

Untersuchung der Kanaltrennung bei Stereo- und Surrounaufnahmeverfahren

Bachelorarbeit aus Aufnahmetechnik 1, SE

Fabio PERATHONER, M.Nr. 0773090

Betreuung: Dr. Alois SONTACCHI

Graz, 22.10.2010



institut für elektronische musik und akustik



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 22.10.2010

.....

Unterschrift

Kurzfassung

Anhand einer ausführlichen Erklärung der in der Literatur auftretenden Begriffe zum Kanalübersprechen, auch bekannt als „crosstalk“, soll das Thema von Grund auf verstanden werden. Verschiedene Versuchsreihen werden zusammengefasst und verglichen, sowie Lösungsansätze zum Problem des Kanalübersprechens präsentiert. Es wird gezeigt, dass Kanalübersprechen, sei es bei Stereo- als auch bei Surroundaufnahmen, hauptsächlich durch Laufzeitunterschiede und fehlende Pegelunterschiede verursacht wird und Klangfarbenänderung, Lokalisationsprobleme und Quellenverbreiterung zur Folge hat. Auch auf das Thema des Kanalübersprechens bei der Wiedergabe wird kurz eingegangen. Durch eine Simulation mit MATLAB, werden die erhaltenen Erkenntnisse überprüft.

Abstract

This work describes all significant terms of the issue of interchannel crosstalk. Different results of tests are presented in a summary and a comparison. It will be shown, that crosstalk is caused primarily by time differences and the absence of intensity differences between microphones. The main consequences of crosstalk are the change of timbre, source width increase and decrease of locatedness. There also will be a small excursus in the issue of crosstalk in playback. In a simulation with MATLAB, the results of the discussion will be verified.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| <u>Eidesstattliche Erklärung.....</u> | <u>2</u> |
| <u>Kurzfassung.....</u> | <u>3</u> |
| <u>Abstract.....</u> | <u>3</u> |
| <u>Inhaltsverzeichnis.....</u> | <u>4</u> |
| <u>1 Einführung.....</u> | <u>5</u> |
| <u>2 Grundbegriffe.....</u> | <u>7</u> |
| <u>2.1 Kanalübersprechen/Crosstalk.....</u> | <u>7</u> |
| <u>2.2 Räumliches Hören.....</u> | <u>8</u> |
| 2.2.1 Lokalisation im natürlichen Schallfeld..... | 9 |
| 2.2.2 Lokalisation bei Lautsprecherwiedergabe..... | 10 |
| 2.2.3 Quellenverbreiterung..... | 13 |
| <u>2.3 Klangfarbe.....</u> | <u>15</u> |
| 2.3.1 Definition..... | 15 |
| 2.3.2 Kammfilter..... | 16 |
| <u>3 Kanalübersprechen bei Stereoaufnahmeverfahren.....</u> | <u>18</u> |
| <u>3.1 Aufnahme mit einem Mikrofon.....</u> | <u>18</u> |
| <u>3.2 Aufnahme mit zwei und mehr Mikrofonen.....</u> | <u>23</u> |
| 3.2.1 Kammfiltereffekt..... | 24 |
| 3.2.2 Lokalisation..... | 25 |
| <u>3.3 Vermeidung von Crosstalk in Stereo.....</u> | <u>25</u> |
| <u>4 Kanalübersprechen bei Surroundaufnahmeverfahren.....</u> | <u>27</u> |
| <u>4.1 Williams Microphone Array (WMA).....</u> | <u>27</u> |
| <u>4.2 Ideale Nierenanordnung (INA3).....</u> | <u>31</u> |
| <u>4.3 Optimized Cardioid Triangle (OCT).....</u> | <u>33</u> |
| <u>4.4 Vier WMA-Arrays auf dem Prüfstand.....</u> | <u>34</u> |
| <u>4.5 Vermeidung von Crosstalk in Surround.....</u> | <u>37</u> |
| <u>5 Simulation verschiedener Surroundanordnungen.....</u> | <u>43</u> |
| <u>6. Ergebnisse und Interpretationen.....</u> | <u>60</u> |
| <u>6.1 Effekte von Crosstalk.....</u> | <u>60</u> |
| <u>6.2 Übersprechen bei Stereoaufnahmen.....</u> | <u>60</u> |
| <u>6.3 Übersprechen bei Surroundaufnahmen.....</u> | <u>61</u> |
| <u>6.4 Ergebnisse der Simulation.....</u> | <u>61</u> |
| <u>6.5 Möglichkeiten weiterer Forschung.....</u> | <u>62</u> |
| <u>Referenzen.....</u> | <u>63</u> |

1 Einführung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Kanalübersprechen bei Stereo- und Surroundaufnahmen, auch bekannt als „crosstalk“. Mit der Einführung der Stereophonie in den Kinos der 40er Jahre und später durch Stereoanlagen im Privatgebrauch in den 1960er Jahre war man fasziniert von der neuen Qualität dieses Wiedergabeverfahrens. Die Aufnahmen von damals sind in ihrer Qualität mit den heutigen nicht vergleichbar. Man hatte noch mit ganz anderen Problemen wie Brummen und Rauschen zu kämpfen. Trotzdem erkannte z.B. bereits Kalikow 1977 in [22] Unterschiede zwischen einer realen Quelle und einer Phantomschallquelle. Später führte Holman in [21] diese Unterschiede auf dem von ihm definierten „akustischem Übersprechen“ zurück. Auch bei der Aufnahme war man sich trotz aller Probleme der Bedeutung des Kanalübersprechens bewusst. Hat man noch in der Stereophonie die Eigenschaften des Übersprechens für sich genutzt, um z.B. größere Räumlichkeit zu erzeugen, stellt das Übersprechen in Surroundaufnahmen ein immer noch ungelöstes Problem dar.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Gesamtüberblick auf das Thema des Kanalübersprechens zu schaffen.

Um die Zusammenhänge und Definitionen verstehen zu können, wird zunächst in Kapitel 2 die grundlegenden Begriffe erklärt. Das Verständnis der Wahrnehmung des menschlichen Gehörs ist sehr wichtig, um die Auswirkungen des Übersprechens zu verstehen. Weiters sollen die wichtigsten durch Kanalübersprechen auftretenden Begriffe wie Quellenverbreiterung und Kammfiltereffekt besprochen werden.

In Kap. 3 wird untersucht, in wie weit sich Kanalübersprechen bei Stereoaufnahmen auswirkt und welche Verbesserungen in dieser Hinsicht vorgeschlagen und getestet wurden. Der Begriff des akustischen Übersprechens bei Aufnahmen mit einem Mikrofon und Wiedergabe mit zwei Lautsprechern wird näher erläutert. Ein weiterer Fall von Übersprechen bei Aufnahmeverfahren mit zwei Mikrofonen wird ebenfalls erklärt. Allgemein wird hier auf Hauptmikrofonierungsarten eingegangen, welche teilweise oder ausschließlich auf Laufzeitunterschiede basieren.

Weitreichendere Auswirkung hat das Kanalübersprechen bei Mehrkanalaufnahmeverfahren. Durch Erhöhung der Mikrofon- und Lautsprecheranzahl, steigt die Anzahl der möglichen Fehlerquellen durch Kanalübersprechen ebenfalls stark an. Eine umfassende Lösung dieses Problems, hat Micheal Williams erstmals in [1] und in erweiterter Form in [2] mit dem Multichannel Microphone Array (MMA) vorgestellt. Williams behauptet, dass mit seine Mikrofonanordnungen, Kanalübersprechen ausgeschlossen werden kann und man somit eine möglichst natürlich klingende Aufnahme erhält. Dem gegenüber steht eine Versuchsreihe von Rumsey und Lee [3][4], welche die Effekte von Kanalübersprechen untersucht haben. Des Weiteren schlägt Theile in [5] die Mikrofonanordnung OCT (Optimized Cardioid Technique) vor, welche besonders im Hinblick auf das Kanalübersprechen Verbesserungen bringen soll. Rumsey, Lee und Theile sind, anders als Michael Williams, der Meinung, dass man Kanalübersprechen zwar minimieren nicht aber komplett eliminieren kann (siehe [3] und [33]). Auf die Hintergründe der unterschiedlichen Sichtweisen um Williams und Rumsey wird in Kapitel 4 näher eingegangen. Außerdem werden Beispiele von Mehrkanalmikrofonierungen vorgestellt, bei denen Kanalübersprechen möglichst unterdrückt wird.

In Kapitel 6 befindet sich die MATLAB - Dokumentation zur Simulation von Kanalübersprechen. Die Mikrofonaufstellungen der Simulation richten sich nach den in Kapitel 4 vorgestellten Mikrofonanordnungen. Der Quellcode der Simulation basiert auf der Seminararbeit „Klangverfärbung und Lokalisationsunschärfe bei Multichannel Microfone Arrays (MMA) nach Michael Williams“ von Martin Rohrmoser und Michael Kerscher[6].

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zu den Effekten von Crosstalk und zur Simulation werden in Kapitel 6 zusammengefasst, sowie Möglichkeiten zur Vermeidung desselben in Stereo- und Surroundaufnahmeverfahren dargestellt. Offene Fragen werden aufgeworfen und als Möglichkeit weiterer Forschung gesehen.

2 Grundbegriffe

2.1 Kanalübersprechen/Crosstalk

Um die Problematik des Kanalübersprechens zu verstehen, muss zunächst bestimmt werden, was man darunter versteht. Der Begriff stammt ursprünglich aus einem anderen Bereich der Technik, der Telefonie. Er wurde erst später auf die Aufnahmetechnik übertragen. Das Übersprechen im Allgemeinen wird in Wikipedia wie folgt definiert:

„Übersprechen oder Nebensprechen, englische Bezeichnung crosstalk, abgekürzt XT, ist ein Begriff aus der Telefonie und bezeichnet ursprünglich einen Effekt, durch den man am Telefon ein anderes Gespräch leise mithören kann - daher der Name. Heute wird der Begriff in der Nachrichtentechnik allgemein für die unerwünschte gegenseitige Beeinflussung eigentlich unabhängiger Signalkanäle verwendet.“ [7]

Genauso wie in der Definition von Wikipedia verhält es sich beim Kanalübersprechen in der Aufnahmetechnik. Bei allen Aufnahme- und Wiedergabeverfahren mit mehr als einem Mikrofon oder einem Lautsprecher, hat man das Problem des Übersprechens. Werden nicht alle Instrumente (wie zum Teil im Bereich der Populärmusik) einzeln aufgenommen, wird das Signal einer Quelle zwangsläufig von mehreren Mikrofonen gleichzeitig aufgezeichnet. Eine Quelle die links von der Mitte positioniert ist, wird bewusst oder unbewusst auch vom Mikrofon aufgenommen, welches für den rechten Aufnahmebereich zuständig ist. Nimmt man zum Beispiel ein Orchester mit AB+C für das bei Surroundanordnung übliche Wiedergabesetup mit drei Frontlautsprecher auf, kann man die drei Mikrofone in drei Stereopaare einteilen; AB, AC und BC. Eine Quelle wird somit von allen drei Stereopaaren jeweils einmal abgebildet. Laut Teile erhält man somit ungewollte Mehrfachabbildungen (Abbildung 2.1[5]). Rumsey behauptet in [8], dass der Hörer statt drei getrennten Phantomschallquellen (siehe dazu Kapitel 2.2.2 – Lokalisation bei Lautsprecherwiedergabe), eine einzige verschwommene, unscharfe Quelle wahrnimmt. Überschreiten die Signale an den Mikrofonen bestimmte Pegel- bzw. Laufzeitdifferenzen, kommt es zu Klangfärbungen und zu einer unscharfen Lokalisation bzw. Quellenverbreiterung. Die einzelnen Begriffe werden in Kapitel 2.2.2 und Kapitel 2.2.3 ausführlich erläutert.

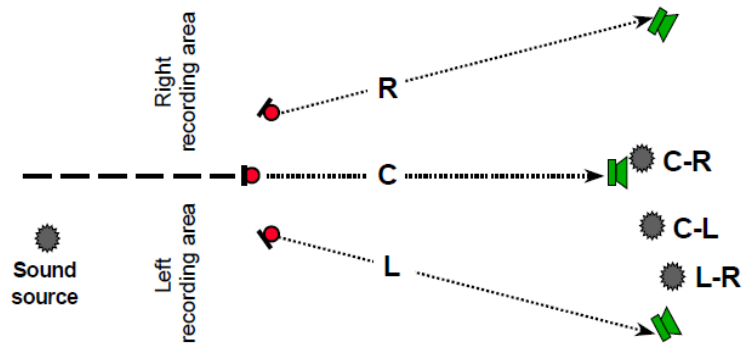


Abb. 2.1: Mehrfachabbildungen an drei Mikrofonpaaren durch Kanalübersprechen. [5]

Verwendet man noch weitere nahe aneinander liegende Mikrofone für die Aufnahme, z.B. für Surroundaufnahmen, und wählt die falsche Anordnung bzw. die falsche Richtcharakteristik der Mikrofone (z.B. Hypernieren für den hinteren Bereich), erhält man ebenfalls Mehrfachabbildungen. Die Quelle von vorne rechts wird zusätzlich hinten links abgebildet. [1]

2.2 Räumliches Hören

Das menschliche Gehör kann Schall in drei Ebenen lokalisieren: in der Horizontalebene, der Medianebene und in der Frontalebene.

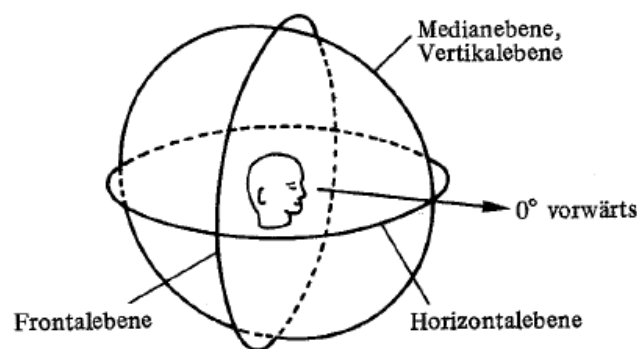


Abb. 2.2: Die drei Hörebenen des menschlichen Gehörs[9]

Dazu kann es durch Erfahrung und spezielle Auswertung die Entfernung eines Signals abschätzen. Für die Zwecke dieser Arbeit, reicht es, die Effekte der Lokalisation in der Horizontalebene zu beschreiben. Hinzu kommt noch der Begriff der Quellenverbreiterung, welcher für die Betrachtung von Kanalübersprechen

relevant ist. Weiterführende Literatur zum Thema „räumliches Hören“ gibt es von Jens Blauert[10], David Griesinger[11] oder Michael Dickreiter[9].

2.2.1 Lokalisation im natürlichen Schallfeld

In horizontaler Ebene hängt die gehörte Richtung von den Laufzeit- und Pegelunterschieden der Ohrsignale ab.

Fast im gesamten Frequenzbereich kommt es zu Abschattung (auch Pegelunterschied, engl. Interaural Intensity Difference - IID) durch den Kopf und die Ohrmuscheln und somit zur Klangfärbung des Signals. Erst unter 300Hz treten Beugungseffekte am Kopf auf, das Gehör nimmt in diesem Bereich keinen Pegelunterschied mehr wahr. Das Signal am hinteren Ohr klingt dumpf, da besonders hohe Frequenzen „gefiltert“ werden. Das Ohr kann trotzdem im gesamten Hörbereich Quellen anhand von Pegeldifferenzen lokalisieren. Dabei wertet das Gehör die einzelnen Frequenzgruppen getrennt aus, somit ist das Lokalisieren durch Pegelunterschiede frequenzabhängig. Aus diesem Grund können jedoch keine allgemeinen Aussagen über die Abhängigkeit der Lokalisation von Pegeldifferenzen gemacht werden, sondern muss je nach Signalart unterschieden werden. Der maximale Pegelunterschied für Sprache beträgt 7dB und für Musik 7-10dB. Ist z.B. der Pegel der hohen Frequenzen am linken Ohr um 10dB lauter als am rechten, erkennt man das Ereignis auf -90° , also senkrecht auf das linke Ohr [9]. Allgemein ist durch die, teilweise sehr unregelmäßigen, Frequenzabhängigkeit der Pegeldifferenz die Lokalisation, allein aufgrund dieses Merkmals nur beschränkt möglich. Bei impulsartigen, breitbandigen Signalen sind Quellen leichter lokalisierbar als bei schmalbandigen und stationären Tönen.

Ebenso wichtig für die Lokalisation in der Horizontalebene ist die interaurale Zeitdifferenz (auch Phasenunterschiede, engl. Interaural Time Difference - ITD). Wie oben beschrieben, beugen sich tiefe Frequenzen zwischen 80 und 300Hz um den Kopf, jedoch kommen in diesem Bereich Laufzeitunterschiede bis zu 800Hz zum tragen. Der Abstand zwischen den Ohren ist dabei kleiner als die halbe Wellenlänge des Signals und es kommt eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Signalen zustande. Der maximale Laufzeitunterschied beträgt 0,63ms, was einer Auslenkung von 90° entspricht. Ist die Quelle weit genug vom Kopf entfernt und kann ein ebenes Schallfeld angenommen werden, beträgt der kleinste wahrnehmbare Unterschied

0,03ms und entspricht einer Auslenkung von 3° bis 5°. Bei höheren Frequenzen ab 800 Hz, vergleicht das Gehör Laufzeitunterschiede anhand der Signaleinhüllenden des Signals.

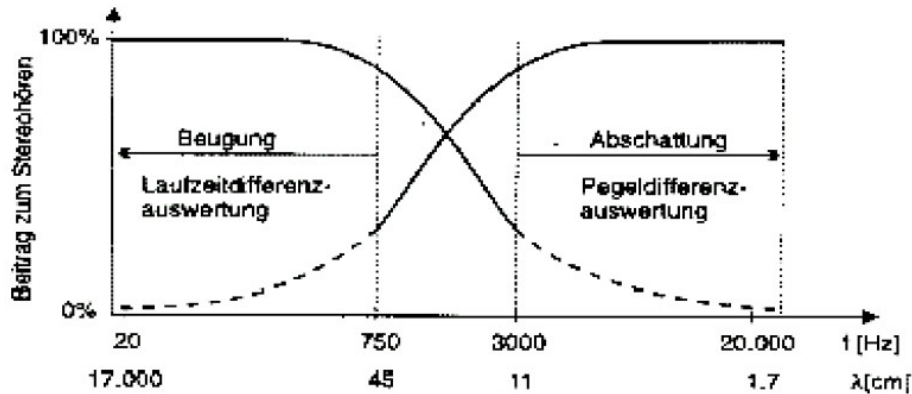


Abb. 2.4: frequenzabhängiger Beitrag für Stereohören [9]

Unter 80Hz kann das Gehör keine bestimmte Richtung mehr erkennen. Sowohl die Phasen- als auch die Pegelunterschiede an den Ohren sind zu gering um vom Gehör erkannt zu werden.

Die Lokalisationsschärfe beschreibt die geringste Änderung einer Phantomschallquelle welche gerade noch wahrnehmbar ist. Die Lokalisationsschärfe in der horizontalen Hörebene, ist von der Art der Schallquelle abhängig. Impulsartige, breitbandige Signale können, durch das Zusammenspiel von Laufzeit- und Pegelunterschieden, mit $\pm 1^\circ$ Genauigkeit geortet werden, schmalbandige und stationäre Signale mit $\pm 5^\circ$ bis $\pm 10^\circ$ Genauigkeit.

2.2.2 Lokalisation bei Lautsprecherwiedergabe

In natürlicher Umgebung hat man es immer mit einer oder einer Gruppe einzelner Schallquellen zu tun. Spielt man die einzelnen Signale über zwei oder mehrere Lautsprecher ab, entstehen so genannte Phantomschallquellen. Im Gegensatz zu den Real- oder Ersatzschallquellen, welche den realen Lautsprechern entsprechen, befinden sich Phantomschallquellen zwischen den Lautsprechern

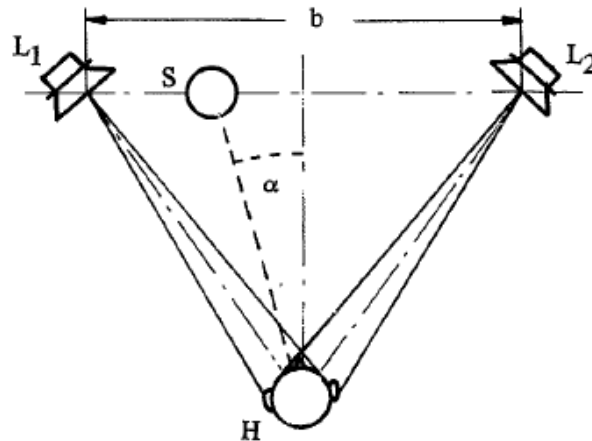


Abb. 2.5: Wahrnehmung von Phantomschallquellen zwischen zwei Lautsprechern bei üblicher 30°-Anordnung [9].

Sind die Signale der beiden Lautsprecher kohärent, wird das Signal von der Mitte wahrgenommen. Die Pegel- und Laufzeitunterschiede zwischen den Lautsprechern bestimmen nun die Abweichung von der Mitte. Wichtig zum Verstehen des Kanalübersprechens, ist die Tatsache, dass bei der Wiedergabe mit zwei Lautsprechern, jedes Ohr zwei Signale zum Auswerten erhält.

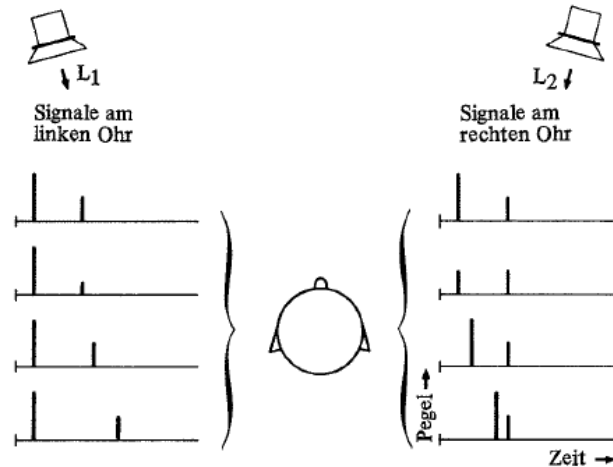


Abb. 2.6: Signale am linken und rechten Ohr bei Stereowiedergabe. Jedes Ohr muss für eine Quelle 2 Signale auswerten[9]

Die beiden Signale am jeweiligen Ohr werden nicht bewusst wahrgenommen, sondern fügen sich laut dem Assoziationsmodells von Theile zu einem Ereignis zusammen. Bei üblicher Stereowiedergabe entsteht so aus vier an den Ohren antreffenden Signalen, eine einzige Phantomschallquelle. Erweitert man nun die Lautsprecheranzahl auf 5, in üblicher Surroundanordnung, muss jedes Ohr theoretisch bis zu 5 Signale eines Ereignisses gleichzeitig auswerten.

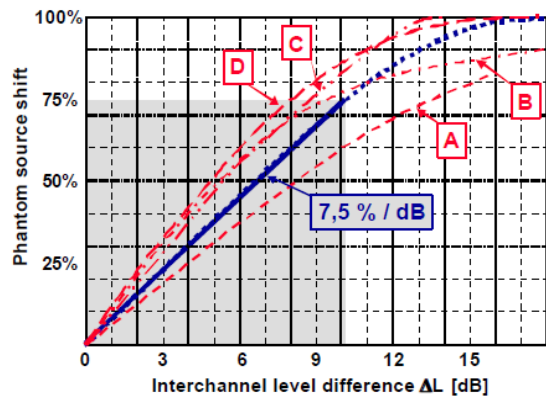


Abb. 2.7. relative Abweichung der Phantomschallquelle [%] in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz [12]

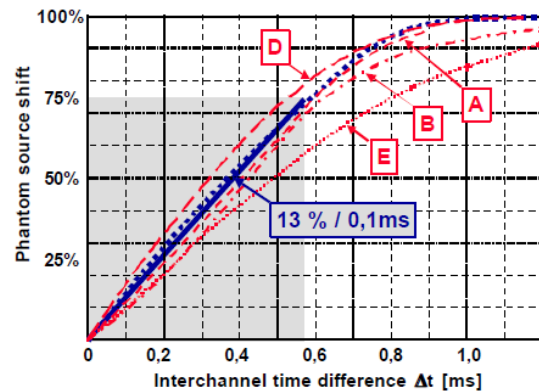


Abb. 2.7. relative Abweichung der Phantomschallquelle [%] in Abhängigkeit von der Laufzeitdifferenz [12]

Abb. 2.7 und Abb. 2.8 [12] zeigen die relative Abweichung der Phantomschallquelle von der Mitte in Prozent, links in Abhängigkeit der Pegeldifferenz und rechts in Abhängigkeit der Laufzeitdifferenz. Die roten Kurven sind Ergebnisse von A:Leakey (1960), B:Mertens (1965), C: Brittain und Leakey(1956), D: Simonson (1984) und E: Senpiel (2002). Die blaue Kurve stammt von Wittek und Theile [13] und wurde mit kurzen breitbandigen Schallimpulsen gemessen. Sie kann als Mittelwert aus den anderen Messungen angesehen werden. Trotzdem können die einzelnen Kurven nur schwer verglichen werden, da sie nach Ansicht der Verfasser auf verschiedene Quellen und Versuchsanordnungen beruhen. Ihrer Ansicht nach, besteht die Ähnlichkeit der Kurven darin, dass die Auslenkung des Schalls auf der Lautsprecherbasis b (vergleiche Abbildung 2.5) bis 75% bei allen annähernd linear verläuft. Deshalb wird vorgeschlagen, die 75%-Gerade als Referenz zu verwenden. Dabei trägt die Pegeldifferenz mit 7,5% pro dB und die Laufzeitdifferenz mit 13% pro 0,1ms zur Auslenkung bei. Führt man die beiden Werte zusammen, erhält man den Faktor von 0,06ms/dB, d.h.1dB Pegeldifferenz verursacht die gleiche Auslenkung wie 0,06ms Laufzeitdifferenz. Die Maximalwerte, ab denen die Quelle vom Lautsprecher zu kommen scheint, betragen 12dB bis 18dB Pegeldifferenz bzw. ungefähr 1ms Laufzeitdifferenz. Es hat sich ebenfalls gezeigt [14], dass sich bei Äquivalenzstereofonie die Addition der beiden Differenzen ergibt:

$$A(\Delta L, \Delta t) = A(\Delta L) + A(\Delta t)$$

Gleichung 1

Nimmt man ein Signal auf 30° mit der Stereoanordnung ORTF auf, hat man gleichzeitig Pegeldifferenzen ΔL und Laufzeitdifferenzen Δt . Die Pegeldifferenz $\Delta L = 5\text{dB}$ und entspricht 37,5% Auslenkung, die Laufzeitdifferenz $\Delta t = 0,25\text{ms}$ und entspricht 32,5% Auslenkung. Zusammen ergeben die beiden Differenzen 70% Auslenkung, was bei der üblichen Lautsprecheraufstellung im Stereodreieck 21° entspricht.¹

2.2.3 Quellenverbreiterung

Bei den folgenden Betrachtungen der Effekte des Kanalübersprechens, wird immer wieder der Begriff der Quellenverbreiterung als einer der am stärksten hervortretenden Effekte auftauchen. Bei Stereoaufnahmen ergeben sich große Unterschiede bei der Lokalisationsschärfe und der Schallquellenverbreiterung, je nach verwendetem Aufnahmeverfahren. Ein ähnliches Ergebnis erhält man auch bei Surroundaufnahmen durch nahe aneinander liegende Mehrfachabbildungen der Phantomschallquelle. Wie diese zustande kommen wird näher in den Kapiteln 3 für Stereoaufnahmen und in Kapitel 4 für Surroundaufnahmen erklärt.

Stereoaufnahmen, welche auf reiner Pegeldifferenz basieren, haben eine sehr präzise, scharfe Lokalisation zur Folge [15]. Wandert die Quelle von der Mitte in Richtung Lautsprecher, wird die Lokalisation immer schärfer. Das hat zur Folge, dass Schallquellen besonders in Richtung Lautsprecher, aber auch in der Mitte als schmal oder klein empfunden werden.

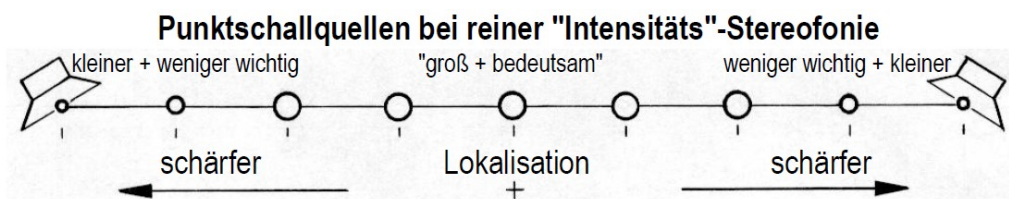


Abb. 2.9: Lokalisationsschärfe bei reiner Intensitätsstereofonie [15]

Ganz anders verhält es sich bei Laufzeitstereofonie. In der Mitte erscheint die Phantomschallquelle noch schmal und gut fokussiert. Nach außen, in Richtung realer Schallquellen/Lautsprecher, werden die Quellen immer breiter und räumlicher

¹ Gemeint ist jeweils die Auslenkung von der Mitte, also entweder nach links oder nach rechts. 100% Auslenkung würde bedeuten, dass ein Signal vom realen Lautsprecher wahrgenommen wird und bei üblicher Stereoaufstellung 30° entsprechen.

wahrgenommen. Das räumliche Empfinden der seitlichen Abbildungen ergibt sich aus den unkorrelierten Phasenlaufzeiten der Signale.

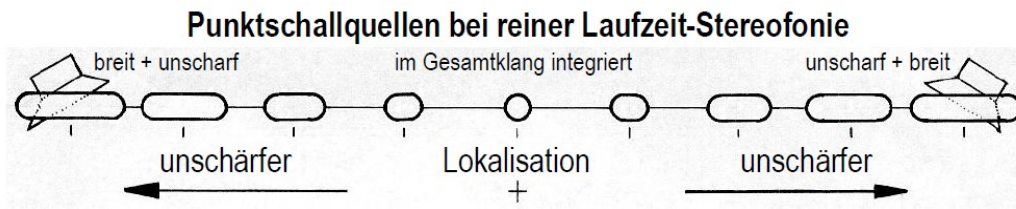


Abb. 2.10: Lokalisationsschärfe bei reiner Laufzeitstereofonie [15]

Das komplette Fehlen einer Pegeldifferenz verstärkt diesen Effekt bei reiner Laufzeitstereofonie zusätzlich. Deshalb stellt die Äquivalenzstereofonie einen Kompromiss der Quellenverbreiterung bzw. der Lokalisationsschärfe dar. Trotz der Unschärfe der Laufzeitstereofonie, ist sie gerade wegen des hohen räumlichen Anteils sehr beliebt bei Aufnahmen von klassischer Musik.

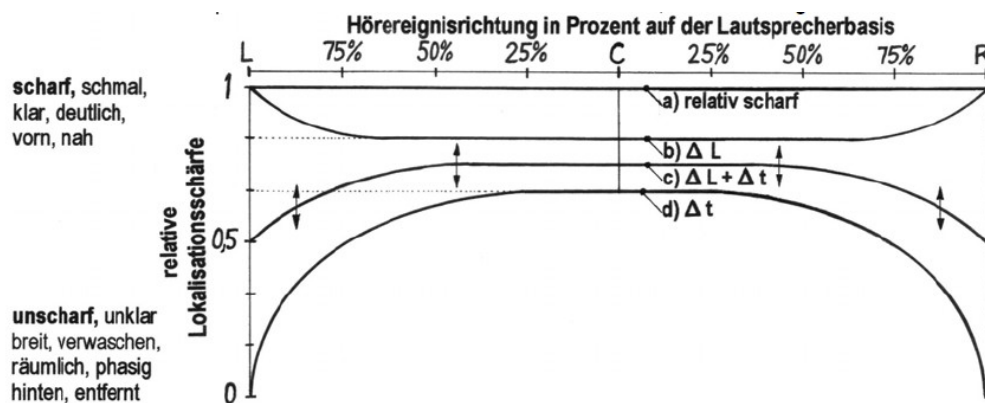


Abb. 2.11: Vergleich der Lokalisationsschärfe zwischen realer Quelle (a), Intensitätsstereofonie (b), Äquivalenzstereofonie (c) und Laufzeitstereofonie (d) [15]

Die Quellenverbreiterung hängt stark mit der interauralen Kreuzkorrelationsfunktion (IACC) zusammen. Diese beschreibt die Ähnlichkeit eines Signals an den zwei Ohren und wird für die Simulation in Kapitel 5 von Bedeutung sein. Ist die IACC = 1, korrelieren die beiden Signale miteinander, sie sind also zu jedem Zeitpunkt gleich und die Quelle wird exakt von vorne wahrgenommen. Wird die IACC kleiner als 1, vergrößert sich die „scheinbare“ Quellenbreite. Um eine Größe anzugeben, die mit steigender Quellenverbreiterung ebenfalls steigt, führt Beranek in [16] deshalb den Begriff „binaural quality index“ (BQI = 1 - IACC) ein. Der BQI ähnelt sehr dem „low-frequency lateral fraction index“ LF und wird unter anderem verwendet, um die Qualität von Konzerthäusern zu bewerten.

2.3 Klangfarbe

2.3.1 Definition

Das Beschreiben des Begriffs der Klangfarbe gestaltet sich als sehr schwierig, da es keine einheitliche Definition gibt. Viele Definitionen vereinfachen den Begriff stark und geben nur die Höhe des Grundtones und dessen Verhältnis zu den Obertönen, als einzigen Parameter zur Definition der Klangfarbe an. Andere verweisen auf Merkmale und Eigenschaften, was Klangfarbe nicht ist oder besitzt, z.B. dass zwei Töne verschiedene Klangfarben haben, wenn ihre Lautstärke und Tonhöhe verschieden ist, aber nicht was die Farbe eines Klanges ausmacht. [17]. Viele Definitionen vernachlässigen den zeitlichen Verlauf des Spektrums, also die Hüllkurve des Signals, und den Einschwingvorgang eines Klanges, an dem das Gehör am schnellsten bekannte Klänge einordnen kann. Die zwischen den Teiltönen auftretenden Rauschanteile und unharmonischen Teiltöne tragen ebenfalls zur Klangfärbung bei, obwohl sie in einer Aufnahme nicht immer erwünscht sind. Solche wären beispielsweise Anblasgeräusche oder Streichgeräusche [18].

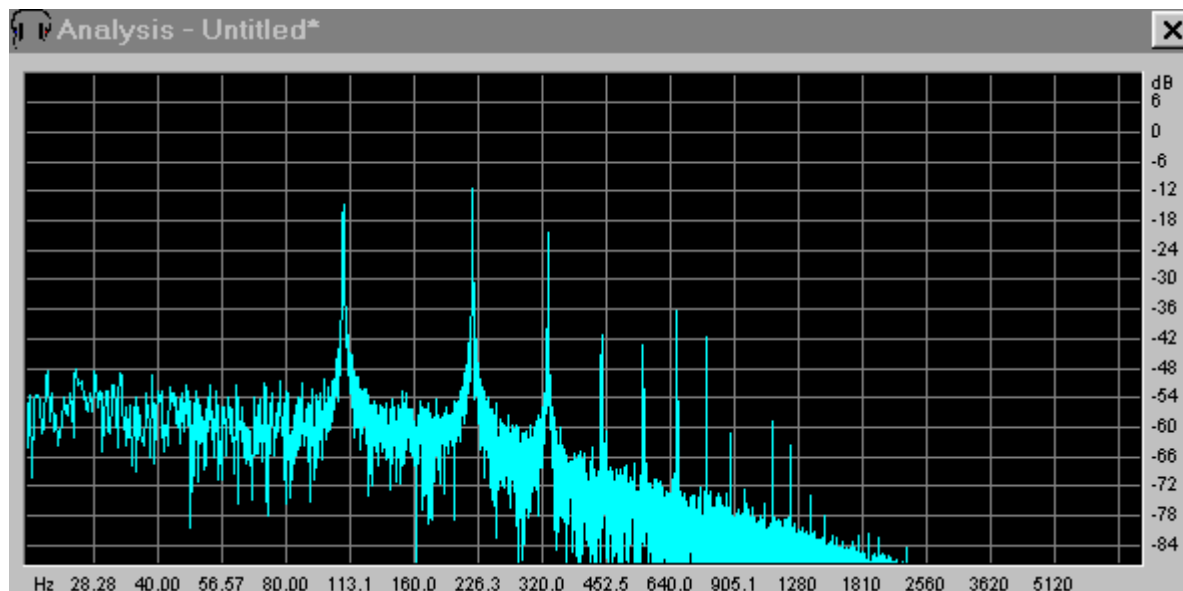


Abb. 2.12: Frequenzspektrum der A-Seite einer elektrischen Gitarre. [19]

Abbildung 2.12 zeigt das Frequenzspektrum der A-Seite einer elektrischen Gitarre. Klar erkennbar ist die Grundfrequenz bei ca. 110Hz und deren ganzzahligen Vielfachen, den Obertönen. Genauso sind das Rauschen und die Bereiche um die

Obertöne Teil des Spektrums und für die Klangfarbe von Bedeutung. Die Einschwingzeit von ungefähr 35ms [19] unterscheidet sich ebenfalls stark von den 80 – 120ms Einschwingzeit einer gestrichenen Violine [18]. Angenommen, eine Gitarre und eine Violine haben ein ähnliches Spektrum, können sie allein anhand des Einschwingvorganges leicht unterschieden werden. Umgekehrt könnten Instrumente mit fehlendem Einschwingvorgang nur schwer erkannt werden.

2.3.2 Kammfilter

Als Kammfilter bezeichnet man einen Filter, der alle ungeradzahigen Frequenzen einer Grundfrequenz auslöscht. Der Abstand der so genannten Notchfrequenzen ist auf einer linearen Frequenzskala konstant. Die geradzahigen Vielfachen der ersten Notchfrequenz werden zusätzlich um 6dB angehoben.

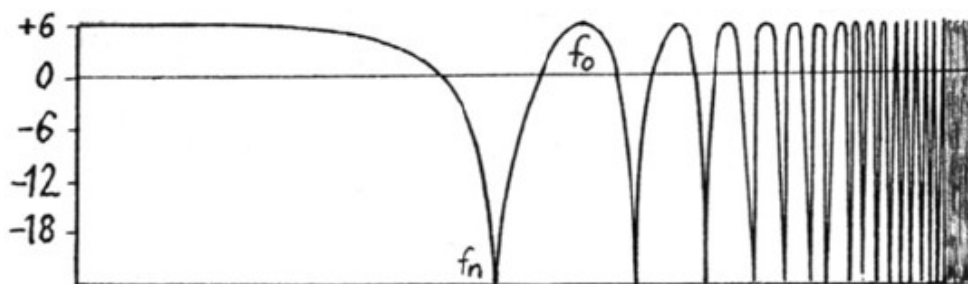


Abb. 2.13 Kammfilter auf logarithmischer Frequenzskala [15]

Vergleicht man das Frequenzspektrum eines Kammfilters in Abbildung 2.13 mit dem einer Gitarre in Abbildung 2.12 kann man erkennen, dass es sich dabei um sehr ähnliche, aber in ihrer Amplitude verdrehte Verläufe handelt. Deshalb können Kammfilter starke Auswirkung auf die Klangfarbe einer Aufnahme haben und sollten möglichst vermieden werden. Besonders die 1. Auslöschung hat eine große Auswirkung, weil die Güte Q der Filterkurven von der Bandbreite $B = f_{n1} - f_{n2}$ abhängt und logarithmisch betrachtet hier am größten ist. Der Kammfiltereffekt tritt sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Wiedergabe auf und beruht auf geometrische Abmessungen und dadurch auftretende Interferenzen.

Aufnahmeseitig können einerseits die Abstände zu reflektierenden Flächen, andererseits die Abstände zwischen den Mikrofonen einen Kammfilter zur Folge haben. Steht ein Mikrofon beispielsweise 1m von der Wand entfernt, hat man eine

Interferenz zwischen Direktschall und reflektiertem Schall bei einer Frequenz von 85,75Hz und bei allen ungeradzahligen Vielfachen davon. Die Frequenz lässt sich errechnen durch $f = c / (4 \cdot a)$. Beim gleichen Abstand zwischen zwei Mikrofonen hat man die doppelte Frequenz die durch einen Kammfilter ausgelöscht wird, da der Schall den Weg nicht zweimal durchlaufen muss. Der Kammfiltereffekt bei zwei Mikrofonen tritt jedoch erst bei der Mischung der Signale auf und somit bei der Lautsprecherwiedergabe. Er ist jedoch wichtig für die Betrachtung des Kanalübersprechens [15]. In Kapitel 3.1 und 3.2 wird das Auftreten des Kammfiltereffekts bei Stereoaufnahme und -wiedergabe näher erläutert und mit Beispielen beschrieben.

3 Kanalübersprechen bei Stereoaufnahmeverfahren

Die Erklärung der Grundbegriffe, bezog sich auf Stereoaufnahme- und Wiedergabeverfahren. Diese stellen wiederum die Grundlage zum Verständnis des Kanalübersprechens bei Surroundaufnahmen dar. Bei Stereoaufnahme und –wiedergabe, treten 2 Arten von Übersprechen auf: Wird eine Quelle mit nur einem Mikrofon aufgenommen und über 2 Lautsprecher in der Mitte wiedergegeben, treten Kammfiltereffekte auf. Wird jedoch eine Quelle von 2 oder mehreren Mikrofonen aufgenommen und über 2 Lautsprecher abgespielt, treten zusätzlich Lokalisationsfehler bzw. Quellenverbreiterungen auf.

3.1 Aufnahme mit einem Mikrofon

Ben Shirley hat in [20] untersucht, inwieweit sich die Wiedergabe von Sprache zwischen 2 Lautsprechern, also einer Phantomschallquelle in 60°-Aufstellung, von der einer realen Quelle unterscheidet. Am linken Ohr eines B&K-Kunstkopfes wurde weißes Rauschen im Abstand von 2,27m, einmal über den Centerkanal und einmal über zwei Lautsprecher in 60°-Anordnung abgestrahlt, gemessen. Abbildung 3.1 zeigt die Übertragungsfunktion der Messung, also das Verhältnis aus beiden Messungen in Dezibel, auf einer linearen Frequenzskala. Einbrüche bei 1,5kHz, 6kHz und bei 10,5kHz (nicht mehr vollständig dargestellt) sowie die Überhöhungen bei 3-4,5kHz und 7,5kHz sind klar zu erkennen. Die Abbildung deutet auf den in 2.3 beschriebenen Kammfiltereffekt hin.

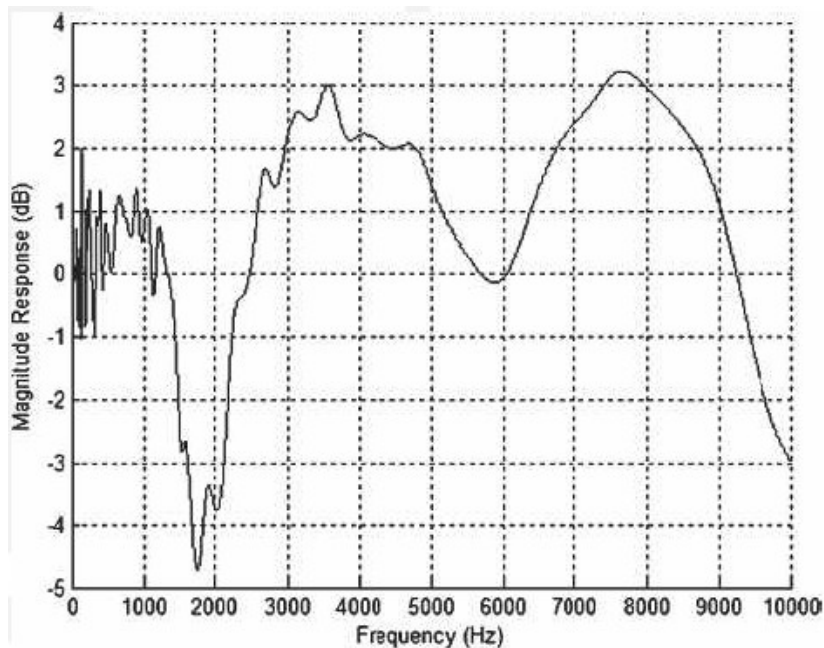


Abb. 3.1: Übertragungsfunktion zwischen Monoquelle und Phantomschallquelle aus der Mitte[20]

Die Verfasser von [20] erklären diesen Effekt mit der Laufzeitdifferenz zwischen den Ohren bei einer 60°-Aufstellung der Lautsprecher (Abbildung 3.2). Die Weglänge des linken Schalls beträgt 2231mm, und die des rechten Schalls 2311mm. Dadurch kommt man auf eine Wegdifferenz von 80mm = 0,08m. Umgerechnet ergibt das eine Laufzeitdifferenz von 0,233ms die der Schall von rechts länger zum linken Ohr braucht als der Schall von links. Das entspricht der doppelten Frequenz von 2250Hz, welche gleichzeitig die erste Notchfrequenz darstellt. Abbildung 3.3 zeigt die gemessene im Vergleich zur berechneten Übertragungsfunktion am Kunstkopf. Diese Berechnung gilt nur für die mittlere Hörposition, auch bekannt als „sweet spot“. Für seitliche Sitzpositionen müssten die Weglängen neu berechnet werden. Dadurch ändern sich die Werte der Notchfrequenzen ebenfalls und somit die Wahrnehmung des Kanalübersprechens.

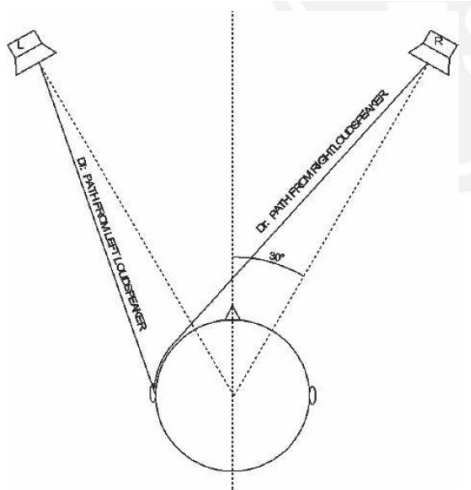


Abb. 3.2: Unterschiedliche Weglängen des Schalls der beiden Lautsprecher-signale zum gleichen Ohr[20]

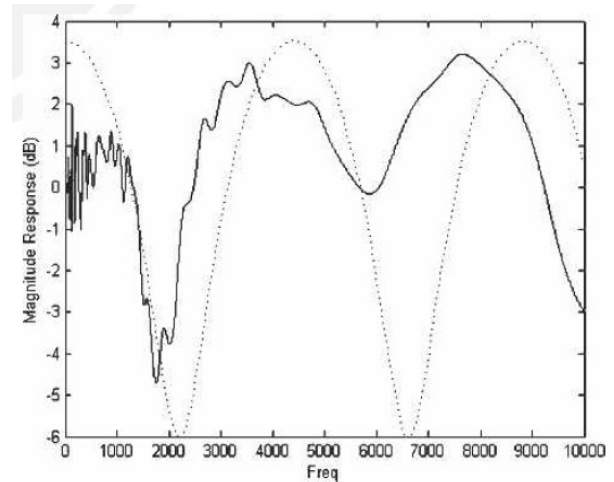


Abb. 3.3: Gemessene und berechnete Übertragungsfunktion des Centerkanals zur mittigen Phantomschallquelle [20]

Die Abweichung von ungefähr 500Hz zwischen gemessenen und berechneten Notchfrequenzen in Abbildung 3.3 ist auf die Vereinfachung auf einen runden Kopf bei der Berechnung der Laufzeitunterschiede zurückzuführen. Dass an den Notchfrequenzen der Pegel nicht noch weiter abgesenkt wird wie in der Theorie, lässt sich mit der Abschattung durch den Kopf, besonders bei hohen Frequenzen, erklären. Des Weiteren dürfte das Ohr durch die kopfbezogene Übertragungsfunktion (auch HRTF) Signale aus verschiedenen Richtungen anders wahrnehmen. Aus diesen Gründen korrelieren die Signale weniger als in der vereinfachten Berechnung angenommen wird und die Frequenzen werden weniger abgeschwächt als erwartet.

Holman stellte bereits im Jahr 1996 die These auf [21], dass der auftretende Kammfiltereffekt auf Kanalübersprechen zurückzuführen ist. Er nennt es „akustisches Übersprechen“, da es auf geometrischen Abmessungen bei der Wiedergabe basiert. Die aus der weiteren Untersuchung von Shiley [20] basierenden Ergebnisse zeigen, dass das Übersprechen hörbar und messbar ist und somit das aufgenommene Signal verfälscht.

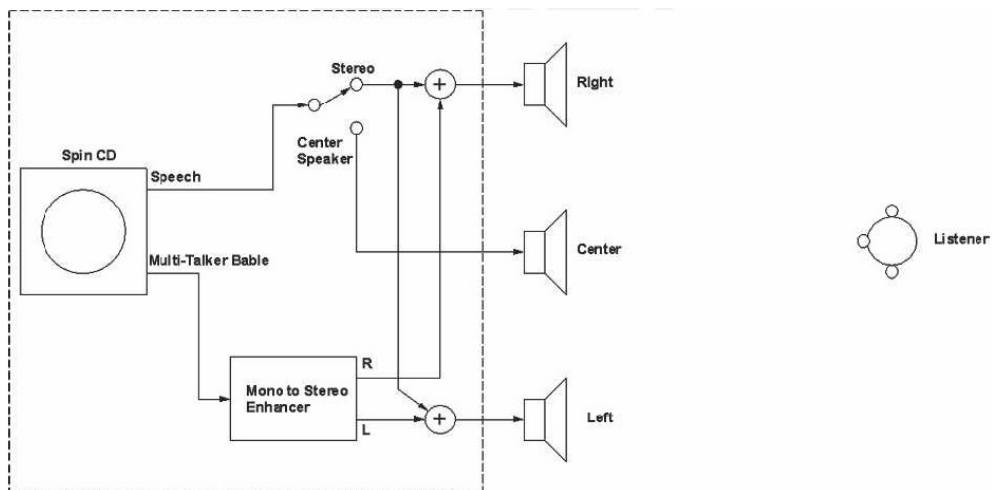


Abb. 3.4: Versuchsaufbau von Shirley [20]. Das Testsignal kann zwischen Centerkanal und Seitenkanäle umgeschaltet werden.

In dem Versuch wird die Verständlichkeit von Sprache getestet. An beiden seitlichen Lautsprechern wird ein Untergrund-Sprechgeräusch angelegt und als Störgeräusch betrachtet. Das in der Mitte positionierte Sprachsignal ist um 2dB leiser als das Störgeräusch (nach Kalikow [22] liegt die Anzahl der richtig erkannten Wörter von ungeübten Versuchspersonen, bei -2dB Signal/Geräuschabstand, bei 50%). Die Probanden werden auf bekannte und unbekannte Silben und Wörter getestet, abwechselnd zwischen realer Quelle und Phantomschallquelle in der Mitte. Die erste Notchfrequenz mit dem größten Einbruch liegt in einem Bereich, der für Sprache sehr wichtig ist. Besonders für Konsonanten, aber auch für einen Formanten von „e“ und dem Nasalformanten, spielt der Bereich um die 2kHz eine große Rolle. Die Frequenzen der höheren Notchfrequenzen spielen für Konsonanten und Explosivlaute mit steilen Transienten eine tragende Rolle. Hinzu kommt, dass Sprecher oder solistische Sänger so gut wie immer in der Mitte einer Mischung platziert werden und somit für das akustische Übersprechen bei Stereowiedergabe anfällig sind.

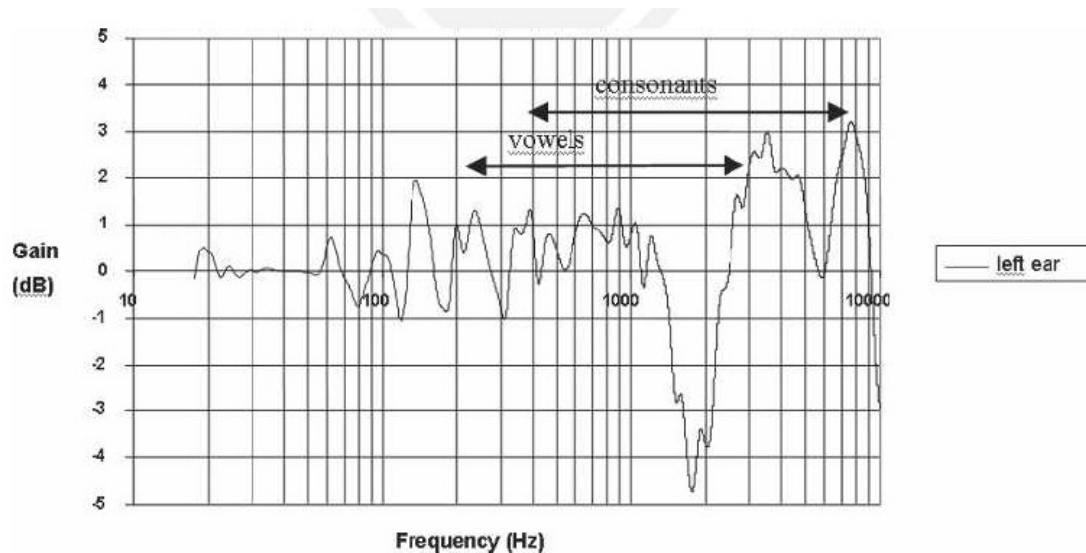


Abb. 3.5: Für Konsonanten (consonants) und Formanten (vowels) relevanter Frequenzbereich eingetragen in der gemessenen Übertragungsfunktion des Centerkanals zur Phantomschallquelle[20]

Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen die These, dass durch das akustische Übersprechen, die Verständlichkeit verloren geht. Erstaunlich am Ergebnis ist, dass besonders bekannte und vorhersehbare Wörter und Silben durch das Übersprechen weniger erkannt wurden. Das liegt daran, dass unbekannte Wörter und Silben bereits ohne Übersprechen schwerer erkannt wurden und somit die Differenz zu Signalen mit Übersprechen weniger stark ausgefallen ist.

Sitzt man im Sweetspot der 30°-Lautsprecheraufstellung und bewegt sich dabei vor und zurück, bzw. dreht den Kopf nach links oder rechts, ändern sich die Laufzeitdifferenzen und die Notchfrequenzen bewegen sich im Frequenzspektrum hinauf oder hinunter. Earl Vickers hat in [23] versucht, durch gezielte Dekorrelation der höheren Frequenzen der Stereosignale dem akustischen Übersprechen entgegenzuwirken. Die Verständlichkeit steigt zwar, besonders in trockener Umgebung, es geht aber teilweise Lokalisationsschärfe verloren. Vickers sieht eine Anwendungsmöglichkeit besonders bei Beschallung im freien und eventuell bei Wiedergabeverfahren mit mehreren Lautsprechern wie 5.1 Surround, Wellenfeldsynthese oder Ambisonics. Außerdem soll seine Methode durch Spreizung der Mitte die Kopfhörerwiedergabe angenehmer gestalten.

3.2 Aufnahme mit zwei und mehr Mikrofonen

Für die Aufnahme größerer Klangkörper, besonders in der klassischen Musik, werden meistens Hauptmikrofonierungsverfahren verwendet. Diese bestehen bei Stereoaufnahmen aus zwei (z.B. AB, XY oder ORTF) oder mehreren Mikrofonen (z.B. DECCA-Tree oder Mikrofonvorhang), welche im Zusammenspiel eine Laufzeitdifferenz (Laufzeitstereofonie), eine Pegeldifferenz (Koinzidenz- oder Intensitätsstereofonie) oder eine Mischform aus beiden (Äquivalenzstereofonie) ergeben. Neben dem Einfangen des Gesamtklanges, ist ein Hauptmikrofonsystem vorwiegend für die Lokalisation der einzelnen Instrumente im Stereopanorama verantwortlich. Im Gegensatz dazu nehmen die Stützmikrofone nur Teile des Orchesters oder einzelne Instrumente auf, um ihnen Präsenz zu verschaffen und um sie nicht im Orchester untergehen zu lassen.

Bereits in Kapitel 2.2.3 hat sich gezeigt, dass Lokalisationsprobleme bzw. Quellenverbreiterungen durch Laufzeitunterschiede zustande kommen. Koinzidenzverfahren ergeben hingegen eine scharfe Lokalisation über die gesamte Stereobasis. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass hier das Kanalübersprechen nur eine untergeordnete Rolle spielt. Deshalb wird im folgenden Kapitel auf die Laufzeitstereofonie näher eingegangen. Die Äquivalenzstereofonie unterdrückt durch Verwendung von Richtmikrofonen die Effekte von Übersprechen gegenüber der Laufzeitstereofonie.

Werden zwei Mikrofone für die Hauptmikrofonie verwendet, sollten diese immer hart auf Links-Rechts gepant werden. Dadurch kommt vom linken Lautsprecher nur das Signal vom linken Mikrofon und umgekehrt. Die Ergebnisse des Kapitels 3.1 gelten somit nicht mehr, in denen das Signal von einem Mikrofon über zwei Lautsprecher abgespielt wurde. Es treten trotzdem ähnliche Effekte durch Kanalübersprechen auf, welche jedoch andere Ursachen haben.

3.2.1 Kammfiltereffekt

Bei Aufnahmen mit zwei Mikrofonen, treten durch Laufzeitdifferenzen bzw. Wegunterschiede Kammfilter auf. Diese These lässt sich durch geometrische Überlegungen feststellen.

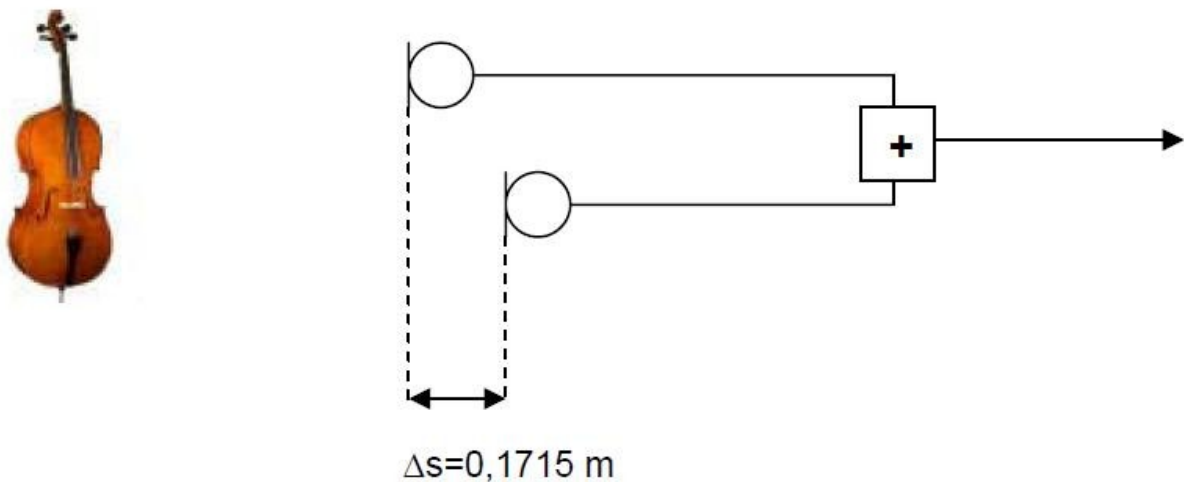


Abb. 3.5: Bei Laufzeitdifferenzen zwischen zwei Mikrofonen, können bei der Summierung der Signale Kammfiltereffekte auftreten [34]

Angenommen, man hat eine rein auf Laufzeitdifferenzen basierende AB-Mikrofonierung mit Kugelmikrofonen. Die Mikrofonbasis beträgt 40cm, mit einem Gesamtaufnahmewinkel von 100°. Abbildung 3.5 zeigt eine mögliche Wegdifferenz bei Laufzeitstereofonie, wenn sich eine Quelle 25° von der Mitte befindet. Die hier angeführte Wegdifferenz von 17,15cm entspricht der halben Wellenlänge von 1000Hz bzw. einer Laufzeitdifferenz von 0,5ms. Dadurch hat man für diese Frequenz an einem Mikrofon ein Minimum, während am anderen Mikrofon ein Maximum auftritt. Werden die beiden Signale getrennt über zwei Lautsprecher abgespielt, werden sie jeweils in beiden Ohren wieder aufsummiert und die Signale der Frequenzen von 1000Hz und deren ungeradzahligen Vielfachen (Notchfrequenzen) löschen sich gegenseitig aus. Für eine genauere Berechnung müsste zusätzlich noch die halbe der in Kapitel 3.1 angeführten Laufzeitdifferenz von 0,233ms berücksichtigt werden. Liegen die Quellen von der AB-Anordnung weit entfernt und bewegen sich kaum, kann man durch die vielen weiteren Einflüsse in einem Orchester kaum Unterschiede hören. Ganz anders verhält es sich, wenn man Solisten mit kleinem Abstand mit einer Klein-AB-Anordnung aufnimmt. Durch dessen Bewegungen, kommen schnell große Einfallswinkeldifferenzen zustande. Dadurch

ändert sich die Wegdifferenz und somit die 1. Notchfrequenz. Durch das Verschieben der Notchfrequenzen, verändert sich der Klang des Solisten während des Spielens/Singens.

Laut Magisterarbeit von Martin Rode [34], gibt es kaum Literatur zur Wahrnehmbarkeit von Kammfiltereffekten (Stand: 2005).

Deshalb hat er in seiner Arbeit untersucht, in wie weit sich die Mikrofonbasis von Aufnahmeverfahren, sowie der Anteil des Diffusschallfeldes, auf die Wahrnehmung von Kammfiltereffekten auswirkt. Die Arbeit von Rode führt zu keine eindeutigen Ergebnisse, was er selbst auf die Wahl des Versuchsaufbaus zurückführt. Trotzdem führen die Versuchspersonen in den Fragebögen an, dass Übersprechen oft deutlich hörbar, sich aber nicht störend auf die Aufnahme auswirkt.

3.2.2 Lokalisation

Betrachtet man das Beispiel von Abbildung 3.5, kann man auch Lokalisationsprobleme bei Laufzeitstereofonie feststellen. Da reine Laufzeitstereofonie mit Kugelmikrofonen realisiert wird, empfängt man beide Lautsprechersignale mit fast gleichem Pegel. Das linke Signal kommt am linken Ohr zwar zuerst an (die oben berechneten 0,5ms plus den 0,233ms aus den Berechnungen von Shirley in [20]) und wird auch von links wahrgenommen, das Signal am rechten Ohr ist aber gleich laut und die Quelle erscheint dadurch breiter als sie ist (Vgl. Kapitel 2.2.3).

3.3 Vermeidung von Crosstalk in Stereo

Es hat sich gezeigt, dass Kanalübersprechen bei Stereoaufnahmen hauptsächlich bei Laufzeitstereofonie auftritt und bei Koinzidenzstereofonie nur eine nebensächliche Rolle spielt. Deshalb liegt die Vermutung nahe, dass man mit koinzidenten Aufnahmeverfahren bessere Ergebnisse erzielen kann. Hinsichtlich des Kanalübersprechens ist das auch der Fall. Trotzdem wird besonders für Orchesteraufnahmen Laufzeitstereofonie bevorzugt. Die gute räumliche Darstellung dieser Verfahren ist hauptsächlich dafür verantwortlich. In [34] wurde gezeigt, dass die Versuchspersonen trotz der Wahrnehmung von Kammfiltereffekten, diese nicht

als störend eingestuft haben. Bei Aufnahmen von Solisten oder kleinen Ensembles mit Laufzeitverfahren spielt das Kanalübersprechen für die Wahrnehmung eine größere Rolle und sollte daher vermieden werden. Des Weiteren kann durch Kapitel 3.1 und dem Versuch von Vickers in [23] festgestellt werden, dass korrelierende Signale akustisches Übersprechen und dadurch Kammfiltereffekte hervorrufen. Weisen die beiden Signale einer Koinzidenzstereofonie verschiedene Pegel, aber keine Laufzeitunterschiede auf, kann von einem hohen Maß an Korrelation ausgegangen werden.

Aus diesen Gründen ist die Frage aufzuwerfen, ob das Kanalübersprechen entschieden vermieden werden soll, oder ob man sich von Fall zu Fall für ein bestimmtes Aufnahmeverfahren entscheidet. Jedenfalls stellt das Fehlen von Quellen und Versuchsreihen über das Kanalübersprechen bei Stereoaufnahmen eine Möglichkeit weiterer Forschung dar.

4 Kanalübersprechen bei Surroundaufnahmeverfahren

Im Zuge der Verbreitung des 5.1-Standards [24] wurde eine neue Hauptmikrofonie nötig, welche nicht nur den Klang von vorne aufnimmt, sondern die gesamte Horizontalebene abdeckt. In den meisten Fällen hat man die Mikrofonanzahl, entsprechend der Lautsprecheranzahl, auf 5 erhöht. Es gibt jedoch auch Hauptmikrofonien mit mehr als 5 Mikrofonen, um mehr Raumklang einzufangen. In den nächsten Kapiteln wird auf die für die Aufnahme vom Direktklang verantwortlichen vordere Dreiergruppe (links L, rechts R und Mitte C) näher eingegangen und dessen Kanaltrennung untersucht. Da man die einzelnen Mikrofonanordnungen in einzelne Mikrofonpaare einteilen kann, können die Grundlagen für das Kanalübersprechen bei Stereoaufnahmen hier übernommen werden.

4.1 Williams Microphone Array (WMA)

Micheal Williams hat bereits im Jahre 1991 [1] die ersten Untersuchungen zu Mehrkanalaufnahmen präsentiert. Es handelt sich hierbei um verschiedene Mikrofonarrays mit 4, 5, oder 6 Mikrofonen, welche an verschiedene Aufnahme- und Wiedergabesituationen angepasst werden können. Im Jahre 1999 [2] folgte eine an die ITU-Norm [24] angepasste Form seiner Mikrofonarrays mit Erweiterung im Jahre 2000 [25]. In der erweiterten Form, beschränkt sich Williams auf 5 Mikrofone, welche in horizontaler Ebene auf gleicher Höhe aufgestellt werden. Die Mikrofone stehen dabei jeweils für einen Lautsprecher und sind um einen bestimmten Winkel und Abstand versetzt.

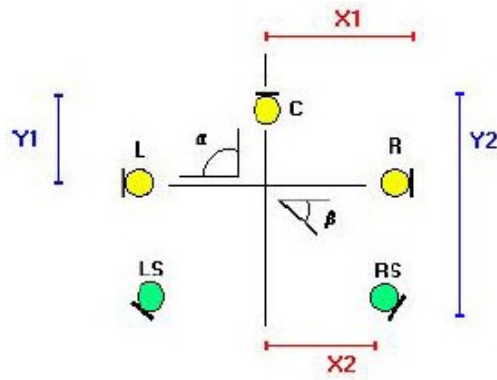


Abb. 4.1: Aufbau eines Williams Microphone Array [27]

Die Aufnahmebereiche zwischen den Mikrofonen werden als Segmente bezeichnet (Abb. 4.2 [2]). Um eine gleichmäßige Abdeckung von 360° zu gewährleisten müssen beim Design des Arrays nahtlose Übergänge zwischen den Segmenten angestrebt werden. Das nahtlose Übergehen des Klangfeldes von einem Segment zum Nachbarsegment nennt Williams „critical linking“. Um „critical linking“ zu erreichen, sind die Werte für Abstände und Winkel zwischen den Mikrofonen aus dem Stereo-Aufnahmewinkel-Diagramm, auch SRA (engl. Stereophonic Recording Angle) genannt, zu entnehmen (Abb. 4.3 [2]).

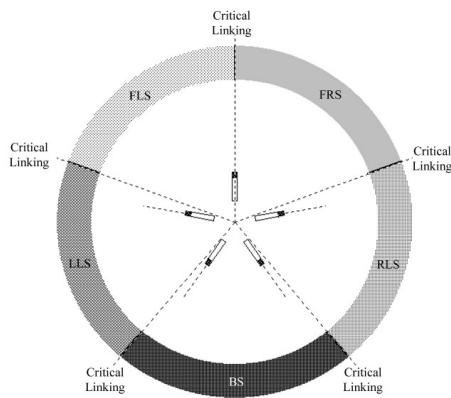


Abb. 4.2: Einteilung des Aufnahmebereiches in 5 Segmente, verbunden durch „critical linking“

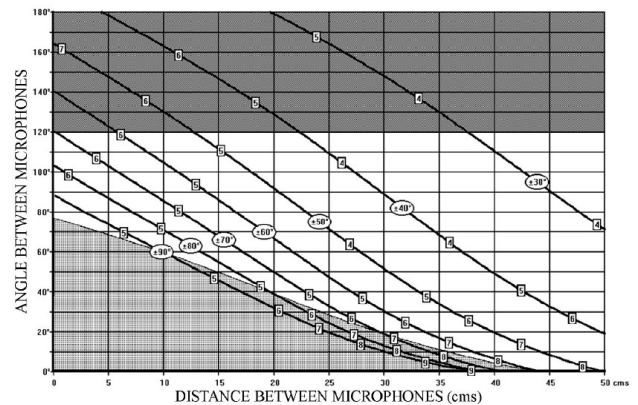


Abb. 4.3: SRA-Kurven; Abstand und Winkel der Mikrofone in Abhängigkeit vom Aufnahmewinkel

Durch die Stetigkeit der SRA – Kurven, lassen sich theoretisch unendlich viele Mikrofonanordnungen realisieren. Williams stellt in [26] 220 verschieden Arrays vor und unterstreicht somit die Flexibilität, die seine Arrays für Tonmeister darstellt. Den genauen Aufbau eines Williams Microphone Arrays zu erklären würde den Rahmen

dieser Arbeit sprengen, weshalb nur auf die für Kanalübersprechen wesentlichen Eigenschaften eingegangen wird. Für eine genauere Beschreibung der Williams Microfone Arrays und deren Design wird an dieser Stelle auf die Literatur von Williams in [1], [2], [25], [26] und auf eine deutsche Zusammenfassung des Arraydesigns von Sobtzick [27] verwiesen.

Kanalübersprechen kann bei Surroundaufnahmetechniken, wie der von Micheal Williams, verschiedenste Ursachen haben. Einerseits treten innerhalb eines Segment die gleichen Effekte wie bei Stereoaufnahmen auf (siehe dazu Kapitel 3), andererseits kann Kanalübersprechen zwischen den benachbarten Segmenten und zwischen den gegenüberliegenden Segmenten auftreten. Michael Williams behauptet in [28], akustisches Übersprechen in einem Segment sei Teil des natürlichen Hörens und geht nicht weiter auf das Thema ein. Kanalübersprechen zwischen den Segmenten sei bei den Arrays zwar möglich, könne aber durch richtiges Design derselben eliminiert werden. Auf drei grundlegende Kriterien soll beim Design des Arrays immer geachtet werden:

- Auf die Art der Aufnahmequelle
- der Wunsch nach entweder koinzidentem (oder fast koinzidentem) Aufnahmeverfahren oder einem mit großen Abständen zwischen den Mikrofonen
- auf spezielle Designtechniken um den Übersprecheffekt möglichst zu reduzieren

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben, können stationäre und schmalbandige Signale viel schwerer lokalisiert werden als perkussive Signale. Werden stationäre Signale, wie sie meistens bei Orchesteraufnahmen z.B. durch den Streicherapparat auftreten, aufgenommen, muss besonderes Augenmerk auf das Kanalübersprechen im gesamten Array geachtet werden. Bei Instrumenten mit langer Abklingzeit ist die Gefahr von Kammfiltereffekten (siehe Kapitel 2.3.2) ebenfalls besonders groß.

Bei Arrays mit weit auseinander liegenden Mikrofonen werden durch die Dekorrelation zwischen den Signalen die Kammfiltereffekte reduziert. Außerdem wird durch das Gesetz der ersten Wellenfront, auch bekannt als „Haas-Effekt“, die Lokalisation weniger beeinträchtigt als bei fast-koinzidenten Verfahren. Deshalb schlägt Williams vor, um Übersprechen zu vermeiden, große Distanzen zwischen den Mikrofonen zu wählen. Unerwähnt bleiben dabei genaue Zahlen, was unter

„größeren Distanzen“ gemeint ist. Bei den in [26] vorgestellten Arrays, ist der größte Wert zwischen 2 Mikrofonen 103cm, die meisten bewegen sich aber zwischen 30cm und 60cm, wodurch laut Kapitel 3.2 sehr wohl Übersprecheffekte auftreten können.

Um den Übersprecheffekt zwischen benachbarten Segmenten „komplett zu eliminieren“ [28], verweist Williams in [28] auf die Bedeutung des „critical linking“ im idealen Design des Williams Microphone Arrays. Sind die Segmente gut miteinander „gelinkt“, dürften gar keine Übersprecheffekte auftreten, sondern nur, wenn sich Segmente überlappen oder unterlappen.

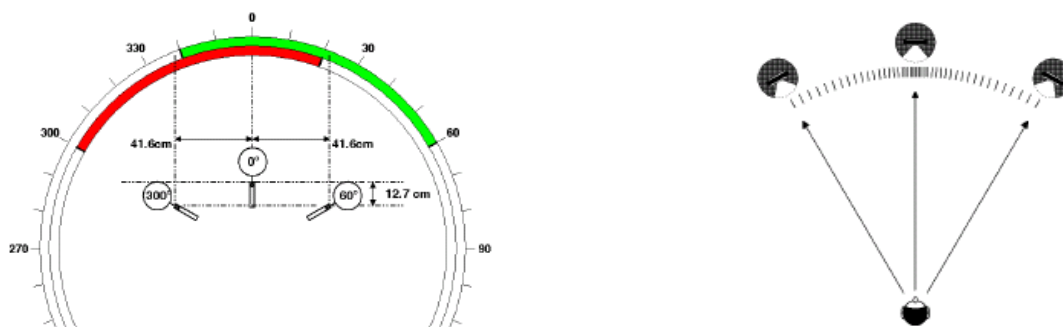


Abb. 4.4: Überlappen der zwei vorderen Segmente (links) und dessen Auswirkung auf die Wiedergabe (rechts): Klangverdichtung in der Mitte und Winkelverzerrung nach außen in Richtung Lautsprecher.

Abbildung 4.4. zeigt was passiert, wenn sich die vorderen Segmente überlappen. Der Bereich in der Mitte von $+20^\circ$ bis -20° wird von den Mikrofonpaaren R-C und L-C gleich aufgenommen. Bei der Wiedergabe werden diese Signale vom Centerkanal wiedergegeben, sowie als Phantomquelle zwischen den L-C Lautsprechern und zwischen den R-C Lautsprechern im Bereich um die Mitte. Es entsteht so eine Klangverdichtung um die Mitte und dadurch eine Winkelverzerrung in Richtung der seitlichen Lautsprecher.

Einen ähnlichen Effekt erhält man beim Unterlappen, d.h. zwischen zwei Segmenten besteht ein Loch. Abbildung 4.5. zeigt dass sich trotz des Loches im Aufnahmebereich, der Klang bei der Wiedergabe in der Mitte verdichtet. Dies geschieht durch die zwanghafte Zusammenführung der Segmente bei der Wiedergabe. In diesem Fall erscheint die Quelle von der Mitte als Monoquelle. Die Winkel außerhalb der Mitte werden im Vergleich zum „critical linked“ Fall (Abbildung 4.6) vergrößert, aber nicht, wie im Fall des Überlappens, verzerrt.

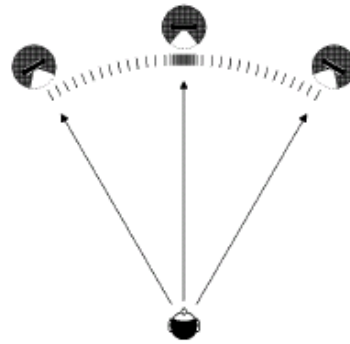
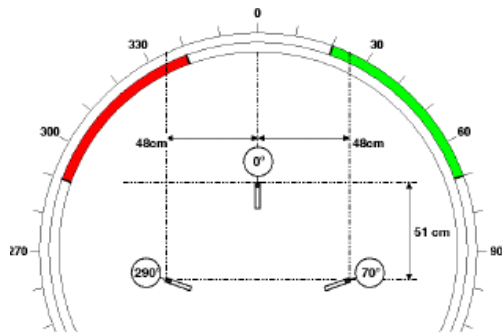


Abb. 4.5: Ist bei der Aufnahme ein Loch zwischen zwei Segmente (links), wird der Klang bei der Wiedergabe (rechts) in der Mitte ebenfalls verdichtet

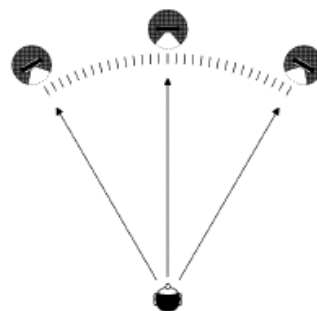
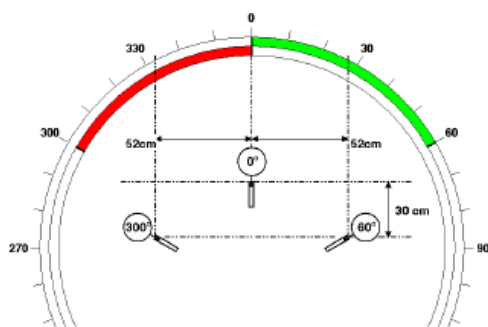


Abb. 4.6: „critical linked“ Segmente bei der Aufnahme (links) ergeben eine gleichmäßige Verteilung der Quellen über die drei Lautsprecher bei der Wiedergabe (rechts)

Von Williams selbst gibt es keine Daten über Kanalübersprechen in seinen Mikrofonanordnungen. Er behauptet, dass Kanalübersprechen durch eine weite Mikrofonierung und durch Erreichen des „critical linking“ möglichst vermieden werden kann. Das im Übrigen auftretende Übersprechen liegt in der Natur des Schallfeldes und der Schallquellen.

4.2 Ideale Nierenanordnung (INA3)

Eine auf die Berechnungen von Williams basierende Mikrofonanordnung des vorderen Triplets ist INA3 (ideale Nierenanordnung) von Herrmann und Henkels [29] (Abbildung 4.7). Diese beschränkt sich auf symmetrisch aufgebaute Arrays, um zusätzlich einzusetzende elektronisch Zeit/Pegel-Offsets zu vermeiden (sind bei Williams für unsymmetrische Anordnungen vorgesehen). Eine Untersuchung der Qualität und somit auch des Übersprechens bei INA3, OCT und Quasi-ORTF stammt von der Diplomarbeit von Wittek [30] (siehe auch Kap. 4.4).

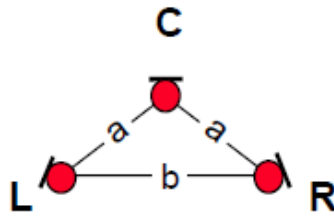


Abb. 4.7: Grundaufstellung von INA3. Durch Änderung der Abstände a und b können verschiedene Aufnahmewinkel realisiert werden. Siehe dazu [29] oder [30]

Die Ergebnisse von Wittek lassen eine deutliche Verfälschung des Klangbildes durch INA3 erkennen. Die in Kapitel 2 erklärten Begriffe von Lokalisation und Klangfarbe werden durch den Übersprechpegel des jeweils nicht an der Abbildung beteiligten Mikrofons verfälscht. Tabelle 4.1 zeigt den Pegel des rechten Kanals normiert auf den Pegel von links+mitte für verschiedene Schalleinfallswinkel.

| | Einfällswinkel | 0° | -10° | -20° | -30° | -40° | -50° | -60° |
|---------------|----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Pegel R in dB | INA3 | -4,4 | -5,7 | -7,0 | -8,4 | -10,0 | -11,9 | -14,0 |

Tab. 4.1: rechnerische Übersprechpegel des rechten Kanals in der linken Abbildungszone

Durch das Übersprechen erreicht die INA3-Anordnung keine lineare Lokalisationskurve mehr. Im Bereich von -10° bis +10° sowie in dem von ±45° bis ±60°, kommen die Abbildungen von nur einem Lautsprecher. Weiters ist die Stabilität in seitlichen Sitzpositionen nicht gegeben. Ein Signal das aus dem Center-Lautsprecher abgebildet werden soll, wird durch das Übersprechen von -9° wahrgenommen. Auch die Abnahme der Lokalisationsschärfe haben die Probanden in [30] sowohl von der Mitte als auch von der seitlichen Hörposition als wahrnehmbar angegeben.

Der Versuch in [30] zur Klangfarbe wurde ähnlich wie der Versuch von Shirley [20] (siehe Kapitel 3.1), mit dem Vergleich zwischen Real- und Phantomschallquelle realisiert. Bei 0° Einfällswinkel sind kaum Unterschiede zu erkennen, jedoch bereits ab 5° Schalleinfall sind klare Unterschiede in der Klangfarbe wahrnehmbar. Bei seitlicher Sitzposition sind, durch die Beteiligung aller 3 Lautsprecher an der Phantomschallquelle, ebenfalls klar wahrnehmbare Unterschiede zu erkennen. Erst ab einem Schalleinfallswinkel von 15° lässt die Wirkung des gegenüber liegenden Lautsprechers nach und die Klangfärbung wird weniger.

4.3 Optimized Cardioid Triangle (OCT)

Günther Theile hat in [31] den Versuch unternommen, die bis dahin verwendeten Surround-Hauptmikrofonie, darunter auch INA3, besonders in Hinblick auf das Übersprechen zu optimieren. Daraus hat er die Anordnung Optimized Cardioid Triangle (OCT) entwickelt. In diesem Kapitel soll die grundlegende Überlegung hinter der OCT-Anordnung und der Vergleich mit INA3 hinsichtlich des Kanalübersprechens und dessen Effekte gemacht werden.

Die OCT-Anordnung besteht aus einem Nierenmikrofon für das Mittensignal und 2 Supernierenmikrofone für die Seitensignale, jeweils um 90° um die Hauptachse gedreht (siehe Abb. 4.8).

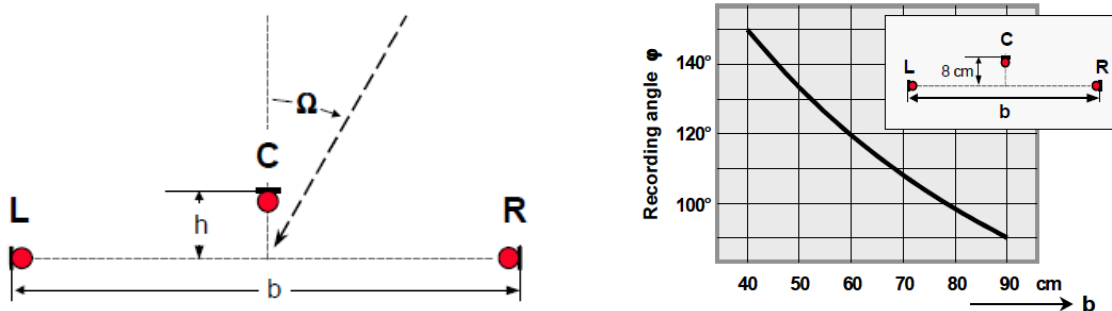


Abb. 4.8: Grundaufstellung von OCT. Durch Änderung der Mikrofonbasis b kann man den Aufnahmewinkel variieren. Der Abstand zum Centerkanals ist vorgegeben mit 8cm für Supernieren als Seitenmikrofone[31]

Um Übersprechen möglichst zu vermeiden, ist der Abstand h zwischen Seiten- und Mittenmikrofon mit 8cm bei Supernieren und 12 cm bei Hypernieren für die Seitenmikrofone fest vorgegeben. Diese Abstände ergeben sich dadurch, dass die Nullpunkte im Polardiagramm der Richtcharakteristiken von Supernieren gegen das Zentrum gerichtet sind. Somit wird der Schall von vorne am stärksten unterdrückt. Die Mikrofonbasis bestimmt den Aufnahmewinkel zwischen 90° und 150° (Abb. 4.8).

Im Vergleich zur vorher präsentierten Anordnung INA3, sind die Übersprechpegel beim OCT minimal. (Tabelle 4.2 auf der nächsten Seite)

| | Einfallswinkel | 0° | -10° | -20° | -30° | -40° | -50° | -60° |
|---------------|----------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Pegel R in dB | INA3 | -4,4 | -5,7 | -7,0 | -8,4 | -10,0 | -11,9 | -14,0 |
| (relativ L+C) | OCT | -9,2 | -12,3 | -15,4 | <20 | <20 | -19,5 | -15,8 |

Tab. 4.2: Vergleich der Übersprechpegel zwischen INA3 und OCT.[30]

Dadurch ergeben sich auch Verbesserungen hinsichtlich der Klangfarbe und der Lokalisation. Die Lokalisationskurve weist einen sehr linearen Verlauf auf, der nur einen leicht abweichenden Verlauf bei mittleren Auslenkungen aus der Basismitte zeigt. Ein weiterer Vorteil der Übersprechpegelunterdrückung, ist die Stabilität des Klanges bei seitlichen Sitzpositionen. Das Mittensignal bleibt stabil und die Abweichung im centernahen Bereich ist gering. Einzig die Lokalisationsschärfe bei seitlichen Signalen ist bei OCT (bei mittlerer Sitzposition) der INA3 Anordnung unterlegen. Hier arbeitet OCT fast rein mit Laufzeitunterschieden und ist darauf zurückzuführen.

Während beim INA3- Verfahren bereits ab 5° deutliche Unterschiede der Klangfarbe zwischen Referenz- und Phantomschallquelle erkennbar sind, weist OCT eine leichte, konstante Entwicklung hin zu deutlichen Unterschieden auf. Das macht die Wahrnehmung der Klangfarbenänderung geringer. Laut Wittek sind diese Unterschiede durch das Vermeiden von Übersprechen zwischen den Signalen bei OCT erklärbar.

4.4 Vier WMA-Arrays auf dem Prüfstand

Aus den Arrays von Williams [26] haben Rumsey und Lee in [3] vier verschiedene ausgesucht, bei denen die Segmente mit „critical linking“ verbunden sind, also laut Williams eine möglichst natürliche Aufnahme ermöglichen und haben sie auf ihr Übersprechverhalten überprüft. Abb. 4.9 zeigt die vier Arrays mit den Abständen zwischen den Mikrofonen. Von oben links nach unten rechts sind die Winkel zwischen dem linken und dem rechten Mikrofon folgende: 100°, 80°, 60° und 40°.

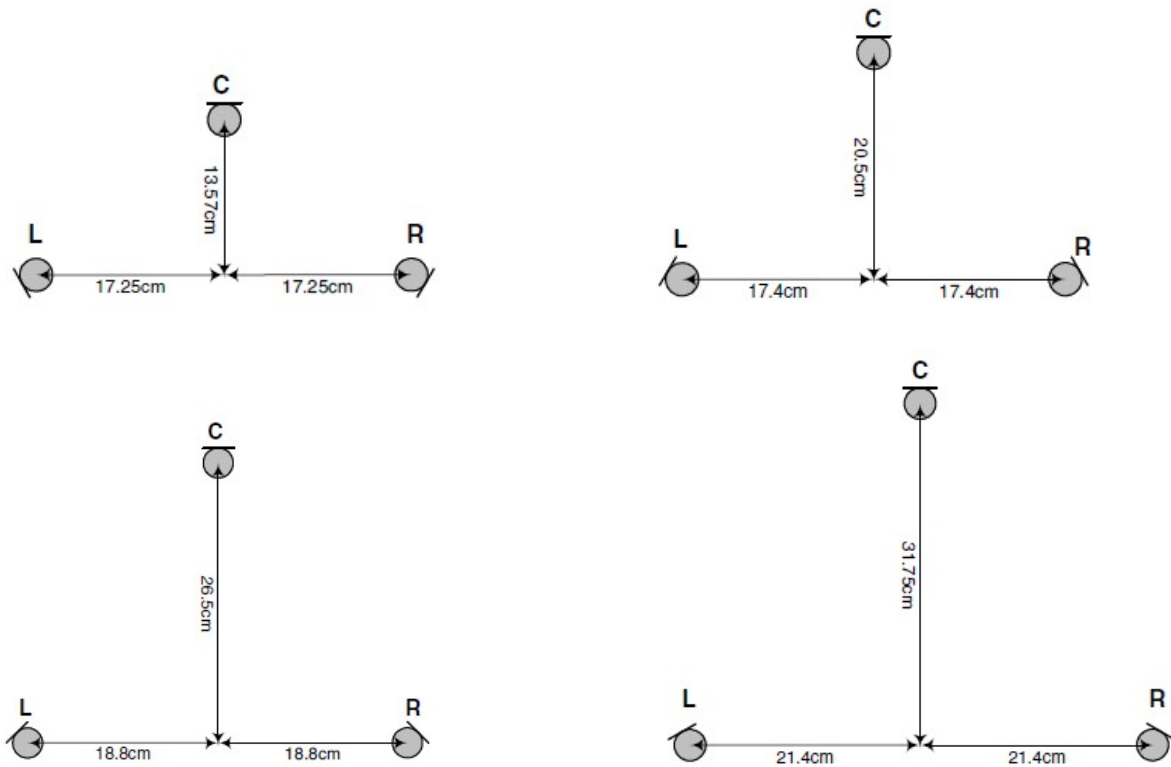


Abb. 4.9: Die vier getesteten Arrays aus der Auswahl von Williams mit „critical linked“-Segmente.

| | C to L delay | C to L intensity | C to R delay | C to R intensity |
|----------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Array 1 | 0.64ms | - 20.5dB | - 0.08ms | - 0.7dB |
| Array 2 | 0.79ms | - 12.8dB | 0.06ms | 0.6dB |
| Array 3 | 0.94ms | - 8.0dB | 0.16ms | 1.2dB |
| Array 4 | 1.09ms | - 4.6dB | 0.21ms | 1.4dB |

Tab. 4.3: Pegel- und Laufzeitdifferenzen zwischen Center und linker Kanal bzw. Center und rechter Kanal für alle 4 Arrays.

Tab. 4.3 zeigt zudem die Pegel- und Laufzeitdifferenzen zwischen den Seitenkanälen zum Mittenkanal für alle vier Arrays bei einem Schalleinfall von 45°.

In dem Versuch sollte weiters untersucht werden, in wie weit sich die Art der Quelle und die akustische Beschaffenheit des Raumes auf die Wahrnehmung des Übersprechens auswirkt. Es wurden 3 Quellen aus der „Bang&Olufsen Archimedes project“-CD [35] entnommen. Bongospiel für kurze und breitbandige Signale, Cello für andauernde Signale mit komplexer harmonischer Struktur und Sprache für eine Mischung aus beiden Eigenschaften, also mit steilen Transienten und einer

breitbandigen harmonischen Struktur. Die Quellen aus der CD von Bang&Olufsen sind in trockener Umgebung aufgenommen worden, was auch die erste der drei akustischen Umgebungen ausmacht. Die anderen beiden sind einmal ein simulierter Raum und einmal ein simulierter Hall. Tabelle 4.4 zeigt die Werte für die Simulation der Räume.

Die Ergebnisse zur Auswirkung von verschiedenen Quellen und verschiedenen Räumen sind auf Seite 37 zu finden.

| | Size | RT Mid | RT Low | HF Cut-off | Pre-delay |
|-------------------|------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|
| Large Room | 19m ² | 0.70s | 0.70s | 6.593kHz | 0ms |
| Large Hall | 37m ² | 2.19s | 2.63s | 2.862kHz | 24ms |

Tab. 4.4: Einstellungen für die simulierten Räume: Großer Raum und große Halle (RT Mid = Nachhallzeit für Mittenfrequenzen, RT Low = Nachhallzeit für tiefe Frequenzen)

Das Besondere an dem Versuch ist, dass die Verfasser von [3] zunächst versucht haben, die richtigen Begriffe für die Effekte vom Kanalübersprechen zu finden. Zusammen mit ihren Studenten, haben sie zufällige Signale mit und ohne Übersprechen angelegt und versucht die Auswirkungen davon in Worte zu fassen. Im ersten Schritt, haben sie alle wahrnehmbaren Eindrücke, welche durch Übersprechen entstehen, aufgeschrieben. Im nächsten Schritt wurden die einzelnen Begriffe skaliert um sie beim Versuch einordnen zu können. Tabelle 4.5 zeigt die Bezeichnung der wahrgenommenen Begriffe, die Häufigkeit der Wahrnehmungen und den Hörbarkeitsindex der einzelnen Begriffe.

| Attribut | Häufigkeit | Hörbarkeitsindex |
|-------------------|-------------------|-------------------------|
| Quellenbreite | 7 | 6,5 |
| Lokalisation | 6 | 4,7 |
| Quellenposition | 6 | 3,6 |
| Fülle | 5 | 3,5 |
| Quellentfernung | 7 | 3,1 |
| Härte | 3 | 2,3 |
| Breite | 5 | 1,4 |
| Weitschweifigkeit | 1 | 1,3 |
| Natürlichkeit | 1 | 1,3 |
| Umhüllung | 1 | 0,7 |
| „phasiness“ | 1 | 0,5 |

Tab. 4.5: Wahrgenommene durch Übersprechen verursachte Eigenschaften bei den drei verschiedenen Quellen Bongo, Cello und Sprache.

Nähere Details zum Zustand kommen der Daten kann in [3] nachgelesen werden. Hier sei angemerkt, dass diese Eigenschaften zwar alle hörbar sind, jedoch im weiteren Hörversuch in [3] nur die ersten zwei (Quellenverbreiterung und Lokalisationsstörung), als einzige relevanten Eigenschaften, hergenommen wurden.

Die Hörversuche haben folgende Ergebnisse gebracht:

- Quellenverbreiterung und Lokalisationsstörung sind die einzigen Eigenschaften, welche mehr als geringfügig wahrgenommen werden.
- Kanalübersprechen verursacht einen Anstieg der Quellenbreite und eine Abnahme der Lokalisationsschärfe.
- Quellenverbreiterung und Lokalisationsstörung hängen hauptsächlich von den Pegel- und Laufzeitdifferenzen zwischen den Signalen ab. Basiert ein Array hauptsächlich auf Laufzeitdifferenzen (daraus folgen kleinere Pegeldifferenzen), wird der jeweilige Effekt umso mehr verstärkt.
- Die Art der Quelle wirkt sich auf die Quellenbreite aus, nicht aber auf die Lokalisation.
- Die akustische Beschaffenheit des Aufnahmeraumes wirkt sich auf die Lokalisation, nicht aber auf die Quellenbreite aus.

Der letzte Punkt steht im Widerspruch zu D. Griesinger (unter anderem in [36] oder [37]), welcher besagt, dass sich seitliche Reflexionen sehr wohl auf die Quellenbreite auswirken. Um in diesem Punkt Klarheit zu schaffen, bedarf es weit reichende Untersuchungen, welche der Rahmen dieser Arbeit nicht zulässt. Es sei angemerkt, dass beide Behauptungen mit Versuche belegt wurden.

4.5 Vermeidung von Crosstalk in Surround

Bis jetzt wurde analysiert bei welchen Aufnahmeverfahren Übersprechen auftritt, wie es zustande kommt und welche Auswirkungen es mit sich bringt. In diesem Kapitel soll untersucht werden, welche Aufnahmeverfahren in dieser Hinsicht besser geeignet sind. Das lässt noch nicht daraus schließen, welches Aufnahmeverfahren in der Praxis besser klingt, jedoch ist die Unterdrückung vom Übersprechen von großem Vorteil und beugt unangenehmen Lokalisationsproblemen und Klangfarbenänderungen vor.

Im Allgemeinen hat sich gezeigt, dass Übersprechen am deutlichsten bei fast – koinzidenten Aufnahmeverfahren durch Laufzeitunterschiede zustande kommt. Daraus kann man schließen, dass durch Verwendung von Anordnungen für das vordere Triplett mit größtmöglicher Übersprechunterdrückung wie der OCT-Anordnung, gepaart mit Ruummikrofonen weit hinten im Diffusschallfeld die besten Ergebnisse (immer hinsichtlich des Übersprechens) erzielt werden. [32]

Surroundmikrofone

Trotz der oben gemachten Erkenntnis, gibt es die Möglichkeit, mit zwei nahen, hinteren Mikrofonen (insgesamt 5 entsprechend den 5 Lautsprechern) den Raumanteil einzufangen. Theile schlägt in [31] die Anordnung OCT-Surround vor. Diese beinhaltet zusätzlich zur von ihm vorgestellten OCT-Anordnung, zwei Nierenmikrofone mit 180° Winkel zur Hauptachse. Diese befinden sich 48cm vom Centermikrofon entfernt und um jeweils 10cm weiter seitlich als die Mikrofone L und R. Die Nierencharakteristik der hinteren Mikrofone ermöglichen eine möglichst hohe Unterdrückung des Direktschalls. Die Tabelle 4.6 bestätigt diese Überlegung

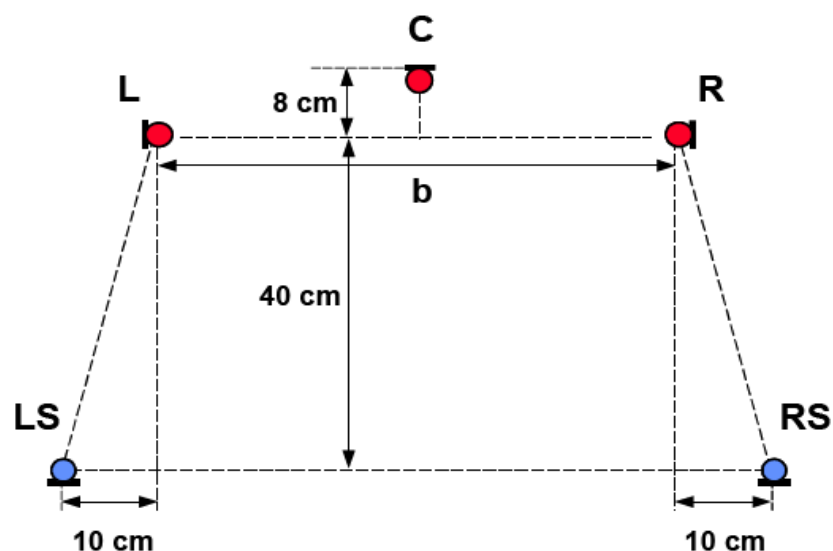


Abb. 4.10: OCT-Surround-Anordnung mit den Abständen zu den Mikrofonen

| Ω | L | C | R | RS | LS |
|----------|-------|-------|-----|-------|-------|
| 0° | - 4 | + 5 | - 4 | < -20 | < -20 |
| 45° | < -20 | + 3 | + 3 | - 10 | - 10 |
| 90° | - 6 | - 1 | + 5 | - 1 | - 1 |
| 135° | < -20 | - 10 | + 3 | + 3 | + 3 |
| 180° | - 4 | < -20 | - 4 | + 5 | + 5 |

Tab. 4.6: Verhältnis des Direktschalls zum indirekten Schall für verschiedene Quellwinkel und für alle Mikrofonpositionen

Für die meisten Aufnahmen klassischer Musik sind die Rearlautsprecher für den Raumklang/Raumreflexionen und nicht für den Direktklang von Instrumenten zuständig. Hat man eine Anordnung für das vordere Triplett, welches Kanalübersprechen möglichst unterdrückt, braucht es noch eine geeignete Anordnung für das Diffusschallfeld. Die zwei gebräuchlichsten sind das IRT-Kreuz und das Hamasaki-Square. Diese werden in größerem Abstand zum vorderen Triplett aufgestellt, als die Surroundmikrofone in dem WMA oder OCT-Surround.

IRT-Kreuz

Abbildung 4.11 zeigt die Anordnung eines IRT Kreuzes, auch bekannt als „Atmocross“. Der Abstand d zwischen den Mikrofonen mit Nierencharakteristik beträgt 20 bis 25cm und sind um je 90° gedreht. Durch die Richtcharakteristik der Mikrofone lässt sich das Übersprechen im Kreuz selber vermeiden. Beim Mix werden die vorderen 2 Mikrofone L_B und R_B zu den vorderen Lautsprechern L und R und die hinteren Mikrofone LS und RS zu den hinteren Lautsprechern LS und RS hinzugemischt.

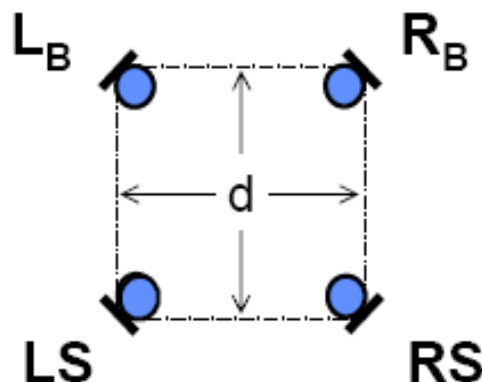


Abb. 4.11: Anordnung des IRT-Kreuzes mit gleichem Abstand und 90° Winkel zwischen den Mikrofonen.

Wichtig ist der Abstand zwischen dem Kreuz und dem vorderen Triplett, welcher nicht zu klein gewählt werden soll, um Übersprechen zwischen den Mikrofonen L und L_B bzw. R und R_B zu vermeiden. Abb. 4.13 zeigt den idealen Abstand zwischen den Raummikrofonen (in der Abbildung ist der Hamasaki Square dargestellt, gilt jedoch genauso für das IRT-Kreuz). Um ein Direkt/Diffusschallverhältnis von -10dB zu erreichen, sollen die Raummikrofone 10m bis 12m vom Hallradius bzw. vom vorderen Triplett entfernt aufgestellt werden.

Hamasaki Square

In gewissen Situationen kann es, trotz größerem Abstand zum Hallradius, zu Problemen zwischen vorderen und hinteren Mikrofonen kommen (z.B. bei stark richtenden Instrumenten wie Trompeten im fortissimo). In solchen Fällen kann das Hamasaki-Square Abhilfe schaffen (Abbildung 4.12). Durch vier im Abstand von 1 bis 2m aufgestellte Achtermikrofone (jeweiliger Nullpunkt des Polardiagrammes in Richtung Orchester) kann der Direktschall noch weiter unterdrückt werden. Der Abstand zum vorderen Triplett beträgt wiederum 10 bis 12m wie in Abb. 4.13 dargestellt. Die vorderen Mikrofone der Anordnung werden wie beim IRT-Kreuz den vorderen Lautsprechern und die hinteren Mikrofone den hinteren Lautsprechern zugewiesen.

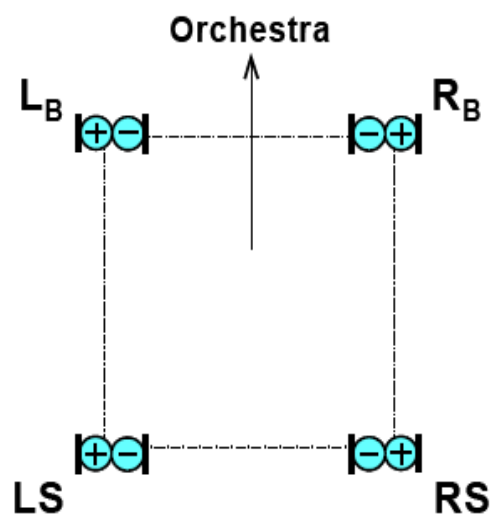


Abb. 4.12: Hamasaki-Square

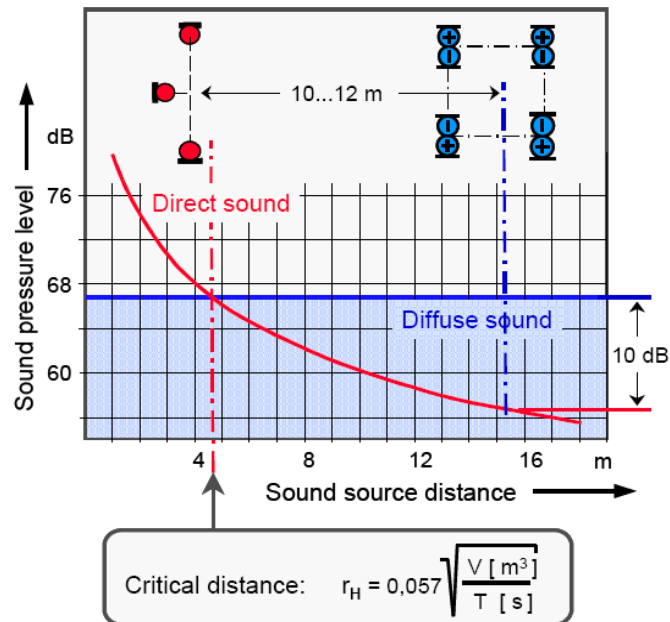


Abb. 4.13: Idealer Abstand zwischen Raummikrofonen und vorderem Triplet um den Raumklang einzufangen. Statt dem Hamasaki-Square können auch andere Raummikrofone eingesetzt werden

Doppel M/S

Wie bereits bei Stereoaufnahmen, sind Koinzidenzverfahren gegenüber Laufzeitverfahren beim Kanalübersprechen im Vorteil. Eine sehr gute und kompakte Lösung, bietet das Doppel M/S-Verfahren. Diese an StereoM/S angelehnte Anordnung, besteht aus nur 3 Mikrofonen, eines nach vorne, eines nach hinten (beide sind Nierenmikrofone) und eines seitlich (als Achtermikrofon) gerichtet. Durch richtiges Matrizieren, erhält man eine Anordnung mit 5 Supernieren. Dieses Verfahren hat alle Eigenschaften eines üblichen Koinzidenzverfahrens mit der Stärke in der Lokalisation (durch fehlendes Übersprechen bzw. Laufzeitunterschiede), jedoch einer Schwäche in der räumlichen Darstellung des Schallfeldes bei der Wiedergabe über Lautsprecher (ebenfalls auf die fehlende Information der Lauzeitunterschiede zurückzuführen).

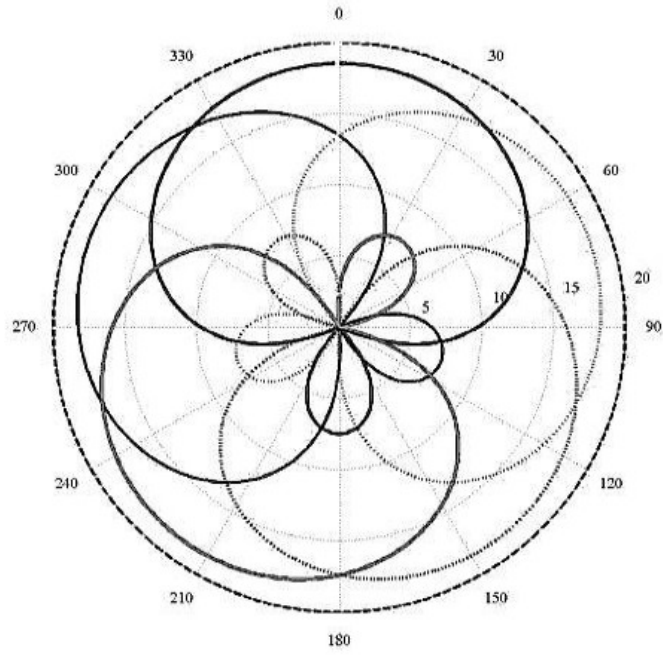


Abb. 4.14: Resultierende Anordnung nach dem Matrizieren des Doppel M/S-Verfahrens

5 Simulation verschiedener Surroundanordnungen

In den Kapiteln 4.1 bis 4.4 wurden verschiedene Mikrofonanordnungen für Surroundaufnahmen auf das Kanalübersprechen untersucht. Nun sollen diese Anordnungen mit Matlab simuliert werden. Dabei wurden folgende Anordnungen ausgewählt: INA5, OCT + Surroundmikrofone und die in Kapitel 4.4 vorgestellten WMAs + Surroundmikrofone.

Die Simulation basiert auf der Arbeit von Martin Rohrmoser und Michael Kerscher [6]. Diese wurde konzipiert, um die allgemeine Qualität der Williams Microphone Arrays zu überprüfen. Daraus wurden nun die für das Kanalübersprechen relevanten Teile entnommen und auf die oben genannten Anordnungen angewandt. Hier werden die einzelnen Blöcke der Simulation grob beschrieben, für eine ausführliche Beschreibung wird auf die Seminararbeit von Rohrmoser und Kerscher[6] hingewiesen.

Programmaufbau

Abbildung A zeigt das Blockschaltbild der Simulation aus dem Protokoll von Rohrmoser und Kerscher [6]. Im Laufe dieser Arbeit wurde nicht der grundlegende Programmablauf geändert, sondern nur die verschiedenen Blöcke, dessen Aufbau nun kurz geschildert wird.

Um die Unterschiede zwischen den Simulationen zu erkennen, müssen diese mit einer Referenz verglichen werden. Deshalb ist das Blockdiagramm in zwei Teile gegliedert, links der Referenzzweig und rechts der Simulationszweig (hier MMA-Zweig genannt). In der Funktion *pinknoise.m* wird ein rosa Rauschen erzeugt. Die Energiedichte dieses Rauschens fällt mit -3dB pro Oktave mit steigender Frequenz. Dies entspricht in etwa dem menschlichen Gehör ab 500Hz. Das rosa Rauschen dient nun als Eingang für den Referenzzweig und den Mikrofonanordnungsweig.

Um das Schallfeld zu simulieren, werden 5 BRIR (Binaural Room Impulse Response), also binaurale Raumimpulsantworten, aus einer Messung der 5.1 Surround Abhöre im Produktionsstudio des IEM verwendet. Diese wurden in 2

Metern Abstand zu den Lautsprechern mit einem Kunstkopf gemessen. Die BRIRs werden im Referenzweig zusätzlich mit der *VBAP.m*-Funktion gewichtet, um mehr Positionen für die BRIR zu simulieren.

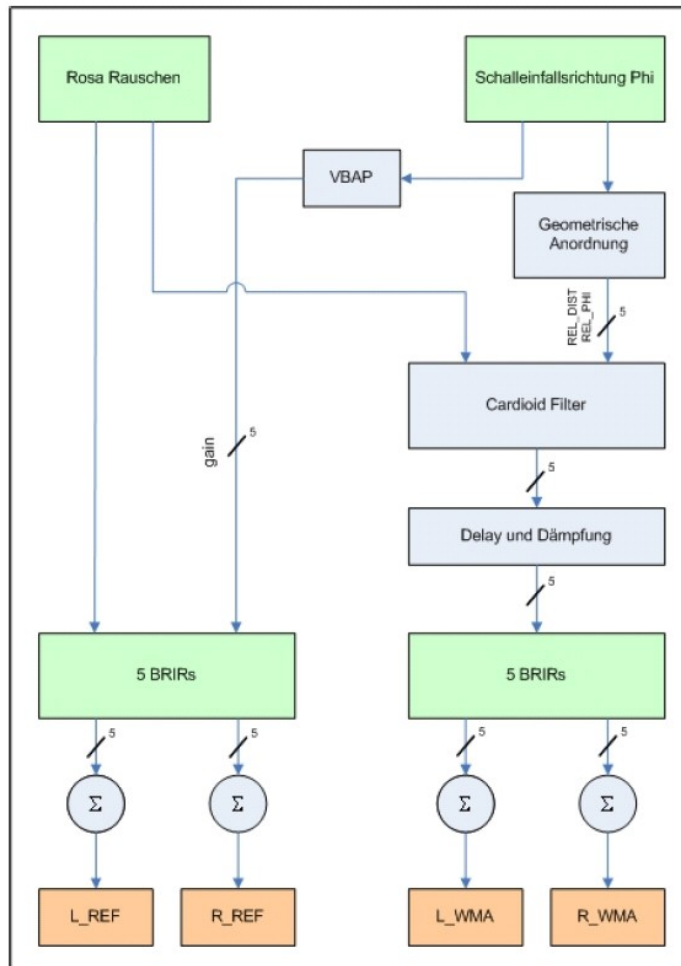


Abb. A: Blockschaftbild der Simulation

Im Hauptprogramm *main.m* werden die Positionen der Mikrofone bestimmt und mit Hilfe der Funktion *vektor.m* dessen Winkelausrichtungen. Durch eine Rotationsmatrix werden diese Positionen an die Lautsprecheranordnung angepasst, d.h. das Centermikrofon ist in Richtung Centerlautsprecher gerichtet. Die Mikrofonanordnung wird jeweils so positioniert, dass sich der Mittelpunkt der Polarkoordinaten im halben Abstand zwischen dem Centermikrofon und den Rearmikrofonen befindet. Abbildung B zeigt die Mikrofonpositionen und einen Lautsprecher in Richtung 30°. Die Richtung der Vektorpfeile dürfen nicht mit der Mikrofonausrichtung verwechselt werden. Die

Spitze der Vektoren stellt die Position der Mikrofonkapseln dar, an denen noch die Drehung um den entsprechenden Winkel erfolgt.

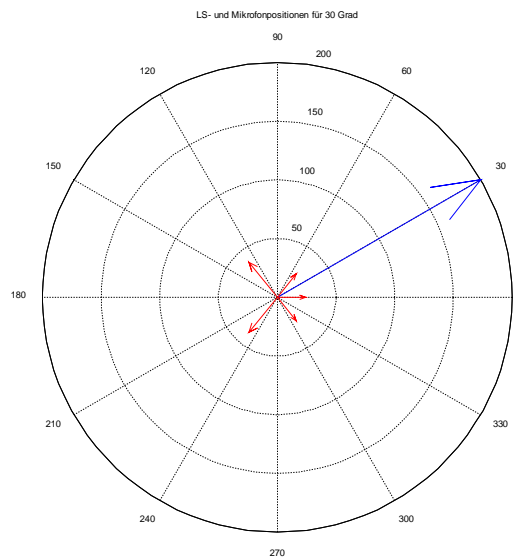


Abb. B: Positionen der Mikrofone (in diesem Fall OCT+Surround) und des 30°Lautsprechers

An diesen Positionen und mit diesen Winkeln wird nun der Filter der Funktion *filter_niere.m* oder *filter_super.m* angewandt. Um ein reales Mikrofon zu simulieren, sind die Werte für die Filter aus den Polarplots der KM100 Serie der Firma Neumann (KM140 für Niere und KM 150 für Superniere) entnommen. Die Werte wurden aus Abbildung C in 7 Oktavbändern und in 15°-Schritten herausgelesen und in einer Matrix in der Funktion *table.m* eingetragen. Mit Hilfe der Funktion „*rceps*“ wird ein minimalphasiger Entwurf des Filters realisiert, um die Gruppenlaufzeit nicht zu verändern. Dies ist für die spätere Berechnung der Korrelation von großer Bedeutung. Zusätzlich zum Filter wird noch die Abschwächung des Schallsignals durch die Entfernung der Lautsprecher (beträgt 2 Meter) mit berücksichtigt.

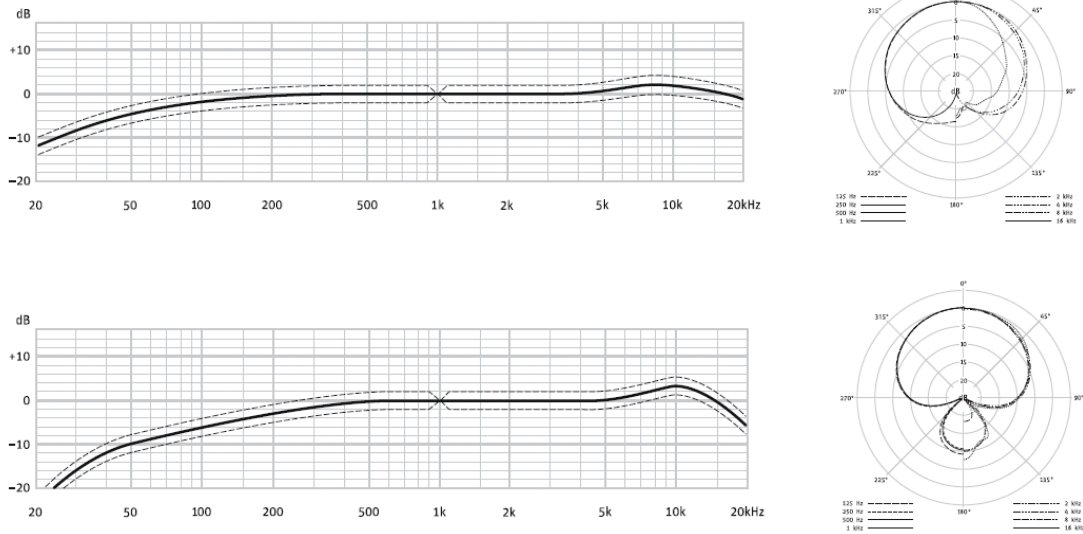


Abb. C: Frequenzgänge und Polardiagramme der simulierten Mikrofonkapseln KM140 (oben) und KM150 (unten). Aus den Polardiagrammen wurden die Werte für die Matrix herausgelesen und in *table.m* eingetragen.

Die Mikrofonsignale werden nun mit den BRIRs gefaltet und zu zwei Kanälen (Links und Rechts) aufaddiert. Durch die Interaurale Kreuzkorrelationsfunktion (IACF, im Programm *IACC.m*) kann die Lokalisation einer Quelle angegeben werden. Sie nimmt Werte zwischen -1 und +1 an. Hohe Korrelation heißt gute Lokalisation und niedere Korrelation heißt, dass die Quelle schlecht lokalisierbar ist. Bei negativen Werten ist ein Signal zum anderen verpolt und es kommt zu Phasenauslöschungen, wodurch die Lokalisationsschärfe ebenfalls beeinträchtigt wird.

Ergebnisse der Simulation

In weiterer Folge, werden die simulierten Anordnungen beschrieben und die Ergebnisse präsentiert. Aus den Kapiteln 4.1 bis 4.4 werden insgesamt 16 mögliche Anordnungen ausgewählt und untersucht, ob die theoretischen Überlegungen mit der Simulation übereinstimmen. Vier davon basieren auf den INA5 Anordnungen, acht basieren auf OCT + 2 Surroundmikrofonen und vier sind mit den SRA nach Williams erstellt [2]. Letztere entsprechen ebenfalls den von Rumsey und Lee in [3] (Kapitel 4.4) untersuchten 3-Kanal-Arrays mit zusätzlichen Surroundmikrofonen. Mit einer Schleife werden die Mikrofonanordnungen für Quellpositionen in 5° Schritten gemessen (d.h. 72 Wiederholungen der Berechnung pro Anordnung) und in ein Array gespeichert. Anschließend werden diese Arrays in einem Polarplot dargestellt. Dabei wird der Wert der Kreuzkorrelation in Abhängigkeit des Winkels der Quelle

eingetragen. Die roten Vektoren in den Polarplot, stellen die Position der Lautsprecher bei der Wiedergabe dar. Diese dienen zur Orientierung und um zu erkennen, ob an der Stelle der realen Lautsprecher höhere Korrelation herrscht oder nicht.

INA5

Die von Herrmann und Henkels in [29] entwickelte Mikrofonanordnung INA5 wurde mit den SRA Kurven nach Williams erstellt. Anders als bei Williams, schließen sie nur symmetrische Anordnungen ein, womit elektronische Offsets vermieden werden. Abbildung D zeigt die in der Simulation verwendete Anordnung mit entsprechenden Abständen. Alle Mikrofone sind Nieren. Damit reicht in der Simulation die Filterfunktion *filter_niere.m*. Die Winkel zwischen C und R sowie C und L betragen 90° . Die Winkel für die Surroundmikrofone wurden zwischen 90° und 180° in 30° -Schritten variiert, um deren Auswirkung auf die Lokalisation des gesamten Arrays zu untersuchen.

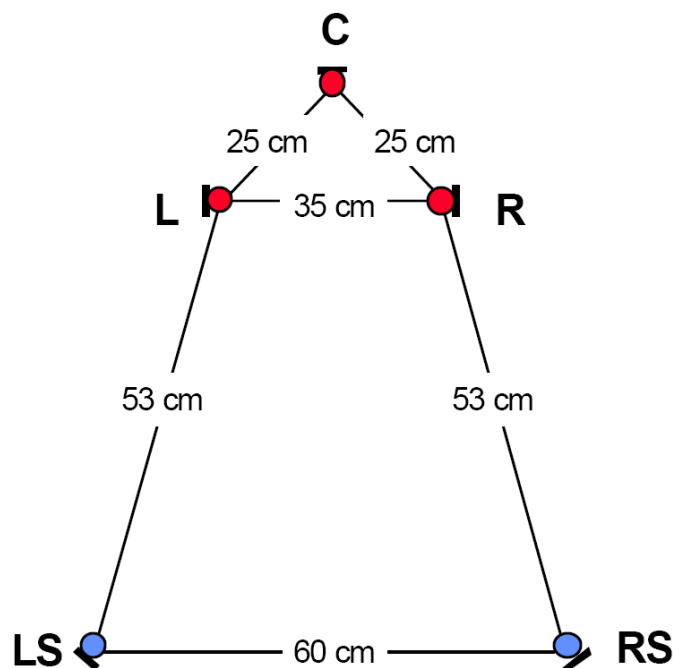


Abb. D: Aufbau der untersuchten INA5-Anordnung mit den jeweiligen Abständen

Abbildung E1 zeigt den Polarplot des Referenzzweiges an. Die Abbildungen E2 bis E5 zeigen die Ergebnisse der Simulation für die vier INA5 Anordnungen mit sinkenden Winkeln der Surroundmikrofone, von 180° bis 90° . In Abbildung E2 kann man erkennen, dass die vorderen 180° gut abgebildet werden und mit dem

Referenzplot relativ gut übereinstimmen. Im hinteren Bereich hingegen, ist die Lokalisation sehr schlecht. Besonders im Bereich der Lautsprecher ist ein Korrelationsminimum. Bei 180° hat man wieder ein Maximum. Das bedeutet, dass man im gesamten hinteren Bereich eine Phantomquelle schlecht lokalisieren kann. Die Quelle wird nach hinten gedrängt und wird unscharf.

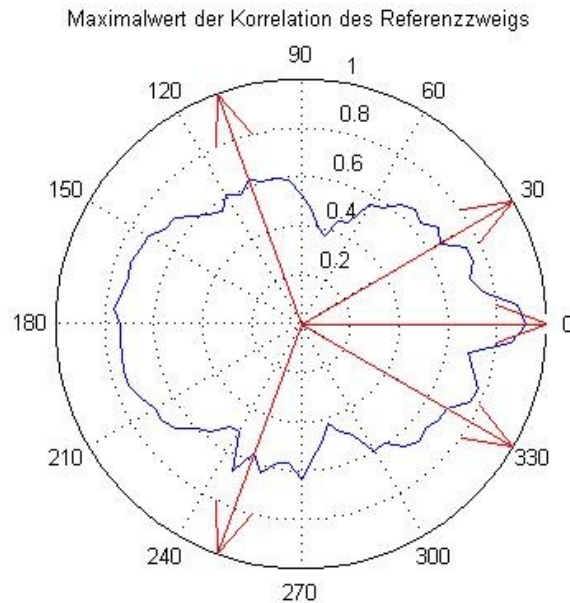


Abb. E1: Maximalwert der Korrelation des Referenzzweiges (blau). Die roten Vektoren zeigen die Positionen der Lautsprecher an.

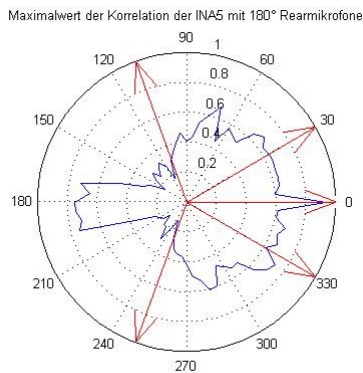


Abb. E2: Maximalwert der INA5-Anordnung mit den Rearmikrofonen um 180° nach hinten gedreht.

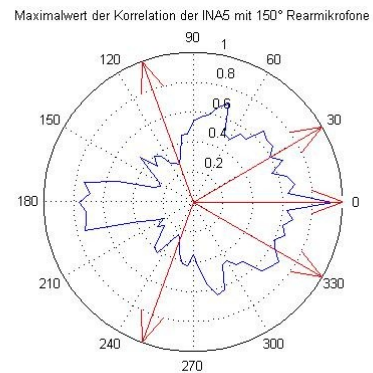


Abb. E3: Maximalwert der INA5-Anordnung mit den Rearmikrofonen um 150° nach hinten gedreht.

Maximalwert der Korrelation der INA5 mit 120° Rearmikrofone

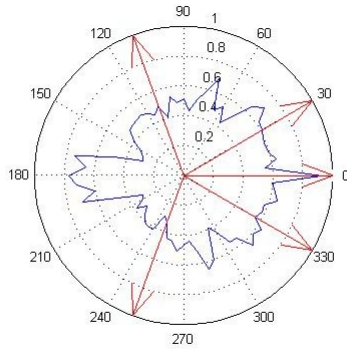


Abb. E4: Maximalwert der INA5-Anordnung mit den Rearmikrofonen um 120° nach hinten gedreht.

Maximalwert der Korrelation der INA5 mit 90° Rearmikrofone

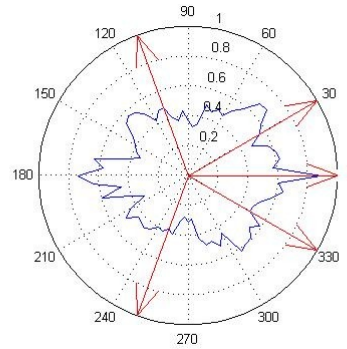


Abb. E5: Maximalwert der INA5-Anordnung mit den Rearmikrofonen um 90° nach hinten gedreht.

Abbildung E3 zeigt ein ähnliches Bild. Im vorderen Bereich stimmt die Korrelation mit dem Referenzzweig überein. Nach hinten wird die Lokalisation schlechter. Ab Abbildung E4 und verstärkt in Abbildung E5 zeigt sich der größer werdende Einfluss des Kanalübersprechens auch auf die vordere Anordnung. Die Lokalisation in der gesamten Horizontalebene leidet darunter. Das lässt sich damit erklären, dass Nierenmikrofone bei einem Schalleinfall von 90° nur -6dB Schalldruckdifferenz zum vorderen Schall aufnehmen. Das dadurch auftretende Kanalübersprechen führt zu eindeutigen Lokalisationsprobleme.

OCT + Surroundmikrofone

Die Anordnung OCT für die vorderen drei Mikrofone und die Erweiterung auf fünf Mikrofone für Surroundaufnahmen, wurde von Theile in [31] präsentiert. Das vordere Triplet ist besonders im Hinblick auf das Kanalübersprechen optimiert und besteht aus einer Niere als Mittenmikrofon und zwei Supernieren als Seitenmikrofone um 90° zur Hauptachse versetzt. Dafür muss eine neue Funktion *filter_super.m* geschrieben werden, in dessen Matrix die Werte aus dem Polardiagramm der Superniere (Abbildung C – unten) eingetragen werden. Nun wurden für die Simulation aus dem Diagramm in Abb. 4.8 zwei mögliche Anordnungen ausgewählt, einmal mit 40cm und einmal mit 60cm Basisbreite. Die hinteren Mikrofone wurden, wie in der Simulation der INA5-Anordnung, zwischen 90° und 180° in 30°-Schritten variiert.

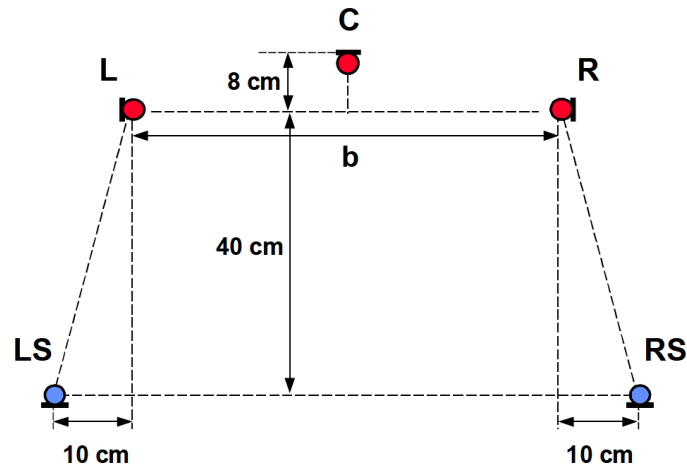


Abb. F: Abmessungen der OCT-Anordnung mit Surroundmikrofonen. Für die Simulation wurde für die Basisbreite einmal 40cm (Abbildungen G) und einmal 60cm (Abbildungen H) verwendet.

Abbildung G1 zeigt zum Vergleich die Korrelation des Referenzzweiges. Die Abbildungen G2 bis G5 zeigen die Korrelation der OCT-Anordnung mit sinkendem Winkel der hinteren Mikrofone von 180° bis 90° . Wie bei der INA5-Anordnung, wirkt sich mit sinkendem Winkel das Übersprechen auf die Lokalisation aus. Je kleiner der Winkel, desto weiter nach hinten wird die Quelle gedrängt. Trotzdem sind die Werte der Korrelation denen des Referenzzweiges ähnlich. Auffallend ist, dass die Unterschiede für die verschiedenen Winkel sehr viel geringer sind als bei der INA5 Simulation. Somit kann bestätigt werden, dass die OCT-Anordnung, trotz steigendem Kanalübersprechen von hinten, stabiler ist. Es soll angemerkt werden, dass die verpolte Lage des hinteren Aufnahmebereichs von Supernieren nicht berücksichtigt wurde. Es ist davon auszugehen, dass diese eine negative Auswirkung auf die Lokalisation hat.

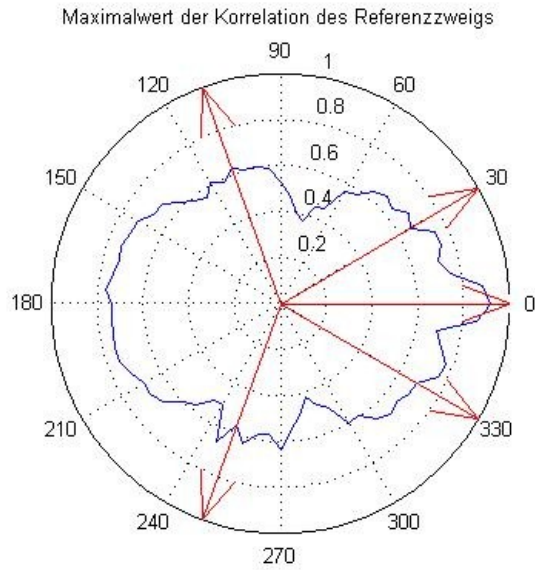


Abb. G1: Maximalwert der Korrelation des Referenzzweiges (blau). Die roten Vektoren zeigen die Positionen der Lautsprecher an.

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 180° Rearmikrofone

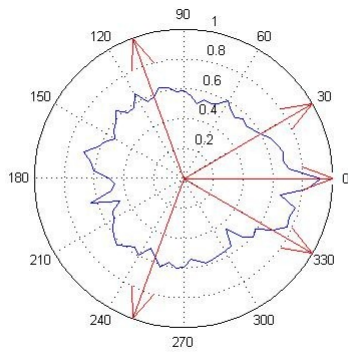


Abb. G2: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 180° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 40\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 150° Rearmikrofone

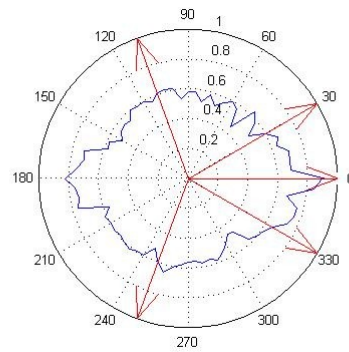


Abb. G3: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 150° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 40\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 120° Rearmikrofone

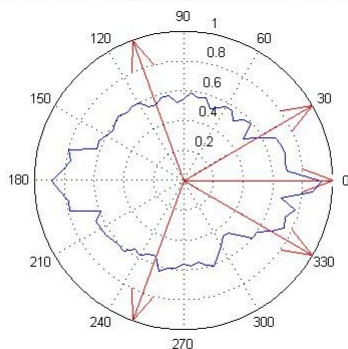


Abb. G4: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 120° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 40\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 90° Rearmikrofone

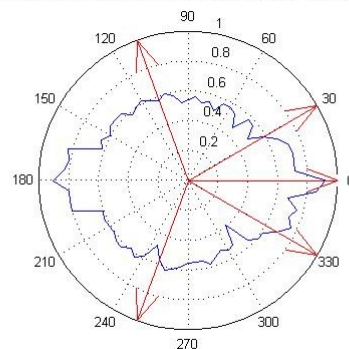


Abb. G5: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 90° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 40\text{cm}$

Die Abbildungen H zeigen die Ergebnisse der Simulation der OCT-Anordnung mit einer Basisbreite von 60cm. Die geringen Unterschiede bei verschiedenen Winkeln bestätigen wiederum, dass diese Anordnung stabiler ist. Im Vergleich zu den Ergebnissen der OCT-Anordnung mit 40cm Basisbreite, ist die Lokalisation etwas schlechter. Dadurch kann gesagt werden, dass der Vorschlag einer Basisbreite von 40cm recht gut funktioniert. Ob ein größerer Abstand der Rearmikrofone untereinander oder zu dem Fronttriolett eine Verbesserung bringt, ist eine Möglichkeit weiterer Forschung.

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 180° Rearmikrofone

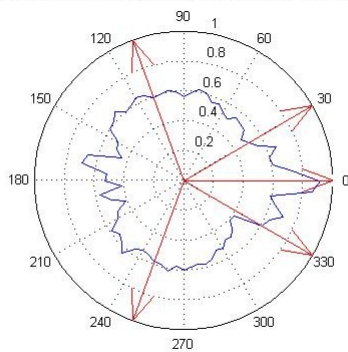


Abb. H1: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 180° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 60\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 150° Rearmikrofone

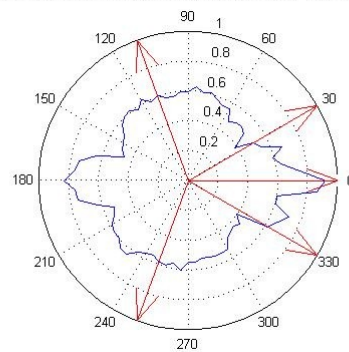


Abb. H2: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 150° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 60\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 120° Rearmikrofone

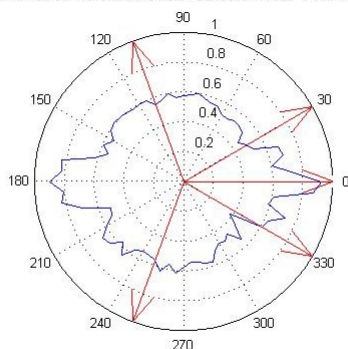


Abb. H3: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 120° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 60\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 90° Rearmikrofone

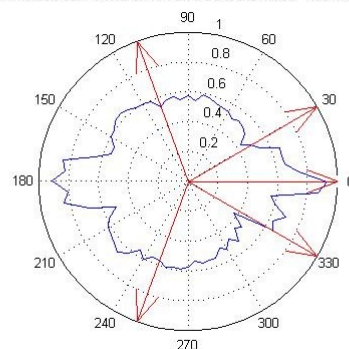


Abb. H4: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 90° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 60\text{cm}$

4 Williams Microphone Arrays im Vergleich

Die nächste Simulation erfolgt auf Basis der Daten für die Arrays aus der Versuchsreihe von Rumsey und Lee [3](siehe auch Kapitel 4.4). Den vorderen Arrays wurden jeweils mittels SRA Kurven die hinteren Mikrofone hinzugefügt, sodass die damit entstandenen Segmente mit „critical linking“ verbunden sind. Abbildung I stellt die vier erhaltenen Arrays mit den entsprechenden Abständen dar. Alle Arrays sind symmetrisch um die Centerachse aufgebaut. Es haben sich folgende Winkel ergeben:

Array 1:

- zwischen C und FL: 100°
- zwischen C und RL: 153°

Array 2:

- zwischen C und FL: 80°
- zwischen C und RL: 146°

Array 3:

- zwischen C und FL: 60°
- zwischen C und RL: 140°

Array 4:

- zwischen C und FL: 40°
- zwischen C und RL: 133°

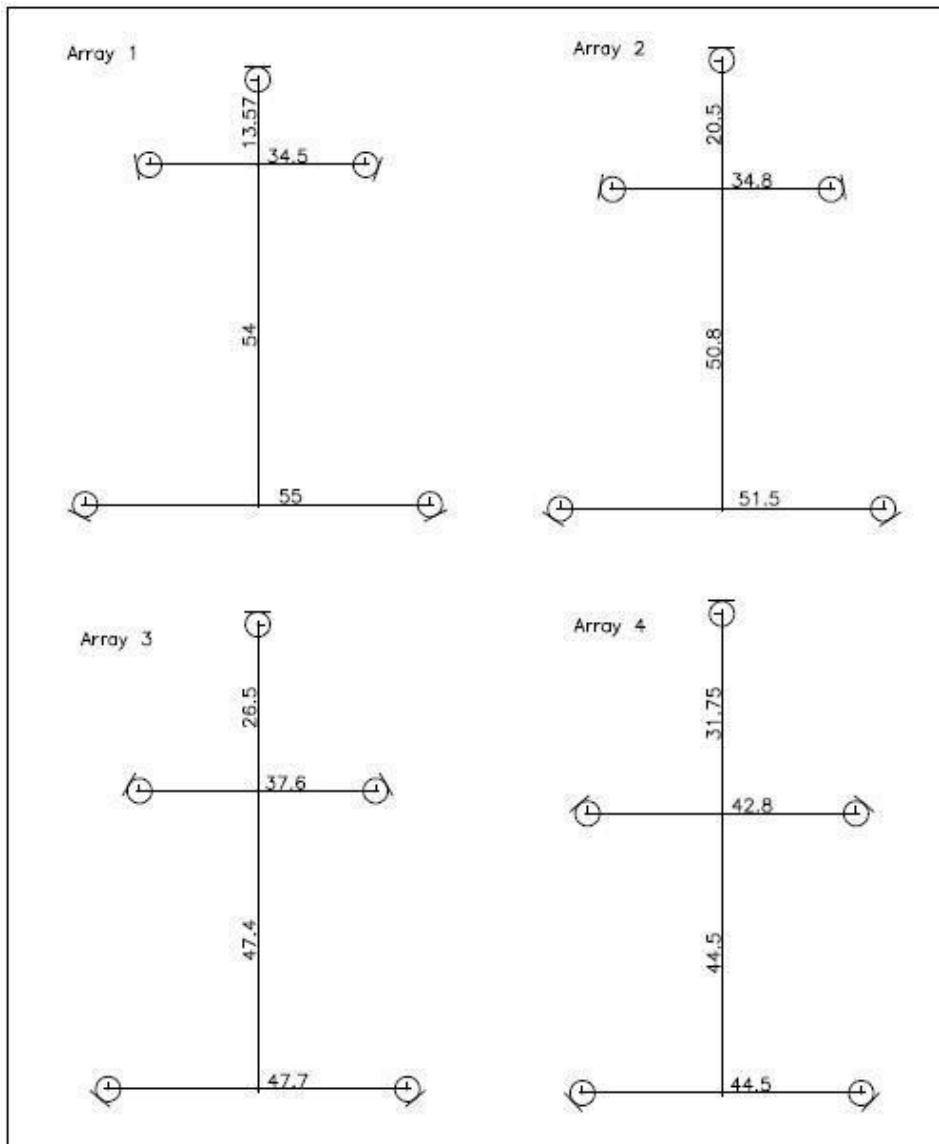


Abb. I: Die vier von Rumsey und Lee untersuchten Arrays mit zusätzlichen Surroundmikrofone. Die Ergebnisse der Simulation sind in Abbildung J dargestellt. Es zeigen sich sehr große Unterschiede zwischen den vier Anordnungen. Das beste Ergebnis erreicht das Array 1 in Abbildung J2, welches der Referenz in Abbildung J1 sehr ähnlich ist. Auch das 2. Array erreicht in allen Winkeln einen Korrelationsgrad von über 0,5. Dagegen ergeben die Arrays 3 und 4 eine sehr schlechte Abbildung. Besonders im hinteren Bereich erreicht die Korrelation sehr tiefe Werte, aber auch im vorderen Bereich sind sie sehr unregelmäßig. Diese Ergebnisse können auf Fehler der WMA-Anordnungen hinweisen, jedoch scheint es mir 54ahe liegender, dass diese Arrays falsch berechnet wurden und die Segmente nicht kritisch „gelinkt“ sind.

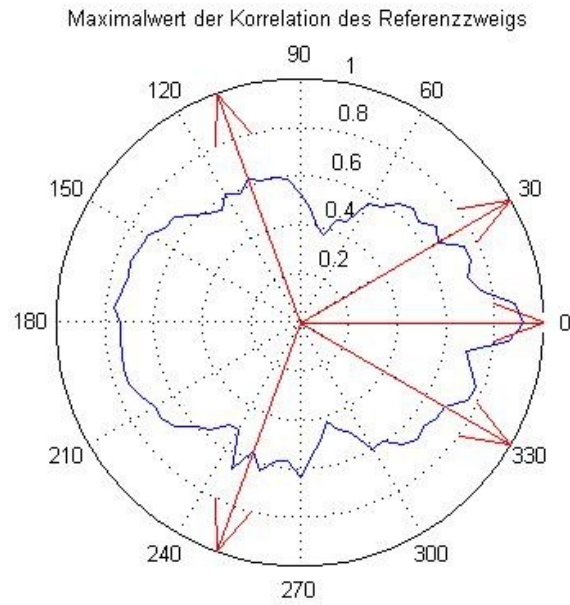


Abb. J1: Maximalwert der Korrelation des Referenzzweigs (blau). Die roten Vektoren zeigen die Positionen der Lautsprecher an.

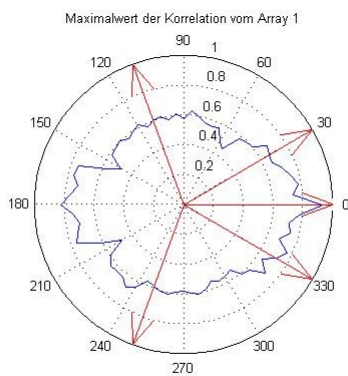


Abb. J2: Maximalwert der Korrelation von Array 1

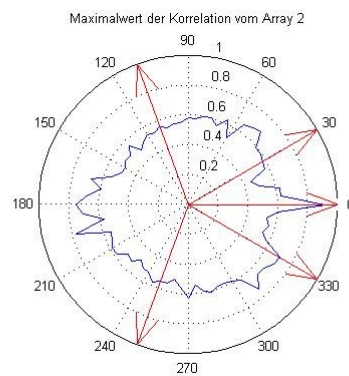


Abb. J3: Maximalwert der Korrelation von Array 2

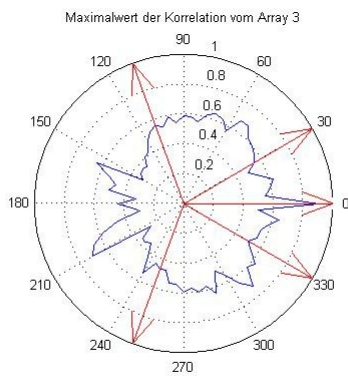


Abb. J4: Maximalwert der Korrelation von Array 3

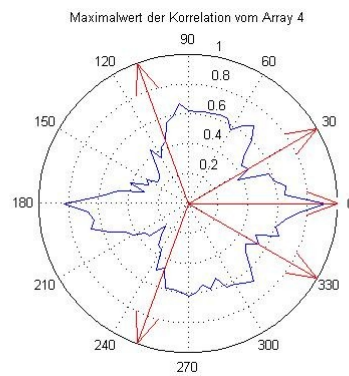


Abb. J5: Maximalwert der Korrelation von Array 4

Vergleich zwischen INA5 (180°) und OCT-Surround (180°)

Die folgenden Ergebnisse in Abbildung K, zeigen den Vergleich, zwischen der INA5 und der OCT-Surround-Anordnung mit einer Basisbreite von 40cm. Bei beiden Anordnungen sind die Rearmikrofone um 180° nach hinten gerichtet. Im vorderen Aufnahmebereich, sind die Werte nicht sehr unterschiedlich, obwohl bereits hier die OCT-Anordnung besser ist. Im hinteren Bereich hingegen, hat die INA5-Anordnung eine sehr schwache und unregelmäßige Korrelation. Es ist davon auszugehen, dass die Lokalisation hier sehr schlecht ist. Es wird wieder bestätigt, dass die OCT-Anordnung besser das Kanalübersprechen unterdrückt.

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 180° Rearmikrofone

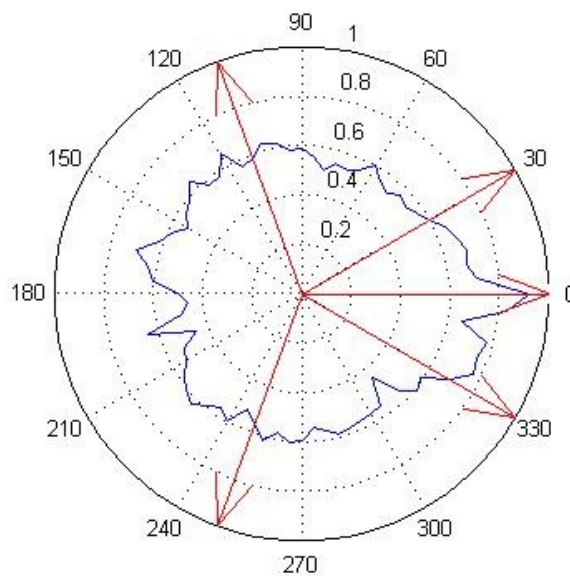


Abb. K1: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 180° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 40\text{cm}$

Maximalwert der Korrelation der INA5 mit 180° Rearmikrofone

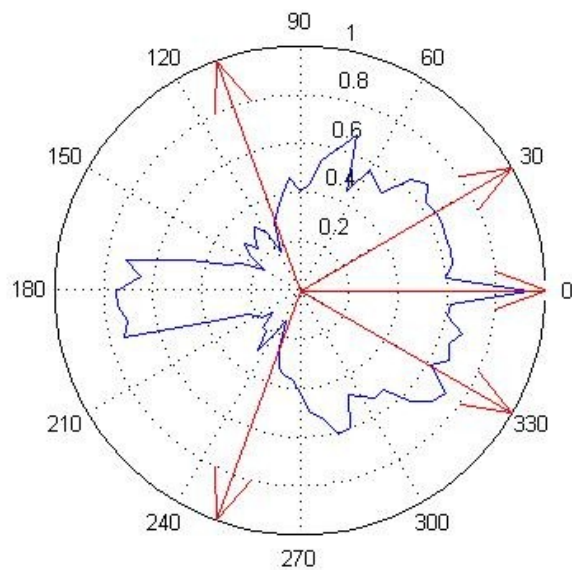


Abb. K2: Maximalwert der INA5-Anordnung mit den Rearmikrofonen um 180° nach hinten gedreht.

Vergleich zwischen INA5 (150°) und Williams Microphone Array 1

Der folgende Vergleich soll veranschaulichen, dass trotz der von Herrmann und Henkels in [29] vorgestellten „idealen“ Nierenanordnung, mit anderen Williams Microphone Arrays bessere Ergebnisse hinsichtlich der Lokalisation erzielt werden können.

Maximalwert der Korrelation der INA5 mit 150° Rearmikrofone

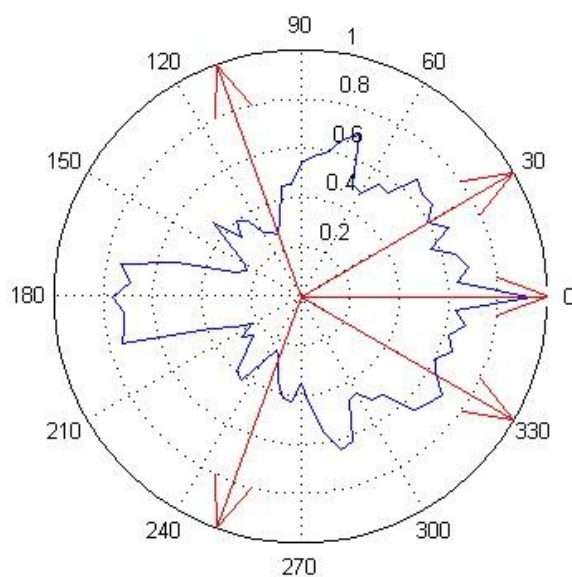


Abb. L1: Maximalwert der INA5-Anordnung mit den Rearmikrofonen um 150° nach hinten gedreht.

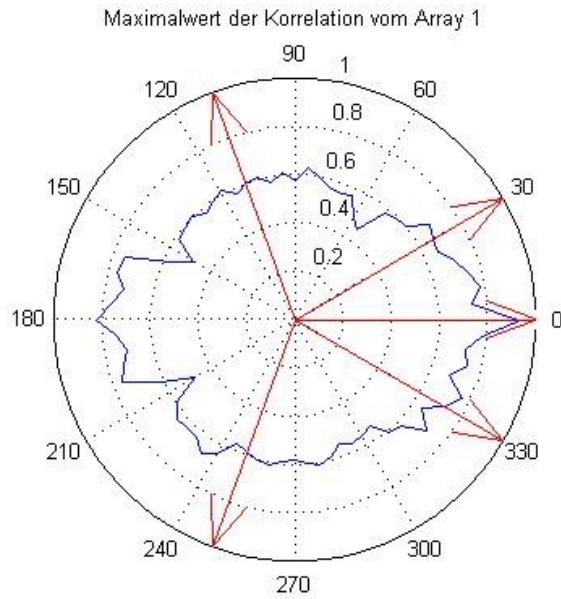


Abb. L2: Maximalwert der Korrelation von Array 1

Vergleich zwischen Williams Microphone Array 1 und OCT-Surround (180°)

Der Vergleich in Abbildung M soll zeigen, dass durch die richtige Anordnung, mit einem Williams Microphone Array (Abbildung M1) bessere Ergebnisse erzielt werden können, als mit einer OCT-Surroundanordnung (Abbildung M2).

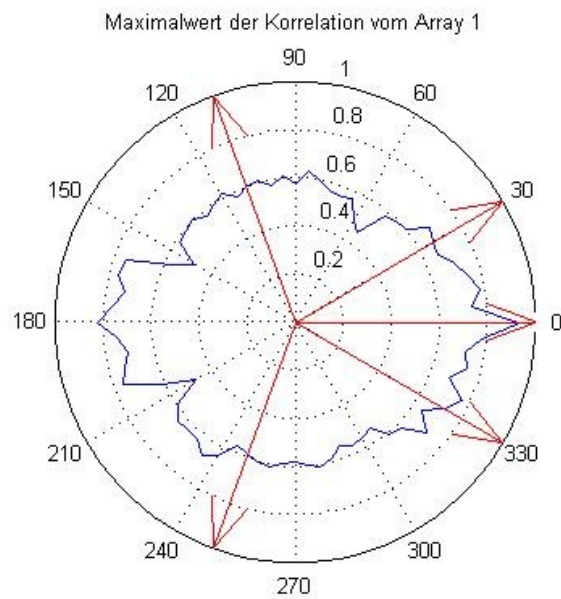


Abb. M1: Maximalwert der Korrelation von Array 1

Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit 180° Rearmikrofone

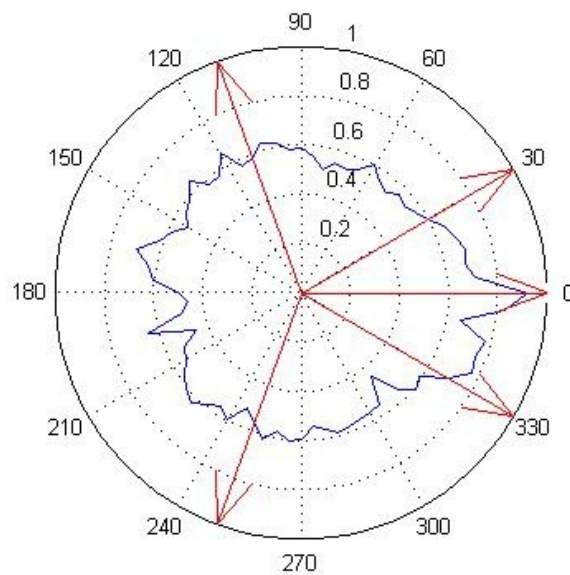


Abb. M2: Maximalwert der Korrelation von OCT-Surround mit den Rearmikrofonen um 180° nach hinten gedreht. Basisbreite $b = 40\text{cm}$

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass die OCT-Surround-Anordnung nicht zwangsläufig die besseren Ergebnisse bringt, sie ist jedoch stabiler gegenüber Kanalübersprechen. Das ist auf die Erhöhung der Pegeldifferenzen zur Lokalisation zurückzuführen. Ändert man den Winkel der hinteren Mikrofone, bleibt der vordere Bereich einigermaßen stabil. WMAs und die darauf basierende INA5-Anordnung sind durch die stärkere Gewichtung der Laufzeitdifferenzen viel anfälliger auf Kanalübersprechen. Wird dieses, durch Drehung der hinteren Mikrofone, verstärkt, bricht irgendwann auch die Lokalisation im vorderen Aufnahmebereich zusammen.

Es sollte darauf hingewiesen werden, dass die Referenzmessung von einer Messung im Produktionsstudio ausgeht mit einem Abstand von 2m zwischen Lautsprecher und Mikrofone. Sind die simulierten Mikrofonanordnungen zu groß, können dadurch Fehler entstehen. Bereits ab einer Größe wie die oben simulierte INA5-Anordnung, ist das Ergebnis zu hinterfragen und es wären weitere Untersuchungen notwendig.

Die im Zusammenhang mit der Simulation getroffenen Aussagen, beziehen sich nur auf die Lokalisationsschärfe der untersuchten Aufnahmeverfahren. In manchen Fällen jedoch, erreicht die Korrelation der Signale sehr niedrige Werte, wodurch eine verstärkte Klangfarbenänderung angenommen werden kann.

6. Ergebnisse und Interpretationen

Es hat sich gezeigt, dass das Kanalübersprechen ein wesentlicher Punkt bei allen Aufnahmeverfahren darstellt, auf den geachtet werden sollte. Es werden nun die in dieser Untersuchung wichtigsten Erkenntnisse aufgelistet.

6.1 Effekte von Crosstalk

- Durch akustisches Übersprechen färben Phantomschallquellen immer den Klang gegenüber einer realen Quelle. Es treten Kammfiltereffekte auf.
- Bei Laufzeitstereofonie treten Phasenunterschiede auf, wodurch ebenfalls der Kammfiltereffekt auftritt.
- Durch das Fehlen einer Pegeldifferenz bei reiner Laufzeitstereofonie, treten hier ebenfalls Lokalisationsprobleme auf.
- Kanalübersprechen verursacht einen Anstieg der Quellenbreite und eine Abnahme der Lokalisationsschärfe.
- Die Art der Quelle wirkt sich auf die Quellenbreite aus, nicht aber auf die Lokalisation.
- Die akustische Beschaffenheit des Aufnahmebereiches wirkt sich auf die Lokalisation, nicht aber auf die Quellenbreite aus.
- Weitere wahrnehmbare Effekte sind laut [3]: Lokalisationsprobleme, Verlust der Fülle, verwischen der Quellenentfernung, Verlust der Härte, der Breite und der Natürlichkeit des Klanges.

6.2 Übersprechen bei Stereoaufnahmen

- Es sollte vermieden werden, Solisten mit reiner Laufzeitstereofonie aufzunehmen. Es treten hier deutliche Klangfärbungen durch Kammfilter auf.
- Durch Kanalübersprechen bei Laufzeitstereofonie, ergibt sich eine Verbreiterung der Quelle bei seitlicher Auslenkung und dem damit einhergehenden Verlust der Lokalisationsschärfe.
- Bei Koinzidenzverfahren spielt das Kanalübersprechen nur eine untergeordnete Rolle.

- Durch ein hohes Maß an Räumlichkeit, findet reine Laufzeitstereofonie trotzdem bei Orchesteraufnahmen oft Verwendung. Eine Versuchsreihe bestätigt, dass die Klangfärbungen zwar hörbar sind, aber nicht als störend empfunden werden.

6.3 Übersprechen bei Surroundaufnahmen

- M. Williams behauptet in [28], dass Kanalübersprechen bei richtigem Design des WMA „komplett eliminiert“ werden kann. Diese Aussage wird jedoch in keiner anderen dem Autor bekannten Literatur von M. Williams weitergehend untersucht oder untermauert.
- Die Ergebnisse von [3], [4] und [30], zeigen jedoch nachvollziehbares Kanalübersprechen auf. Daher dürfte die von Williams gemachte Aussage nicht standhalten.
- Die auf die WMA basierende INA3 Anordnung, weist laut [30] ebenfalls Kanalübersprechen auf.
- Die Mikrofonanordnung OCT weist sehr gute Werte im Hinblick auf das Kanalübersprechen auf.
- Durch richtige Mikrofonwahl und Anordnung der Surroundmikrofone, lässt sich auch hier das Kanalübersprechen gut vermeiden.

6.4 Ergebnisse der Simulation

- Durch das Vergrößern des Übersprechens zwischen vorderem und hinterem Aufnahmebereich, wird die Lokalisation von vorne unstabiler und die Lokalisation von hinten noch weiter zurückgedrängt.
- Die Anordnung OCT-Surround, weist eine bessere Kanalübersprechunterdrückung auf. Die Lokalisation bleibt bei Änderung der hinteren Aufnahmewinkel stabiler.
- Die INA5-Anordnung ist in dieser Hinsicht sehr instabil.
- Es lassen sich durch die richtige Wahl des Arrays mit der WMA sehr gute Ergebnisse erzielen (siehe Simulation von Array 1 auf Seite 54 bzw. 57).
- Die empfohlenen 180° für die Rearmikrofone der OCT-Surroundanordnung bringen nicht zwangsläufig bessere Ergebnisse. 150° haben sich auch als guter Wert erwiesen.

6.5 Möglichkeiten weiterer Forschung

Die Untersuchung zum Kanalübersprechen hat weitere Fragen aufgeworfen, welche weiterer Forschung bedürften. Die ungeklärten Fragen sollen hier kurz zusammengefasst werden:

- Über das Kanalübersprechen und dessen Auswirkungen bei Stereoaufnahmeverfahren, gibt es sehr wenig Literatur auf die man sich stützen kann. Die Thesen in [15] werden nur durch theoretische Überlegungen gemacht, müssten aber noch mit Versuche untermauert werden.
- Ob und in wie weit Kanalübersprechen bei Koinzidentaufnahmeverfahren auftritt, wäre ein weiterer Bereich möglicher Forschung. Das Auftreten von Kanalübersprechen bei reiner Intensitätsstereofonie müsste näher untersucht werden.
- Die Simulation hat gezeigt, dass durch richtigem Design eines WMAs sehr wohl niederes Kanalübersprechen erzielt werden kann. Von welchen Faktoren die Unterschiede zwischen den WMAs abhängen, könnte ebenfalls untersucht werden, da von Williams selbst keine Untersuchung vorliegt.
- In der Simulation wurde ebenfalls gezeigt, dass bei OCT-Surround, der ideale Winkel der Surroundmikrofone für die Lokalisation nicht bei 180° liegt, sondern im Bereich um die 150° . Weitere Untersuchungen wären nötig.
- Die Simulation könnte im Hinblick auf die Größe der zu untersuchenden Anordnungen verbessert werden. Auch die Simulation des Schallfeldes durch die Funktion VBAP ist nur suboptimal und könnte sollte verbessert werden.
- Die gegensätzlichen Behauptungen von D. Griesinger und F. Rumsey (siehe Seite 37) über die Auswirkung von Raumreflexionen auf die Quellenverbreiterung bedarf einer genaueren Untersuchung.

Referenzen

- [1] Williams, M. (1991): „Microphone Arrays For Natural Multiphony“, Audio Engineering Society, 91st Convention, Preprint 3157.
- [2] Williams, M. (1999): „Microphone Array Analysis for Multichannel Sound Recording“, Audio Engineering Society, 107th Convention, Preprint 4997.
- [3] Lee, H.K. und Rumsey F. (2005): „Investigation into the Effect of Interchannel Crosstalk in Multichannel Microphone Technique“, Audio Engineering Society, 118th Convention, Paper 6374.
- [4] Lee, H.K., Mason R. und Rumsey F. (2007): „Perceptually Modelled Effects of Interchannel Crosstalk in Multichannel Microphone Technique“, Audio Engineering Society, 123th Convention, Paper 7200.
- [5] Theile, G. (2000): „Multichannel Natural Recording based on Psychoacoustic Principles“, Audio Engineering Society, 108th Convention, Preprint 5156.
- [6] Martin Rohmoser und Micheal Kerscher (2008): „Klangverfärbung und Lokalisationsunschärfe bei Multichannel microphone arrays (MMA) nach Michael Williams“, Institut für elektronische Musik und Akustik, Universität für Musik und darstellende Kunst Graz, Aufnahmetechnik 3 SE.
- [7] Wikipedia – <http://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cbersprechen>, letzte Aktualisierung 22. Juni. 2010, 10:45.
- [8] Rumsey F. (2001): Spatial Audio (Oxford:Focal Press).
- [9] Dickreiter M. (1987): „Handbuch der Tonstudioteknik“, 5.Auflage, Band 1.
- [10] Blauert, J. : Spatial Hearing – The Psychophysics of Human Sound Localisation. The MIT Press, Cambridge, Mass, 1996, ISBN 0-262 02413-6 .
- [11] <http://www.davidgriesinger.com/>, letzte Aktualisierung am 22 Juni 2010, 10:45.
- [12] Theile, G. und Wittek, H. (2002): „The recording angle – based on localisation curves“, Audio Engineering Society, 112th Convention, Paper 5568.
- [13] Wittek, H., Theile, G., 2000: “Investigations into directional imaging using L-C-R stereo microphones”, 21.Tonmeistertagung, Proceedings ISBN 3-598-20362-4, p.432-454.
- [14] Theile, G., 1984: “Main microphone and spot microphones – new aspects on a reliably recording method (German). 13. Tonmeistertagung“, Proceedings pp. 170-184.
- [15] <http://www.sengpielaudio.com/>, letzte Aktualisierung am 22. Juni 2010, 10:45.
- [16] Beranek L. L. (2008): „Concert Hall Acoustics“
- [17] Sethares, William A. (2005): „Tuning, Timbre, Spectrum, Scale“, zweite Edition, Springer Verlag (ISBN – 1-85233-797-4)
- [18] Höldrich Robert (2007): Skriptum zur Vorlesung „Musikalische Akustik 1+2“, S. 26, Institut für elektronische Musik und Akustik, Universität für Musik und darstellende Kunst Graz.
- [19] <http://www.musikschule2000.de/bilder/facharbeit/Image14.gif>, letzte Aktualisierung am 22.Juni 2010, 10:45
- [20] Shirley, B., Kendrick, P. und Churchill, C. (2007): „The Effect of Stereo Crosstalk on Intelligibility: Comparison of a Phantom Stereo Image and a Central Loudspeaker Source“, J. Audio Eng. Soc., Vol. 55, No. 10.
- [21] Holman, T. (1996): „The number of audio channels“, Audio Engineering Society, preprint 4292.
- [22] D. N. Kalikow, K. N. Stevens, and L. L. Elliot, “Development of a Test of Speech Intelligibility in Noise Using Sentence Materials with Controlled Word Predictability”, J. Acoust. Soc. Am., vol. 61, pp. 1337–1351 (1977).
- [23] Vickers, E. (2009): „Fixing the Phantom Center: Diffusing Acoustical Crosstalk“, Audio Engineering Society, 127th Convention, Paper 7916
- [24] ITU-R BS. 775-I: Multichannel Stereophonic Sound System With and Without Accompanying Picture (Geneva, 1992- 1994)
- [25] Williams M., Le Du, G.(2000): „Multichannel Microphone Array Design“, 108th AES Convention in Paris, Preprint 5157.
- [26] Williams M., Le Du G.(2001): „The Quick Reference Guide to Multichannel Microphone Arrays, Part 1: using Cardioid Microphones“, 110th AES Convention in Amsterdam, Convention Paper 5336.
- [27] Sotzick C. (2008): “William Microphone Array” , Institut für elektronische Musik und Akustik, Universität für Musik und darstellende Kunst Graz, Bakkalaureatsarbeit

- [28] Williams M. (2005): „The Whys and the Wherefores of Microfone Array Crosstalk in Multichannel Microphone Array Design”, Audio Engineering Society, 118th Convention, Paper 6373.
- [29] Herrmann, U., Henkels V. (1998): „Vergleich von 5 verschiedenen Hauptmikrofonverfahren“ in Bericht zur 20. Tonmeistertagung S. 508-517
- [30] Wittek, H. (2000): „Untersuchung zur Richtungsabbildung von L-C-R Hauptmikrofonen“, Institut für Rundfunktechnik, Fachhochschule Düsseldorf, Diplomarbeit.
- [31] Theile, G. (2001): „Natural 5.1 Music Recording Based on Psychoacoustic Principles”, Audio Engineering Society, 19th International Conference.
- [32] Slotte, B. (2005): “Sharpening the image in 5.1 surround recording”, Audio Engineering Society, 118th Convention, Paper 6509.
- [33] Wuttke, J. (2005): “Surround recording of music: problems and solutions”, Audio Engineering Society, 119th Convention, Paper 6556.
- [34] Rode M. (2005): “Evaluation von Kammfiltereffekten bei Laufzeitstereofonie mit mehr als zwei Mikrofonen“, Magisterarbeit, Technische Universität Berlin.
- [35] Hansen, V. and Munch, G. (1991): ‘Making recordings for simulation tests in the Archimedes project’, *Journal of the Audio Engineering Society*, 39, pp.768-774.
- [36] Griesinger, D. (1997): “The psychoacoustics of apparent source width, spaciousness & envelopment in performance spaces”, Lexicon Professional.
- [37] Griesinger, D. (1998): “General overview of spatial impression, envelopment, localisation and externalisation”, Lexicon Professional on the 15th AES international conference.