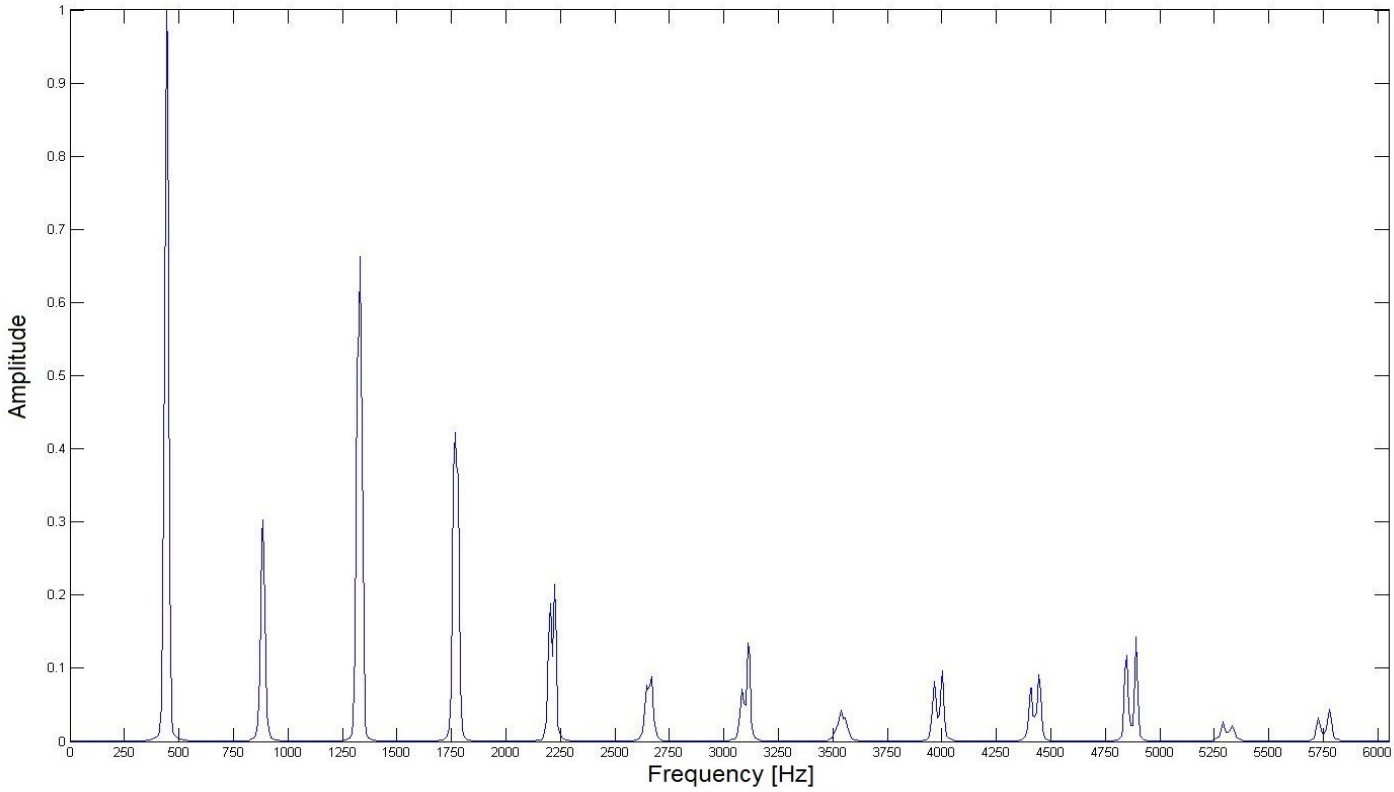

Abbildung 11: Teiltonspektrum eines a' (440 Hz) gespielt im Schwebungsregister

Diese *Schwebung* ist deutlich zu hören. Erklingen zwei Töne, deren Frequenzen sich nur wenig unterscheiden, so ist ein Ton zu hören, dessen Frequenz dem Mittelwert der Frequenzen der beiden überlagerten Töne entspricht. Dieser Ton ist *moduliert*, das heißt seine Lautstärke schwankt mit der sogenannten *Schwebungsfrequenz*, die der Differenz der Frequenz der beiden Töne entspricht.

5.2 Spektrale Analysen

5.2.1 Tristimulus

Als erstes eingeführt von H.F. Pollard 1982 in *A Tristimulus Method for the Specification of Musical Timbre* ist der Tristimulus eine Beschreibungsform für die *Amplitudeneinhüllende*. Es wird die Amplitude der Grundschwingung, der ersten drei Teiltöne und der höher liegenden Teiltöne in Relation zur Gesamtenamplitude gesetzt – vgl. Formel (3) bis (5) unten. Die jeweiligen dadurch entstehenden Anteile bilden in Summe die Gesamtheit, also 100 Prozent.

$$tristimulus1 = \frac{a_1}{\sum_{k=1}^{Np} a_k} \qquad (3)$$

$$tristimulus2 = \frac{a_2 + a_3 + a_4}{\sum_{k=1}^{Np} a_k} \qquad (4)$$

$$tristimulus3 = \frac{\sum_{k=5}^{Np} a_k}{\sum_{k=1}^{Np} a_k} \qquad (5)$$

a_k ... *Teiltonamplituden*, Np ... *Anzahl der Teiltöne*

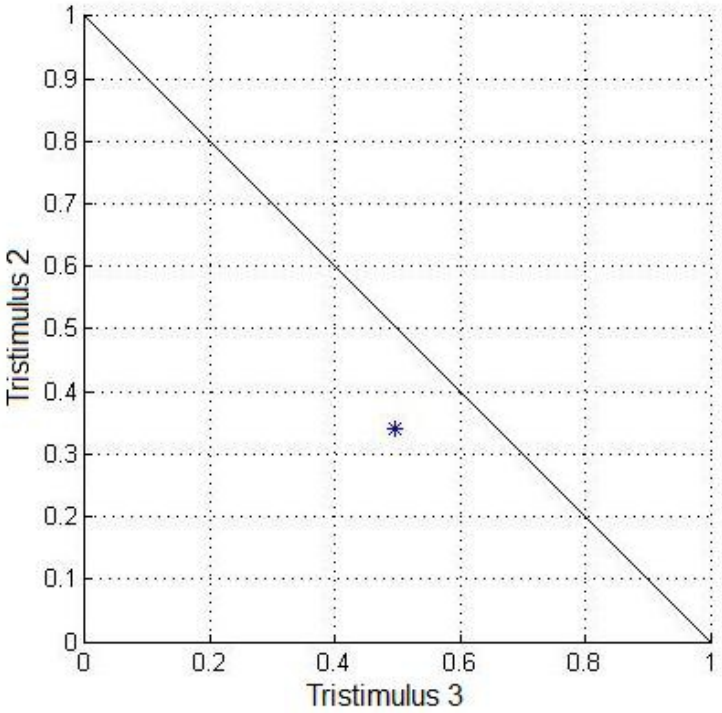

Abbildung 12: Tristimulus 3 geplottet gegen Tristimulus 2

In Abb. 12 wurde der Tristimulus des Mittelwertes über alle Messungen der chromatischen Läufe in den drei äquidistanten Lagen berechnet. Hierdurch kann man bestimmen, in welchem Bereich ein Akkordeon ungefähr liegt.

Vergleicht man diese Position der Tristimuli nun mit anderen Instrumenten, so erhält man folgende Grafik:

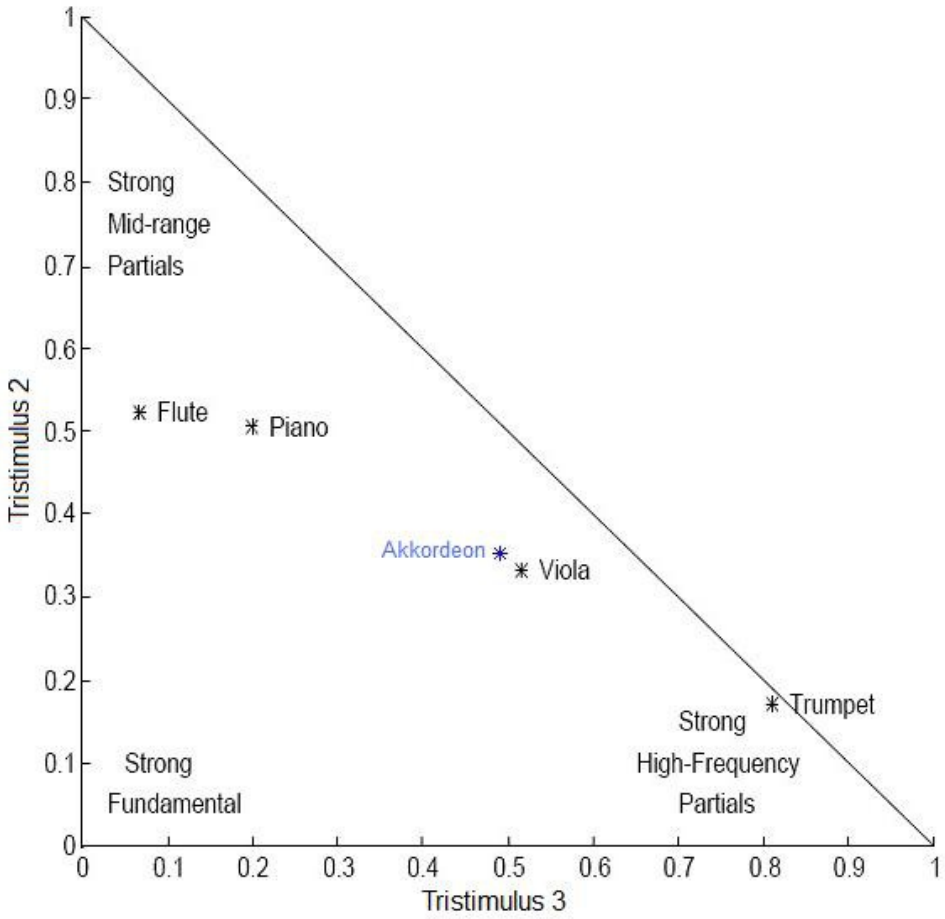

Abbildung 13: Tristimulus 3 geplottet gegen Tristimulus 2 [Jensen, 1999]

Wie erkennbar, ordnet sich das Akkordeon hier im Bereich der Viola ein. Da die drei Anteile der Tristimuli in der Gesamtheit 100 Prozent ergebenmüssen, lässt sich im Mittel folgende Verteilung festmachen:

- ~ 15 % Anteil des Grundtones
- ~ 35 % Anteil der ersten drei Teiltöne
- ~ 50 % Anteil der höheren Teiltöne

Man kann also zweifellos erkennen, dass der Akkordeonklang von den höheren Teiltönen sehr stark beeinflusst wird.

Dies kann man auch noch einmal in Abb. 14 nachvollziehen, wo nochmals alle Tristimuli in 3D Form zueinander geplottet werden. Für die Berechnung wurden die ersten fünfzehn Teiltöne herangezogen.

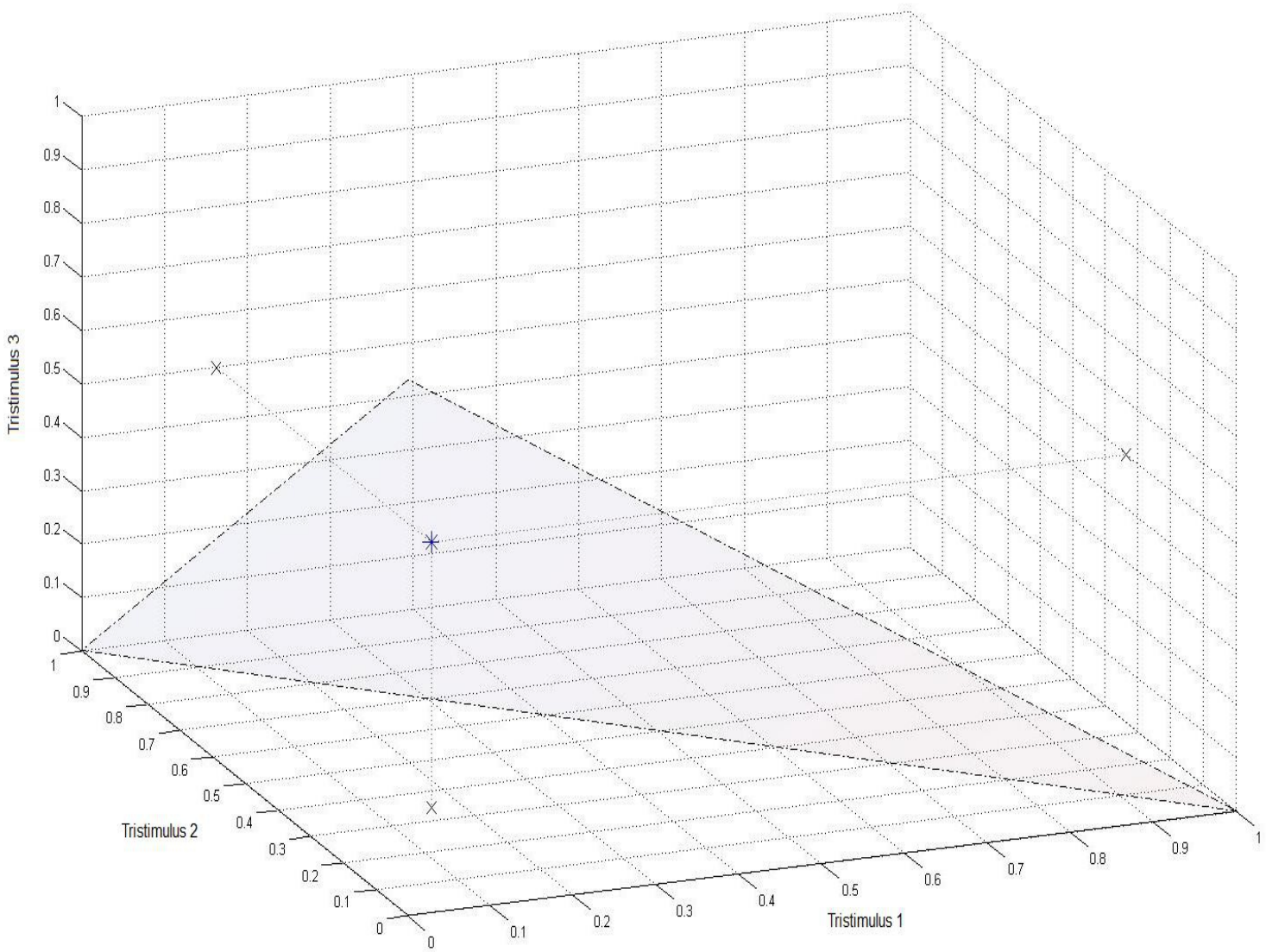

Abbildung 14: Mittelwert – Tristimuli. Die eingezeichnete Ebene entspricht der "Einser" bzw. 100 Prozent Ebene. Da die Gesamtheit der Tristimuli immer 100 Prozent ergibt, muss der eingetragene Wert immer in dieser Ebene liegen.

5.2.2 Aufnahmewinkel

In weiterer Folge wurde der Tristimulus angewendet, um zu überprüfen, wie groß der Energie-verteilungsunterschied bei verschiedenen Aufnahmewinkeln ist, wenn man nun die Lage in der man spielt verändert. Dazu ein Vergleich von hoher zu mittlerer Lage (880 *Hz* zu 440 *Hz*). Siehe dazu Abb. 15.

An dieser Stelle zeigt sich, dass die Energieverteilung hinzu höheren Frequenzen tatsächlich um einiges mehr abweicht, wenn man in Richtung 50 Grad geht, als dies bei tieferen Frequenzen der Fall ist. Der Unterschied beträgt in der hohen Lage knappe zehn Prozent, wobei er in der mittleren Lage schon nurmehr um nicht einmal fünf Prozent abweicht.

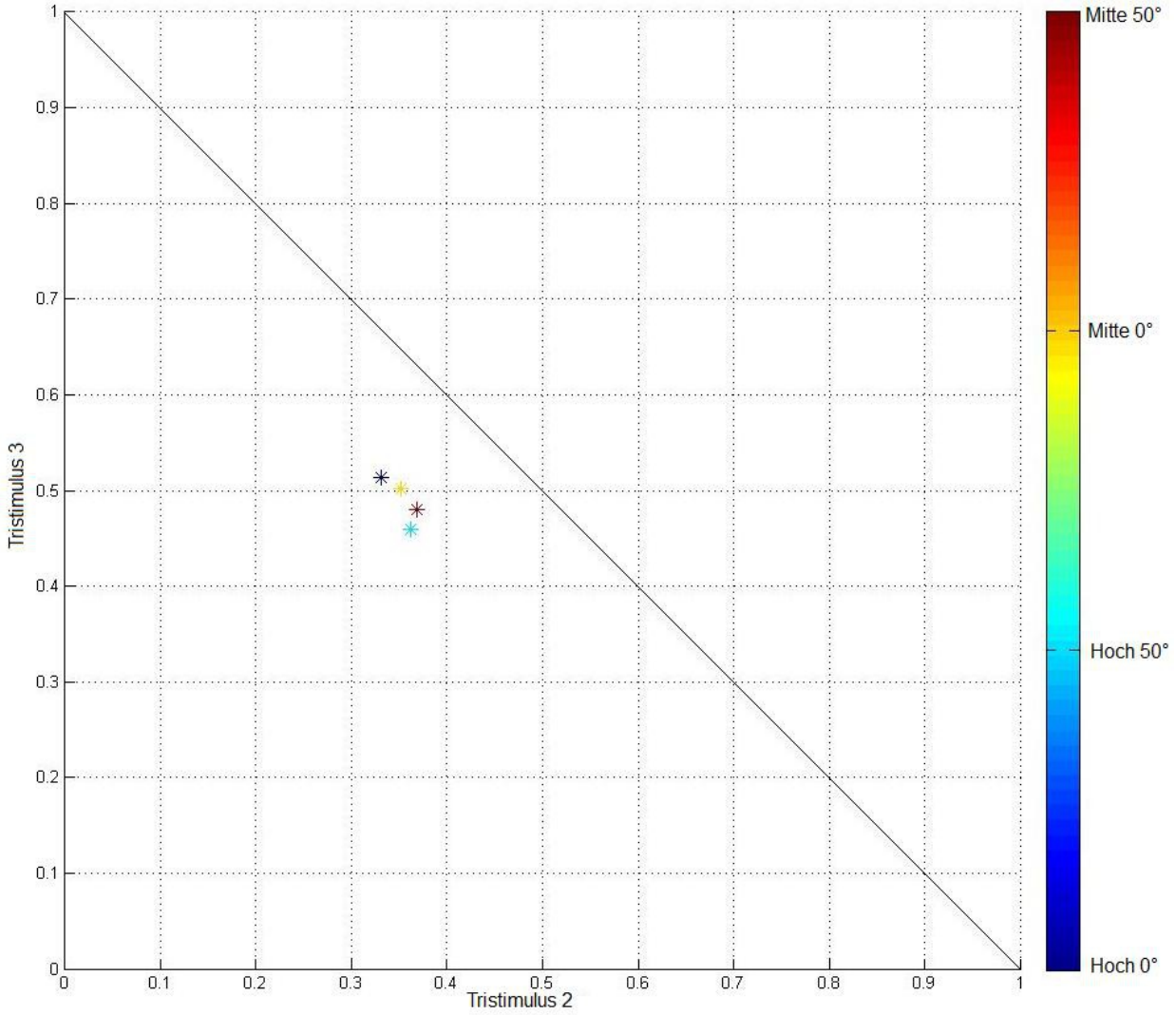

Abbildung 15: Tristimulus 2 und 3 eines a' (Mitte) und eines a'' (Hoch) mit jeweils zwei Aufnahmepositionen bei 0° bzw. 50°

Dies wollen wir jedoch noch genauer betrachten und sehen uns deshalb die Ausprägung der Teiltöne (Grundfrequenz f0 und Obertöne f1...f14) bei den Mikrofonpositionen 0°, -15° und 50° an.

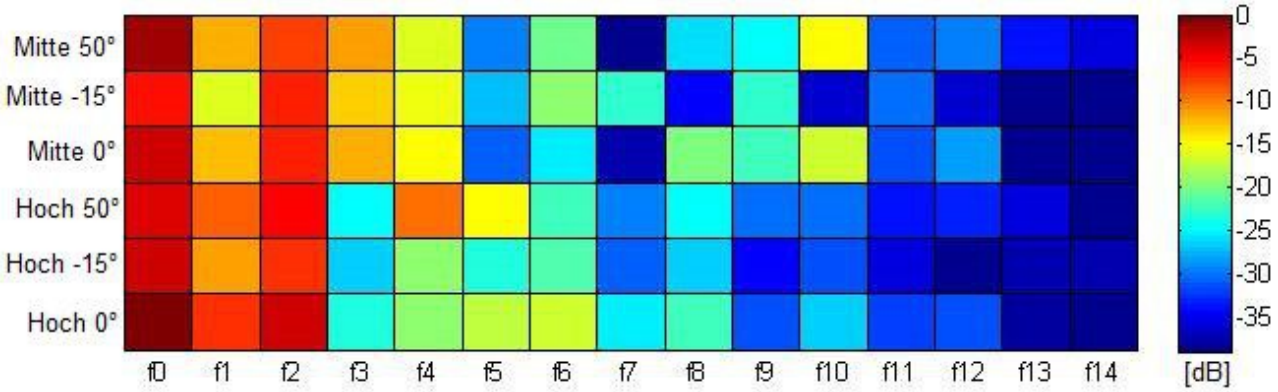

Abbildung 16: Auspregung der Teiltöne eines a' (Mittlere Lage) und a'' (Hohe Lage) bei verschiedenen Aufnahmewinkeln[21]

21 Ausgewertet mittels *Pcolor Plot* in MATLAB

Auch hier wird sichtbar, dass die Teiltöne bei der mittleren Lage sehr gleichmäßig verteilt sind, auch wenn man von der 0 Grad Position abweicht. In der hohen Lage ist jedoch eine deutlich geringere Ausprägung der höheren Teiltöne bei 50 bzw -15 Grad zu erkennen als bei 0 Grad. Das lässt sich dadurch erklären, dass hohe Frequenzen um einiges stärker gebündelt abgestrahlt werden als tiefe Frequenzen. Deren Abstrahlcharakteristik geht eher in Richtung einer Halbkugel.

Weiters ist hier zu beachten, dass unabhängig vom Aufnahmewinkel bei Tönen der höheren Lage die Teiltöne weit weniger stark ausgeprägt sind als in niederigeren Lagen, da die Kanzellen hier mehr die Grundfrequenz als die Obertöne verstärken. Dies entspricht auch der Aussage in Kapitel 1, wo gesagt wird, dass die Töne der höheren Lagen als *weniger scharf* empfunden werden.

5.2.3 Mikrofonabstand

Als nächstes wenden wir uns dem *Mikrofonabstand* zu.

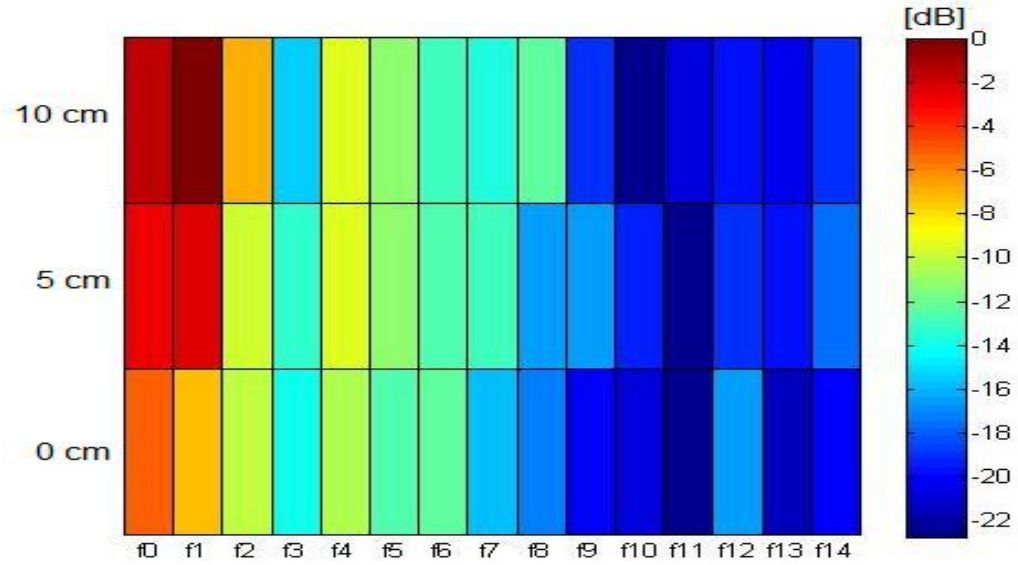

Abbildung 17: Teiltöne eines Tones a (220 Hz) gespielt in der mittleren Lage mit tiefem Register. Das Mikrofon wurde in mittlerer Lage positioniert (vgl Abb. 8) und der Abstand zw. 0 cm, 5 cm und 10 cm variiert (vgl Abb. 7).

In Abb. 17 ist ersichtlich, dass sich bei einer Mikrofonierung direkt am Verdeck des Akkordeons (0 cm), die tiefen Teiltöne noch nicht komplett ausgeprägt haben. Demnach bekommt man mit einem Abstand von 0 cm ein Spektrum, bei dem der Abfall der höheren Teiltöne ebenso stattfindet wie bei 5 cm und 10 cm, jedoch haben die tiefsten Teiltöne und der Grundton weniger Pegel.

5.2.4 Mikrofonlagen

Das letzte Mikrofonpositionskriterium bezog sich auf die drei verschiedenen äquidistanten Lagen. Siehe Abb. 8. Bei der folgenden Auswertung wurde immer der selbe Ton gespielt und dabei die Mikrofonlage geändert. Als erstes betrachten wir einen Ton aus der tiefen Lage:

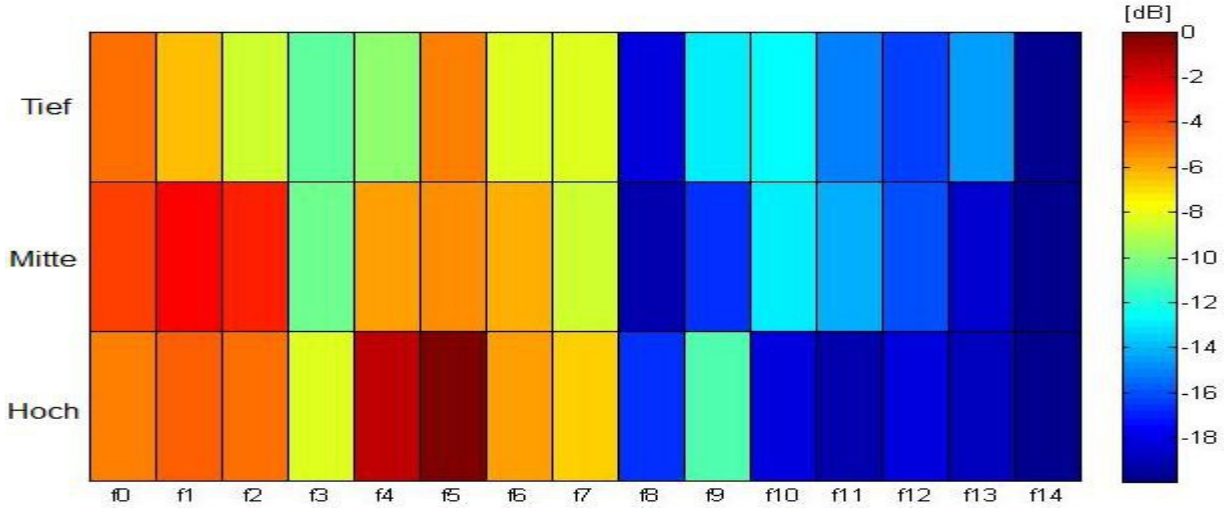

Abbildung 18: Gespielt wurde ein A (110 Hz). Mikrofone wurden in drei verschiedenen Lagen angeordnet (vgl. Abb. 8).

Man erhält ein relativ ausgewogenes Klangbild über alle Lagen hinweg. Man sieht also wieder, dass sich die tiefen Frequenzen eher kugelförmig ausbreiten. Außerdem zeigt sich, dass die vorhandenen Teiltöne bei einer Mikrofonierung im tiefen Bereich bis zum 13. Teilton um einiges besser vertreten sind als bei einer Mikrofonierung im hohen Bereich. Das erklärt sich wiederum aus der starken Bündelung der höheren Frequenzen.

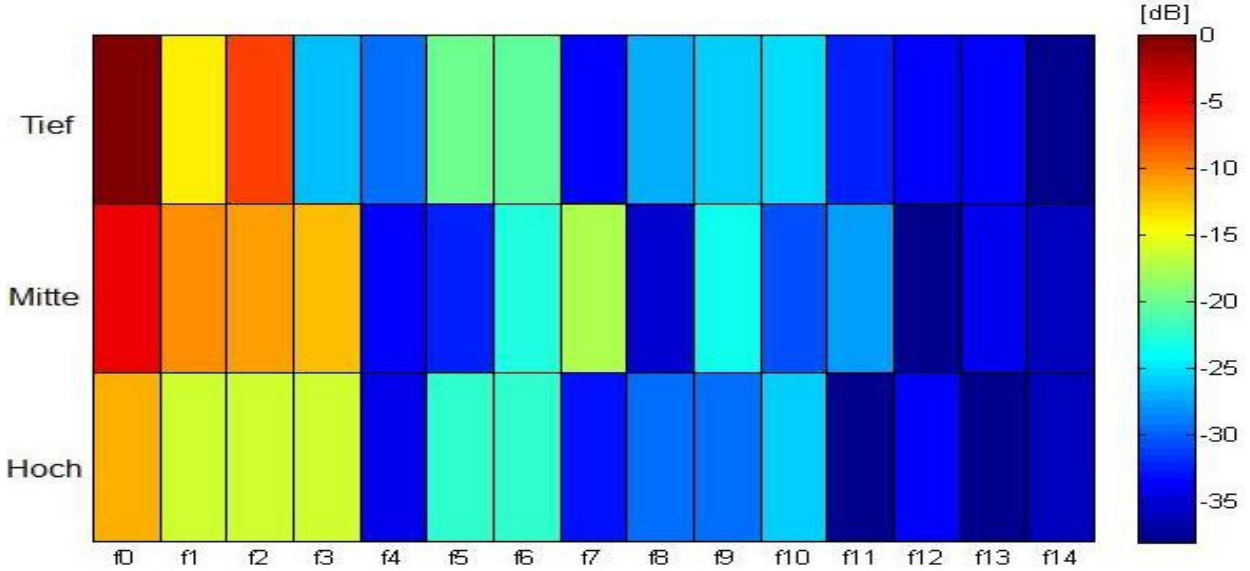

Abbildung 19: Gespielt wurde ein a'' (880 Hz). Mikrofone wie oben (vgl. Abb. 8).

Abb. 19 zeigt zum Vergleich einen Ton aus der hohen Lage. Hier lässt sich ablesen, dass am Mikrofon in der tiefen Lage hauptsächlich nur mehr der Grundton und die ersten Teiltöne ankommen. Auch hier ist also wieder zu erkennen, dass durch die Bündelung der hohen Frequenzen nur die tiefen Teiltöne in allen Lagen ankommen, gleichzeitig jedoch viel von den Höhen verloren geht.

5.3 Zeitlicher Verlauf des Akkordeontones

In diesem Kapitel betrachten wir den zeitlichen Verlauf eines Akkordeontones.

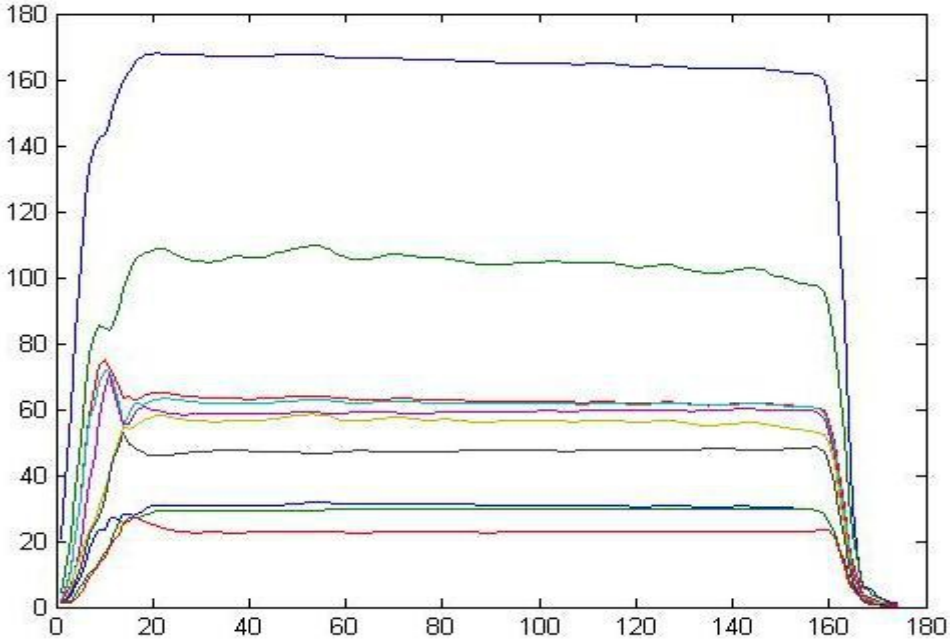

Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf eines Tones der Mittleren Lage im tiefen Register

Aus Abb. 20 geht hervor, dass man den Verlauf als sehr gleichmäßig betrachten kann. Dies bestätigt, dass die Messschwankungen eher gering waren.

Des weiteren wird an dieser Stelle der *Einschwingvorgang* sichtbar. Die stärker ausgeprägten Teiltöne sind hier der Grundton und die ersten Teiltöne. Es wird ersichtlich, dass die tiefen Teiltöne länger brauchen bis sie ihr Maximum erreichen und bei den höheren Teiltönen ist ein stärkeres Überschwingen zu erkennen.

Demnach ist die Ansprache des Akkordeons in den tiefen Lagen nicht ganz so schnell, da der Klang länger braucht um sich zu entwickeln.

Es ist oft der Einschwingvorgang das Kriterium, welches ein Instrument in Bezug auf den Klang für das meschliche Ohr identifizierbar macht. Schneidet man diesen weg, so ist das Instrument oft nicht mehr klar erkennbar.

5.4 Erkenntnisse

Anhand der Auswertung der Messungen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Durch eine Änderung des Aufnahmewinkels weg von 0 Grad, lässt sich eine Abschwächung der hohen Teiltöne (speziell in den höheren Lagen) erreichen.

- Durch eine Änderung des Abstands lässt sich der Klang beeinflussen: Geht man mit der Mikrofonierung direkt an das Verdeck, vermindern sich die tiefen Teiltöne. An dieser Stellle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass bei der Messung ausschließlich Kugelmikrofone verwendet wurden. Wird eine Charakteristik wie *Niere* verwendet, so kommt hier auch noch ein Nahbesprechungseffekt zum Tragen. Dieser wird hier jedoch vernachlässigt.

- Durch die Lage des Mikrofons lässt sich die Ausgewogenheit des Klangbilds beeinflussen: Je mehr man in Richtung tiefe Lage geht, desto mehr verliert man an Durchsetzungskraft, da die dafür erforderlichen hohen Teiltöne verloren gehen. Wenn man also in der tiefen Lage mikrofoniert und in der hohen Lage spielt, kann es sein, dass die Töne dort nicht gut abgebildet werden. Demnach ist die Lage des Mikrofons bzw. der Mikrofone auch für die gleichmäßige Abbildung aller Töne ausschlaggebend.

6 Schlussfolgerungen

Es lässt sich anhand der Messungen generell zeigen, dass die Mikrofonpositionen Einfluss auf den Klang haben. Dies kann dazu genutzt werden, um bestimmte gewünschte Klangeigenschaften zu ünterstützen.

In Bezug auf Aufnahmesituationen, die Akkordeon als Begleitinstrument in den Blick nehmen, lässt sich sagen, dass der Klang nicht zu durchsetzungskräftig sein sollte, damit er sich gut ins Klangbild der Band oder des Ensembles einfügt. Aus diesem Grund sollte ein Zuviel an hohen Frequenzen im Klang vermieden werden. Aufgrund der Erkenntnisse der Arbeit ist es deshalb wichtig, den Aufnahmewinkel nicht bei 0 Grad anzusetzen, sondern eher in Richtung 50 Grad zu wandern – je nach erwünschter Abschwächung. Eine gleichmäßige Abdeckung aller Töne sollte jedoch prinzipiell gegeben sein. Aus diesem Grund ist es meines Erachtens nach wichtig, mindestens zwei Mikrofone zu verwenden, die im Bereich wie in Abb. 22 ersichtlich, positioniert werden sollten. Die Mikrofonierung im Bereich der tiefen Lage erübrigt sich aus dem Grund, da sich die Frequenzen in diesem Bereich relativ gleichmäßig ausbreiten.

In Bezug auf Aufnahmesituationen, die Akkordeon als Soloinstrument in den Blick nehmen, ist es wichtig auf eine gute Durchsetzungskraft zu achten. Dementsprechend sollte der Aufnahmewinkel in Richtung 0 Grad gehen. Außerdem sollte eine gleichmäßige Abdeckung aller Töne gegeben sein. Falls allerdings vorweg bekannt ist, dass der Solist oder die Solistin hauptsächlich in einer bestimmten Lage spielt bzw. bestimmte Lagen nicht spielt, kann die Mikrofonierung an die gespielte Lage angepasst werden. In diesem Fall ist eine komplette Abdeckung nicht zwingend notwendig.

In den folgenden Abbildungen werden die empfohlenen Mikrofonpositionen noch einmal verdeutlicht:

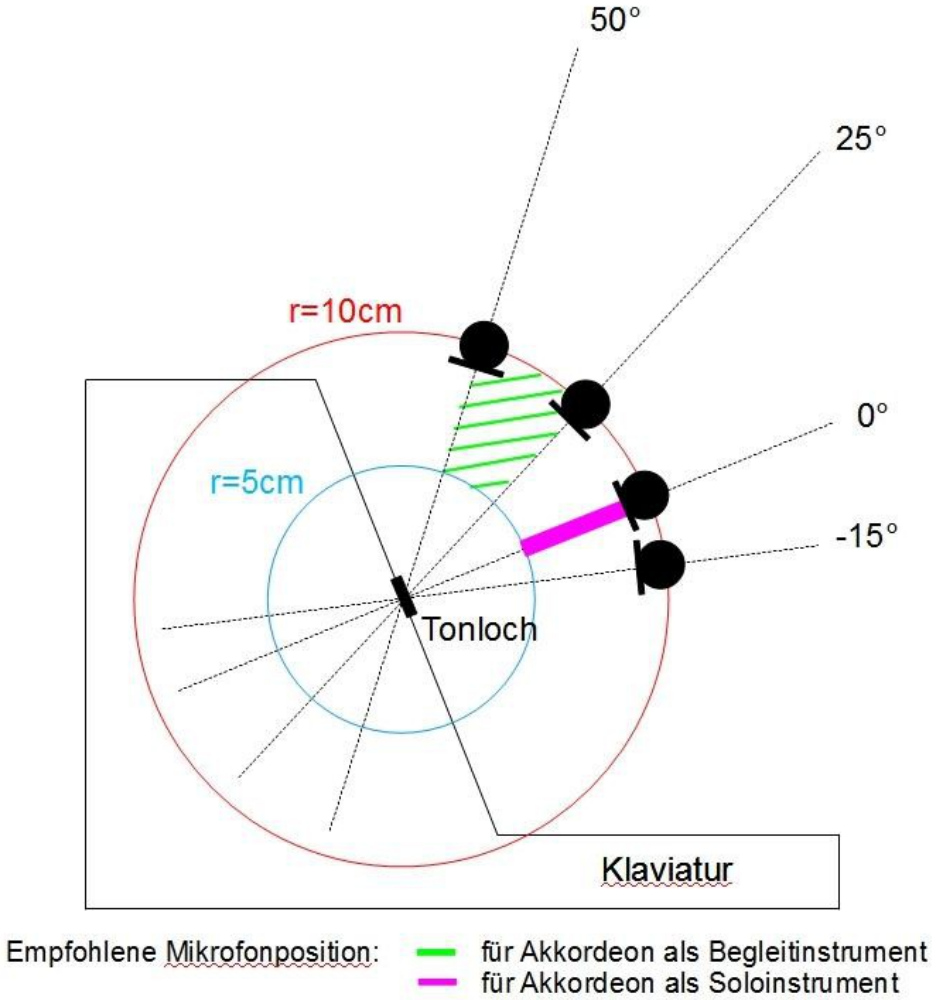

Abbildung 21: Mikrofonpositionen (Winkel und Abstand) für Akkordeon als Begleitinstrument oder Soloinstrument

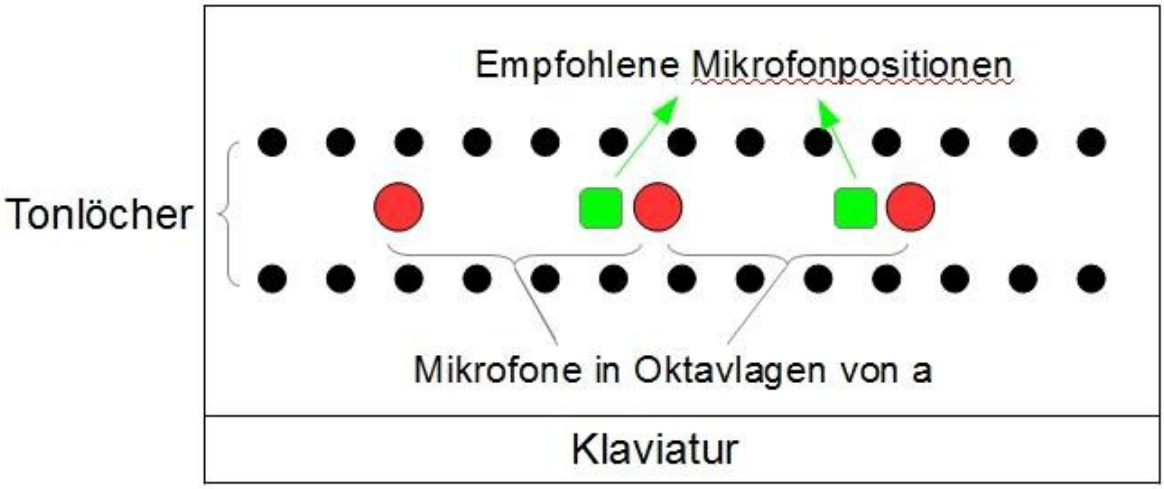

Abbildung 22: Empfohlene Lage für Mikrofone bei Mikrofonierung mit 2 Mikrofonen

7 Literatur- und Geräteverzeichnis

7.1 Literaturliste

von Helmholtz, Hermann : Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, Braunschweig : F. Vieweg (1863).

Hester, Maik : Akkordeon begreifen. Bau und Spieltechnik eines vielseitigen Musikinstruments, Dortmund : PFAU-Verlag (Juni 2007).

Richter, Gotthard : Handbuch der Harmonikainstrumente. Akustische Probleme bei Akkordeons und Mundharmonikas. Einführung in die allgemeinen Grundlagen: BD 1 / TEIL 1. Zetungsverlag - Schmüllnig, Ulrich (1985).

Richter, Gotthard : Handbuch der Harmonikainstrumente. Akustische Probleme bei Akkordeons und Mundharmonikas. Untersuchungen spezieller Phänomene: BD 1 / TEIL 2. Zeitungsverlag - Schmüllnig, Ulrich (1985).

Krist, Daniel : Aufbau und Funktionsweise des Akkordeons. Studienarbeit. Verlag für akademische Texte GRIN (2009).

Abbildung 1 wurde entnommen aus:

http://a1-images4.thomann.de/pics/prod/185676.jpg [aufgerufen am 01.05.2014]

Abbildung 2 wurde entnommen aus:

http://www.musiker-board.de/attachments/f3-musik-instrumente-know-how//f319-akkordeon-forum//f752-chromatische-akkordeons-akk//86246d1222703575-5-choerige-akkordeon-s-borsini-1.jpg [aufgerufen am 01.05.2014]

Abbildung 3 wurde entnommen aus:

http://www.musiker-board.de/attachments/f3-musik-instrumente-know-how//f319-

akkordeon-forum//f756-funktion-reparatur-akk//202348d1325625780-akkordeon-stimmzungen-superf-sonm.jpg [aufgerufen am 01.05.2014]

Abbildung 6 wurde entnommen aus:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Kanzelle.jpg [aufgerufen am 01.05.2014]

7.2 Geräteliste

2x G.R.A.S. Mikrofonkapsel 40AF

http://www.gras.dk/g-r-a-s-40af-free-field-microphone-high-sensitivity.html

2x G.R.A.S. Mikrofonpreamplifier 26AK

http://www.gras.dk/26ak-standard-preamp.html

1x G.R.A.S. Two Channel Power Module 12AA

http://www.gras.dk/12aa-2-ch-power-module-gain-filters-and-syscheck.html

1x RME Hammerfall DSP Multiface

Datenblatt: http://www.rme-audio.de/download/mface_d.pdf

1x Focusrite Saffire Pro 24 DSP

http://global.focusrite.com/firewire-audio-interfaces/saffire-pro-24-dsp