Bachelorarbeit

im Studiengang Audiovisuelle Medien

Klangliche Untersuchung verschiedener Panning-Möglichkeiten am Studer Vista 7 Pult

Grundlagen und Konzepte zur Klanggestaltung bei zwei-kanaliger Stereofonie

vorgelegt von:

Jaroslawa Razmowa

Matrikel Nr. 19169

an der Hochschule der Medien Stuttgart

am 20.05.2011

Prüfer:

Prof. Oliver Curdt

Prof. Dr. Andreas Koch

I. Abstract

Ständig werden neue Formate und Verfahren im Audiobereich entwickelt, die das Hören zu einem noch eindrucksvolleren besonderen Erlebnis machen. Dabei entsteht die Frage ob die Eigenschaften bestehender Formate komplett ausgenutzt wurden. Ist das gestalterische Potential zum Beispiel bei zwei-kanaliger Stereofonie erschöpft oder reicht lediglich ein neuer Ansatz und etwas Experimentierfreudigkeit, um neue spannende Ergebnisse zu erreichen?

In dieser Arbeit werden die verschiedenen Panning-Möglichkeiten (XY, AB, ORTF, Sphere) bei zwei-kanaliger Stereofonie klanglich untersucht und verglichen, um festzustellen, ob ein neuer Arbeitsansatz bei der Stereoproduktion entwickelt werden kann, der in der modernen Musikindustrie konkurrenzfähige Ergebnisse liefert. Um einen ausführlichen und nachvollziehbaren Vergleich darzustellen, werden zunächst die raum- und psychoakustischen Gegebenheiten, die bei zwei-kanaliger Stereofonie entscheidend sind, erläutert. Anschließend werden die verschiedenen Stereoverfahren skizziert, da deren Eigenschaften in den Panning-Algorithmen des Studer Vista 7 Pultes, an dem der praktische Teil dieser Arbeit durchgeführt wird, implementiert sind. Im letzten Schritt werden die technischen und ästhetischen Eigenschaften der untersuchten Panning-Möglichkeiten geprüft. In einer Reihe von Hörversuchen werden Aspekte wie Lokalisationsschärfe, Räumlichkeit und Klang in vier verschiedenen Audiobeispielen untersucht und verglichen. Die Ergebnisse der Hörversuche sollen Aufschluss darüber geben, welche Aspekte einer Musikmischung für den Hörer eine wichtige Rolle spielen und wie die zwei-kanalige Stereofonie in der Praxis optimiert werden kann. Denn letztendlich ist 2.0 Stereo als Grundlage aller mehrkanaligen Formate nach wie vor das Medium, das vom Großteil der Konsumenten bevorzugt wird.

II. Erklärung

Hiermit versichere ich, meine Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel zur Bearbeitung herangezogen zu haben.

Ort, Datum

Jaroslawa Razmowa

III. Danksagung

Diese Arbeit konnte nur mit der Unterstützung von mehreren Seiten realisiert werden, weshalb ich mich hier herzlich bedanken möchte.

- Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Oliver Curdt und Herrn Prof. Dr. Andreas Koch für den Vorschlag zu dieser Arbeit und die intensive Betreuung.

- Des weiteren danke ich Dipl. Ing. Jörg Bauer für die Bereitstellung der Studioräume trotz zeitlicher Engpässe.

- Ich danke allen Teilnehmern meines Hörversuchs – ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

- Besonderer Dank gilt hier der Studioproduktion Ton Wintersemester 2010 für das geduldige Testen der Vorversuche, die unersetzliche Hilfe und die außerordentlich gute Gesellschaft im Tonstudio.

- Herzlicher Dank gilt meinen Eltern, die mich immer bei allem unterstützen, was ich mir vornehme und jederzeit für mich da sind, und meinem Freund Merten Lindorf, der mir stets die nötige Kraft und die Motivation gab für die Realisierung dieser Arbeit.

I. Abstract....2
II. Erklärung....3
III. Danksagungen....4
IV. Inhaltsverzeichnis....5
V. Abkürzungen/ Glossar....7

1. Einleitung....8
2. Raumakustische Grundlagen....10
2.1 Akustik und Schwingungen....10
2.2 Schall in Räumen....11
2.3 Reflexionen und Nachhall....12
3. Psychoakustische Grundlagen....14
3.1 Signalverarbeitung vom Ohr bis zum Gehirn....14
3.2 Wahrnehmungstheorie....15
3.2.1 Wahrnehmung von Frequenzen....15
3.2.2 Wahrnehmung von Lautstärke....16
3.2.3 Phasenempfinden....17
3.3 Lokalisation....17
3.3.1 Richtungshören....17
3.3.2 Entfernungshören....20
4. Grundlagen der Stereofonie....22
4. 1 Raum- und kopfbezogene Stereofonie....22
4. 2 Reelle Schallquellen, Phantomschallquellen und virtuelle Schallquellen....23

5. Zusammenhang zwischen Stereofonie und der Panorama-Verteilung.....26

6. Vorstellung der unterschiedlichen Stereofonie-Verfahren (AB, XY, ORFT, KFM).....27

6.1 Intensitäts-Stereofonie/Pegeldifferenzen-Stereofonie.....27

6.2 Laufzeit-Stereofonie.....31

6.3 Äquivalenz-Stereofonie.....32

6.4 Trennkörper-Stereofonie.....34

7. Panning-Möglichkeiten am Studer Vista 7 Pult.....37

8. Panning in der Praxis.....39

9. Der Hörversuch.....41

9.1 Der Grundgedanke.....41

9.2 Die Audiobeispiele.....41

9.3 Die Testpersonen.....48

9.4 Der Fragebogen.....51

9.5 Die Vorversuche.....53

9.6 Die Erwartungen.....54

9.7 Durchführung des Hörversuchs.....55

9.8 Auswertung und grafische Aufbereitung.....57

9.9 Interpretation der Ergebnisse.....65

10. Schlusswort.....68

11. Quellenverzeichnis.....70

12. Abbildungsverzeichnis.....72

13. Tabellenverzeichnis.....75

14. Anhang.....76

V. Abkürzungen/ Glossar:

HdM	Hochschule der Medien
dB	Dezibel
Hz	Hertz (kHz: Kilohertz)
m	Meter (cm : Zentimeter)
s	Sekunde (ms: Millisekunde)
XY	Verfahren der Intensitäts-Stereofonie
AB	Verfahren der Laufzeit-Stereofonie
MS	Mitte-Seite-Stereofonie
KFM	Kugelflächenmikrofon
EQ	Equalizer bzw. Filter
HRTF	(Head-Related Transfer Function) Außenohrübertragungsfunktion
ORTF	Office de Radiodiffusion-Télévision Franϛaise
VSP	Virtual Surround Panning
ITU	International Telecommunication Union
PanPot	Panorama-Potentiometer
Sphere	Algorithmus am Studer Vista 7 Pult, welcher KFM simuliert

1. Einleitung

Größer, schneller, besser – so könnte man den ewigen Wettlauf um Erfolg charakterisieren. Die Medienbranche gehört zu den Bereichen, die besonders stark von dieser Tendenz zur ständigen Verbesserung und Weiterentwicklung geprägt sind. Der Ton als ein unentbehrlicher Bestandteil unseres Lebens und ein entscheidendes Medienprodukt ist natürlich auch sehr davon betroffen.

Von den ersten Mono-Tonträgern, über Stereo- und Quadrofonie, bis zu anspruchsvollen Surroundsound-Konstellationen hat eine immense Entwicklung im Audiobereich stattgefunden. Im Filmtonbereich werden bereits die ersten 3D-Tonmischungen entwickelt, die dem dreidimensionalen Bild gerecht werden sollen. [1] Die ständige Entwicklung neuer Formate und Verfahren bringt aber gewisse Gefahren mit sich. Wird durch das Bestreben zur Verbesserung nicht das Ziel der Musikproduktion verfälscht? Musik wird letztendlich für jeden Menschen produziert, also auch für den durchschnittlichen Konsumenten, dem die technischen und ästhetischen Neuerungen unwichtig sind und der seine Lieblingsmusik über die alte Stereo-Anlage hört. Aus Kosten- und Platzgründen, aber auch einfach aus Gewohnheit ist der durchschnittliche Hörer noch weitgehend nicht bereit, in seinem Wohnzimmer mehrere Lautsprecher und Tongeräte einzubauen, die ihm erst das Hören der neuen Formate ermöglichen. Es entsteht die Frage, ob wirklich ein verbessertes Audioerlebnis angestrebt wird oder einfach ein Ausbruch aus der Routine in der Musikproduktion benötigt wird. Mit der Entwicklung und Vermarktung von 5.1 oder 9.1 Systemen wird auf einen realistischeren Klang gezielt, dadurch dass man die Signale der Schallquellen frei im Raum positionieren kann. Der Tonschaffende hat immer mehr Möglichkeiten und Spielraum für seine Musikmischung. Zu einer echten Herausforderung wird dann aber eine gute zwei-kanalige Stereomischung, in der man viel weniger Platz zur Verfügung hat. Können durch Experimentieren und gezieltes Einsetzen der verschiedenen Panning-Möglichkeiten Mischungen hergestellt werden, die den Anforderungen der modernen Musikindustrie entsprechen oder ist das Potential des klassischen Stereo schon erschöpft?

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über die verschiedenen Panning-Möglichkeiten

1 VDT Magazin, Heft 2/2011

bei zwei-kanaliger Stereofonie zu verschaffen, deren Bedeutung und Eigenschaften zu schildern und anschließend neue Ideen für die Umsetzung und kreative Klanggestaltung zu entwickeln.
Hierfür ist diese Arbeit in einen theoretischen und einen praktischen Teil gegliedert. Im theoretischen Teil werden Aspekte aus der Raum- und Psychoakustik, die für die Wahrnehmung von Musik entscheidend sind, erläutert. Weiterhin werden die Grundlagen der Stereofonie skizziert und die wichtigsten Stereofonie-Verfahren mit ihren technischen Gegebenheiten sowie Vor- und Nachteilen vorgestellt.
Im praktischen Teil werden die theoretischen Erkenntnisse für die Entwicklung eines Hörversuchs angewandt. Von gezielt ausgewählten Testpersonen werden die verschiedenen Panning-Möglichkeiten klanglich direkt verglichen und beurteilt. Die Ergebnisse des Hörversuchs sollen Aufschluss über die Wirkung und somit über den Einsatz bestimmter Panning-Verfahren geben. Der komplette Hörversuch wird nach seiner Fertigstellung auf CD-R überspielt und lässt sich jederzeit nachvollziehen.
In einem abschließenden Fazit werden die wichtigsten Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit noch einmal zusammengefasst.

2. Raumakustische Grundlagen

Die Auseinandersetzung mit den verschiedenen Panning-Möglichkeiten und deren klanglicher Auswirkung ist ein wichtiger Schritt im Produktionsprozess eines Musikstückes. Will man die komplexen Zusammenhänge zwischen einer bestimmten physikalischen Schallsituation und der entsprechenden Wahrnehmung vollständig erfassen, sollte man zunächst mit den Eigenschaften eines einfachen Schallereignisses vertraut sein. Es liegt also nahe, zunächst die wichtigsten Begriffe der Akustik und der Elektroakustik zu erläutern, was in diesem Kapitel geschehen soll.

2.1 Akustik und Schwingungen

Die Akustik beschäftigt sich grundsätzlich mit dem Schall und dessen Ausbreitung. Schall breitet sich in einem Medium in Form von Schallwellen aus. Jede Schallwelle ist ein komplexer Schwingungsverlauf, der durch den Zusammenhang der drei Größen Frequenz, Amplitude und Phase beschrieben werden kann. Nun existieren mehr oder weniger komplizierte Schwingungsverläufe und das genaue Aussehen einer Schwingung ist im Wesentlichen dafür verantwortlich, wie das Gehör ein Schallereignis einstuft.

Der Bereich in einem Medium, der durch die Schallwellen erfasst wird, wird Schallfeld genannt. Man unterscheidet zwischen „freiem“ und „diffusem“ Schallfeld. In einem „freien Schallfeld“ kann sich die Welle ungehindert ausbreiten. Ein solches Schallfeld existiert in der Praxis nur in speziell konstruierten Räumen und hat für den Normalfall kaum Bedeutung.

In der Regel wird die Ausbreitung von Schallwellen durch Objekte (Wände, Gegenstände) behindert. Im Idealfall sind die Schallwellen in einem „diffusen Schallfeld“ gleichmäßig verteilt. In der Praxis weichen die Schallfelder jedoch mehr oder weniger stark von diesem Ideal ab. Es treten dementsprechend an verschiedenen Punkten in einem Raum bestimmte Frequenzen hervor, andere werden wiederum gedämpft.

2.2 Schall in Räumen

Das Verhalten vom Schall in Räumen wird grundsätzlich durch vier Faktoren beeinflusst: Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption.

Bei der Reflexion wird die Ausbreitungsrichtung einer Schallwelle geändert. Im einfachsten Fall werden Schallwellen an ebenen Flächen reflektiert, wobei der Einfallswinkel gleich dem Ausfallwinkel ist. Die reflektierende Fläche muss allerdings groß genug gegenüber der Wellenlänge sein.

Ein interessantes Phänomen, welches die Aufnahme und Wiedergabe von Musik in erheblichem Maße beeinträchtigen kann, ist die Bildung von stehenden Wellen. Diese entstehen zwischen zwei parallelen Flächen, beispielsweise Fußboden und Decke eines Raumes, und bewirken starke Änderungen des Signals. Beträgt der Abstand zwischen den reflektierenden Flächen ein ganzzahliges Vielfaches einer halben Wellenlänge, wird die Schallwelle von ihrer eigenen Reflexion überlagert und dadurch kommen Verstärkungen bzw. Auslöschungen der Schallwelle zustande. Diese Interferenzen sind von der Phasendifferenz der zwei Signale und von der Frequenz abhängig. Betrachtet man den gesamten Frequenzbereich, so stellt man fest, dass immer abwechselnd ein Einbruch und eine Überhöhung auftreten. Diese Auswirkung im Frequenzbereich wird Kammfiltereffekt genannt. Kammfiltereffekte treten bei mehreren Raumreflexionen auf, aber auch wenn das gleiche Signal von zwei Schallquellen abgestrahlt wird und diese nicht gleich weit vom Abhörpunkt entfernt sind. Diese Art von Kammfiltereffekten kommt besonders oft bei der Stereomikrofonie zustande. Die klanglichen Auswirkungen von Kammfiltern können je nach Stärke des Kammfilters deutlich hörbare Frequenzgangfehler bewirken, aber auch Veränderung der Lokalisation. Es kann zu einer unvorhergesehenen Positionsverschiebung der Schallquelle kommen. Eine Links-Rechts-Verschiebung ist hierbei jedoch eher unwahrscheinlich. Vielmehr kann die Schallquelle über den Boxen, neben den Boxen oder auch hinter dem Abhörpunkt erscheinen. Deswegen ist bei der Untersuchung der verschiedenen Panoramamöglichkeiten das Verhältnis der verschiedenen Signale besonders zu beachten.

Bei der Beugung werden Hindernisse durch die Schallwellen umgegangen. Die effektive Fläche des Hindernisses muss allerdings kleiner als die Wellenlänge einer Schallwelle sein. Bei der

Brechung geht die Schallwelle in ein anderes Medium über, wodurch eine unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit auftritt. In der Praxis ist die Schallbrechung z.B. bei Open-Air Konzerten relevant.

Bei der Absorption werden die Schwingungen der Luftmoleküle einer Schallwelle gedämpft, wodurch die ganze Welle energetisch vernichtet (absorbiert) wird. Die Absorption wird bei Veränderung der Akustik von Räumen eingesetzt, zum Beispiel zur akustischen Gestaltung von Studio- und Regieräumen.

2.3 Reflexionen und Nachhall

Jeder Raum hat ein ganz bestimmtes Reflexionsmuster, anhand dessen ein charakteristisches diffuses Schallfeld aufgebaut wird. Der Klang eines Schallereignisses wird maßgeblich von dem Klang des umgebenden Raumes beeinflusst, also von dem Zusammenhang zwischen dem Direktsignal, den frühen Reflexionen und dem Nachhall. Zur Klanggestaltung eines Musikstückes gehört also auch ein präzise erarbeitetes Wechselspiel dieser drei Größen.

Zuerst tritt immer das Direktsignal der Schallquelle – der Direktschall, auf. Dieser Schall soll einen ausreichend großen Anteil haben, damit die Richtung aus der eine Schallwelle das Gehör erreicht eindeutig festgestellt werden kann. Damit das Direktsignal ungestört aus der richtigen Richtung lokalisiert werden kann, sollte nach dem Direktsignal eine Reflexionspause, die *Initial Time Delay Gap* genannt wird, sein. Diese Pause muss so lang sein, dass die ersten Reflexionen für alle Signalarten im Haas-Bereich liegen. [2] Reflexionen, die zu früh kommen, verschieben und verschmieren die Lokalisation von Schallquellen. Wird also in einer Musikmischung künstlicher Hall benutzt, muss auf die Ortungsschärfe der Schallquellen besonders geachtet werden.

Für die Lokalisation von Schallquellen sind auch die *frühen Reflexionen* entscheidend. Diese treffen nach dem Direktschall am Hörort ein. Das sind einzelne Reflexionen, deren Pegel und Verzögerung gegenüber dem Direktschall kennzeichnend für die akustische Umgebung sind. Sie geben dem Hörer Aufschluss über die Größe des Raums und die Position der Schallquelle im Raum. Die ersten Reflexionen sind zusammen mit dem Direktschall für die empfundene

2 Andreas Friesecke, Die Audio-Enzyklopädie, „Verzögerte Schallereignisse aus verschiedenen Richtungen“, S. 138

Lautstärke einer Schallquelle verantwortlich.[3]

Nach einer gewissen Zeit sind keine einzelnen Reflexionen mehr wahrnehmbar und sie verschmelzen zu einem sogenannten Nachhall. Der Raum soll in dieser Phase möglichst diffus reagieren, damit die Lokalisation nicht verschoben wird. Die Nachhallzeit, also die Dauer des Ausklingvorgangs, ist abhängig von der Frequenz der Schallwelle. [4]

Das räumliche Verhalten des Schalls hat eine starke Auswirkung auf den Gesamtklang einer mehrkanaligen Musikmischung und muss vor allem bei Kriterien wie Lokalisationsschärfe und der korrekten Abbildung des Frequenzspektrums berücksichtigt werden. Die Wechselwirkung zwischen der Räumlichkeit und der Ortungsschärfe wird im praktischen Teil dieser Arbeit in einem Hörversuch untersucht und die daraus resultierenden Ergebnisse und Tendenzen werden anschließend in Kapitel 9.8 vorgestellt.

3 Siehe Kapitel 3.2.2 Wahrnehmung von Lautstärke

4 Hubert Henle, Das Tonstudio Handbuch, „Zeitlicher Aufbau eines Schallfeldes im Raum“, S.43

3. Psychoakustik

Die klangliche Qualität eines akustischen Produktes wird nach vielen verschiedenen Kriterien bewertet, die aber nicht nur von den technischen Gegebenheiten eines Schallereignisses abhängen. Vielmehr wird die Beurteilung durch den komplexen Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften und dem subjektivem Empfinden beeinflusst. Die *Psychoakustik* beschreibt das Verhältnis zwischen den auf physikalischer Ebene aufgenommenen Reizen und den daraus resultierenden Wahrnehmungen und Empfindungen. Im folgenden Kapitel werden daher die wichtigsten Phänomene der Psychoakustik sowie die Wahrnehmungstheorie und die Besonderheiten des menschliches Gehörs vorgestellt, um anschließend die Komplexität der verschiedenen Schallereignisse beurteilen zu können.

3.1 Signalverarbeitung vom Ohr bis zum Gehirn

Das Gehör ist das wichtigste „Instrument“ des Toningenieurs, wenn es um die Beurteilung von Signalen und Klängen geht. Das Ohr ist ein sehr komplexes Gebilde, welches aber bei jedem gesunden Menschen prinzipiell gleich aufgebaut ist. Es reagiert auf die Druckschwankungen des Schallfeldes und wandelt diese in Nervenreize um. Die Weiterverarbeitung der Nervenreize im Gehirn ist notwendig um ein Schallereignis bestimmen zu können. Das Signal durchläuft verschiedene Verarbeitungsstufen, die für die endgültige Empfindung eine wichtige Rolle spielen. Diese Empfindungen sind für jeden Menschen individuell sehr unterschiedlich, was sich später auch in den Hörversuchen zeigen wird.

Vom Außenohr wird der Frequenzgang eines Signals in Abhängigkeit der Richtung, aus der das Signal eintrifft, verändert. Die Frequenzanalyse des Signals findet anschließend im Innenohr statt. Alle Frequenzen, die im Innenohr eintreffen, werden mit Hilfe von Nervenimpulsen an das Gehirn weitergeleitet. Im Gehirn erfolgt zunächst eine Auswertung von Intensitäts- und Laufzeitunterschieden von Nervenimpulsen, die von beiden Ohren abgegeben werden. Damit eine Erkennung erfolgen kann, muss als nächstes die Hüllkurve der Signale ausgewertet werden. Dies ist für die Grundtonerkennung von komplexen Schwingungen sowie für den Amplitudenverlauf von Signalen wichtig.

Die Signale von beiden Ohren werden zusammengemischt und anschließend erfolgt eine Art Mustererkennung, die es ermöglicht, komplexe Schwingungen hinsichtlich ihrer Obertonstruktur zu erkennen. Im letzten Schritt wird der erkannte Klang mit der zugehörigen Lautstärke und Richtung in Zusammenhang mit den anderen Schallereignissen gebracht. Dabei wird auch der zeitliche Ablauf der Hörereignisse ausgewertet. Eine weitere entscheidende Rolle bei der Auswertung eines Schallereignisses spielen auch die im Gehirn abgespeicherten Hörerfahrungen. Der Zusammenhang zwischen Hörerfahrung und Bewertung eines Schallereignisses wird im Hörversuch nochmal verdeutlicht.

3.2 Wahrnehmungstheorie

Ein Schallereignis, dessen Richtung und Entfernung durch Richtungs- und Entfernungshören bestimmt werden, wird im Kontext der Psychoakustik *Hörereignis* genannt. Jede akustische Wahrnehmung wird durch bestimmte Parameter wie Frequenz, Lautstärke, Phase, Richtung und Entfernung charakterisiert. Im Folgenden werden diese Wahrnehmungen kurz erläutert.

3.2.1 Wahrnehmung von Frequenzen

Wie in Kapitel 3.1 bereits erwähnt, ist die Frequenzerkennung eine der wichtigen Funktionen des menschlichen Gehörs. Das Innenohr stellt eine Art Frequenzanalyser dar. Der Frequenzumfang des menschlichen Gehörs liegt zwischen 16Hz und 20 kHz, jedoch sind beide Werte idealisierte Zahlen, da die Hörgrenzen für jeden Menschen sehr individuell sind und mit zunehmendem Alter die Randbereiche dieses Spektrums weiter nach innen verschoben werden. Die Wahrnehmung der Frequenzen lässt sich durch eine logarithmische Funktion annähern, wobei die verschiedenen Frequenzbereiche vom Ohr nicht genau gleichwertig aufgelöst werden. Die Frequenzauflösung beschreibt den Tonhöhenunterschied, den man gerade noch wahrnehmen kann.

3.2.2 Wahrnehmung von Lautstärke

Das Lautstärkeempfinden ist eine weitere wichtige Eigenschaft des menschlichen Gehörs. Es ist grundsätzlich durch zwei Merkmale gekennzeichnet – den wahrnehmbaren Lautstärkeumfang und durch den Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen (Schalldruck, Schallintensität) und dem subjektiven Empfinden.

Als Hörbereich wird der Bereich zwischen Schwellwert und Schmerzgrenze bezeichnet. Der Hörbereich ist stark frequenzabhängig und hat sein Maximum bei etwa 1000Hz. Das Lautstärkeempfinden des Ohrs bei verschiedenen Frequenzen wird durch die „*Kurven gleicher Lautstärke*“ beschrieben. [5]

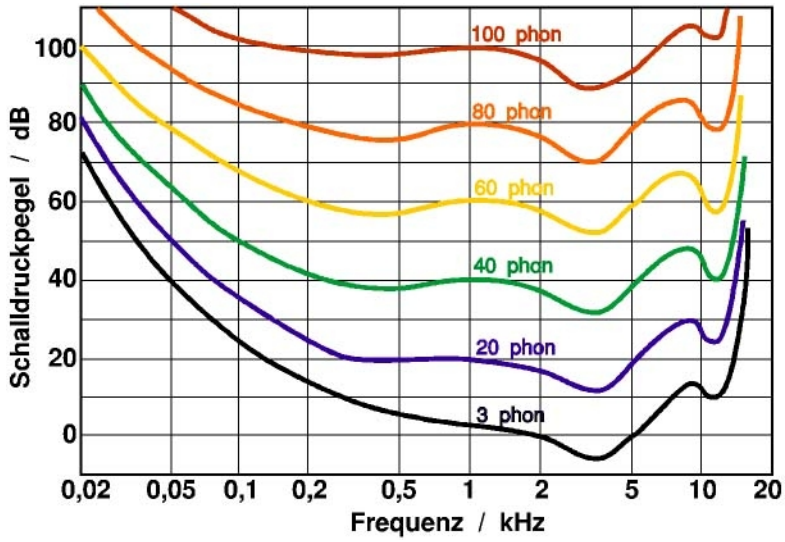

Abbildung 1: Kurven gleicher Lautstärke

Diese geben an, welcher Schalldruck erforderlich ist um unabhängig von der Frequenz einen bestimmten Lautstärkeeindruck zu erzielen. Die Kurven gleicher Lautstärke und das Lautstärkeempfinden spielen eine wichtige Rolle im Produktionsprozess. So klingt ein Mix, der bei hoher Lautstärke erstellt wurde, nur dann beim Endverbraucher gut, wenn er mit einer ähnlich hohen Lautstärke abgehört wird. Tiefe und hohe Frequenzen werden bei niedrigerem Schalldruck nicht so gut wahrgenommen und ein Mix wirkt dementsprechend sehr schnell mittenlastig. Bei der Durchführung der Hörversuche im praktischen Teil dieser Arbeit wurde also besonders auf die Lautstärke der Mischung geachtet, damit eine neutrale und plausible

5 http://www.peter-junglas.de/fh/vorlesungen/physik1/images/bild87.jpg

Klangbeurteilung der verschiedenen Audiobeispiele gewährleistet werden konnte.

3.2.3 Phasenempfinden

Will man ein Klangbild vollständig beurteilen, muss das Phasenempfinden ebenso in Betracht gezogen werden. Hörbare Phasenfehler haben mehr oder weniger starke Auswirkungen auf den Klang. Grundsätzlich gibt es zwei Phasenfehler, die das Klangbild erheblich beeinflussen – den Interchannel-Phasenfehler sowie den Intrachannel-Phasenfehler.

Bei dem Interchannel-Phasenfehler entstehen Zeitunterschiede zwischen den verschiedenen Wiedergabekanälen. Das bedeutet, dass ein Kanal bei bestimmten Frequenzen oder auch über den gesamten Frequenzbereich etwas früher oder später als der andere Kanal hörbar ist. Dieser Fehler ist bereits ab 10µs hörbar und bewirkt eine leichte bis deutlich merkbare Lokalisationsverschiebung der Signale zum früheren Kanal hin. Ursachen für den Inerchannel-Phasenfehler sind meistens eine ungleiche Signalführung der Kanäle und dadurch unterschiedliche Latenz, verschiedene Fehler in der A/D und D/A-Wandlung sowie falsche Boxenaufstellung und schlechte Sitzposition.

Beim Intrachannel-Phasenfehler entsteht ein Zeitfehler (eine Verzögerung) innerhalb eines Übertragungskanals und bestimmte Frequenzen werden früher oder später wiedergegeben. Dieser Fehler entsteht durch Phasenverschiebungen, Frequenzweichen in Mehrweglautsprechern oder durch sehr steilflankig wirkende Filter. Der Intrachannel-Phasenfehler wirkt sich auf den Einschwingvorgang aus und verändert somit die Erkennbarkeit und die Lokalisation eines Signals. Beim Abhören über Lautsprecher in einem Raum haben Phasenfehler erst ab 1ms hörbare Auswirkung auf ein Signal. Nichtsdestotrotz soll bei der Musikproduktion auch das Phasenempfinden berücksichtigt werden.

3.3 Lokalisation

3.3.1 Richtungshören

Eine der wichtigsten Eigenschaften des menschlichen Gehörs ist das Richtungshören, die sogenannte Lokalisation. Bei der Beurteilung eines akustischen Produktes spielt die

Lokalisationsschärfe der einzelnen Schallquellen eine erhebliche Rolle. Es ist essentiell wichtig, die Lokalisationsmechanismen des Gehörs zu kennen und zu verstehen, da dieser Aspekt bei den verschiedenen Panning-Möglichkeiten ausführlich behandelt wird.

Unter Lokalisation versteht man die Bestimmung einer Richtung oder einer Position. Die Lokalisation geschieht nicht alleine durch ein Organ, sondern ist vielmehr eine Kombination verschiedener Lokalisationsmechanismen. Die wichtigsten davon sind die Laufzeitdifferenzen und Pegelunterschiede zwischen den Ohren. Die Hervorhebung bestimmter Frequenzbereiche sowie schmalbandige Einbrüche durch sehr frühe Reflexionen an der Ohrmuschel haben ebenso eine Auswirkung auf die Lokalisation, wie auch der Bekanntheitsgrad eines Signals. Die Lokalisation fällt leichter, wenn ein Geräusch einem bestimmten Ereignis, einem bestimmten Instrument oder einer Person eindeutig zugeordnet werden kann.

Um bestimmte Richtungsangaben Schallereignissen eindeutig zuordnen zu können, wird der dreidimensionale Raum um den Kopf in drei Ebenen aufgeteilt. Somit wird ein kopfbezogenes Koordinatensystem aus der Horizontal-, Frontal- und Medianebene entwickelt. Für die Schalllokalisation aus den verschiedenen Richtungen einer Ebene sind unterschiedliche Eigenschaften des Gehörs und der Signalverarbeitung im Gehirn verantwortlich.

Die Lokalisation in der Horizontalebene erfolgt hauptsächlich durch Laufzeit- und Pegelunterschiede zwischen den Ohren. Bei natürlich auftretenden Schallereignissen sind die Laufzeit- und Pegeldifferenzen immer gleichsinnig. Somit ergibt sich eine Äquivalenz der Lokalisationsmechanismen. Auf den Eigenschaften dieser Mechanismen beim Richtungshören basieren auch die stereofonen Mikrofonierungsverfahren bei Tonaufnahmen, die im Kapitel 4 detailliert vorgestellt werden.

Bei der Lokalisation durch interaurale Laufzeitdifferenzen erreicht das Signal einer Schallquelle das der Schallquelle zugewandte Ohr etwas früher. Das zugewandte Ohr wird auf direktem Wege erreicht, bei dem abgewandtem Ohr nimmt das Signal einen Umweg um den Kopf. Der geringste Laufzeitunterschied, der bemerkt werden kann, liegt bei etwa 10µs. Erst ab einem Unterschied von etwa 30µs lässt sich tatsächlich eine neue Position der Schallquelle sicher bestimmen. Die Lokalisationsunschärfe beträgt daher etwa 2 bis 3 Grad. Bei seitlichem Schalleinfall ist die Lokalisationsschärfe deutlich schlechter etwa 12 bis 18 Grad, da der Schall

einen längeren Umweg zurücklegen muss.

Bei tiefen Frequenzen werden die Schwingungsverläufe an beiden Ohren immer ähnlicher, da die kleinen Laufzeitunterschiede zwischen den Ohren kaum mehr Phasenunterschiede verursachen. Daher sind tiefe Frequenzen schlechter lokalisierbar. Oberhalb von 1000Hz sind auch nur Lautstärkeverläufe (Hüllkurven) auswertbar. Je mehr verschiedene Frequenzen ein Signal also hat, desto genauer kann es mit Hilfe von Laufzeitunterschieden lokalisiert werden.

In der Horizontalebene wird auch anhand von Pegelunterschieden zwischen den Ohren lokalisiert. Das der Schallquelle abgewandte Ohr wird durch den Kopf abgeschattet und bekommt dadurch weniger Pegel als das zugewandte Ohr. Dieser Pegelunterschied ist sehr stark frequenzabhängig. Unter 300 Hz sind kaum Pegelunterschiede vorhanden, da sich der Schall um den Kopf herum beugen kann. Dies ist ein weiterer Grund warum tiefe Frequenzen schlecht lokalisierbar sind.

Frühe Reflexionen an der Ohrmuschel sind ebenso für die Lokalisation in der Horizontalebene verantwortlich. Diese Reflexionen bewegen sich im Bereich 100-200µs und haben einen Frequenzeinbruch im gehörten Frequenzspektrum zur Folge. Auch in der Medianebene sind die Reflexionen an der Ohrmuschel für die Lokalisation verantwortlich. Je nach Reflexionsdauer ergeben sich unterschiedliche Frequenzeinbrüche im Gesamtspektrum des Signals.

Die Lokalisationsmechanismen des menschlichen Gehörs umfassen viele verschiedene Richtungen. In der Horizontalebene werden die Signalrichtungen links, rechts, vorne und hinten betrachtet. Für die genaue Lokalisation eines Schallereignisses spielen die Richtungen oben und unten ebenso eine wichtige Rolle. Die Vertikalebene auch Medianebene genannt, umfasst die Richtungen vorne, hinten, oben und unten. Durch die Richtungslokalistation in der Medianebene kann daher die Höhe eines Schallereignisses, sowie deren Position vor oder hinter dem Hörer bestimmt werden.

Mit der Lokalisation in der Medianebene hat sich Jens Blauert ausführlich beschäftigt und schließlich auch die „richtungsbestimmenden Bänder“ festgelegt. Diese Bänder beschreiben den Zusammenhang zwischen der lokalisierten Richtung und der Frequenz des Signals. Die „richtungsbestimmenden Bänder“ sind von großer Bedeutung, vor allem wenn es sich um

Surround-Produktionen handelt. Bei den verschiedenen Stereofonie-Verfahren und deren Panoramaverteilung ist dieLokalisation in der Horizontalebene entscheidend.

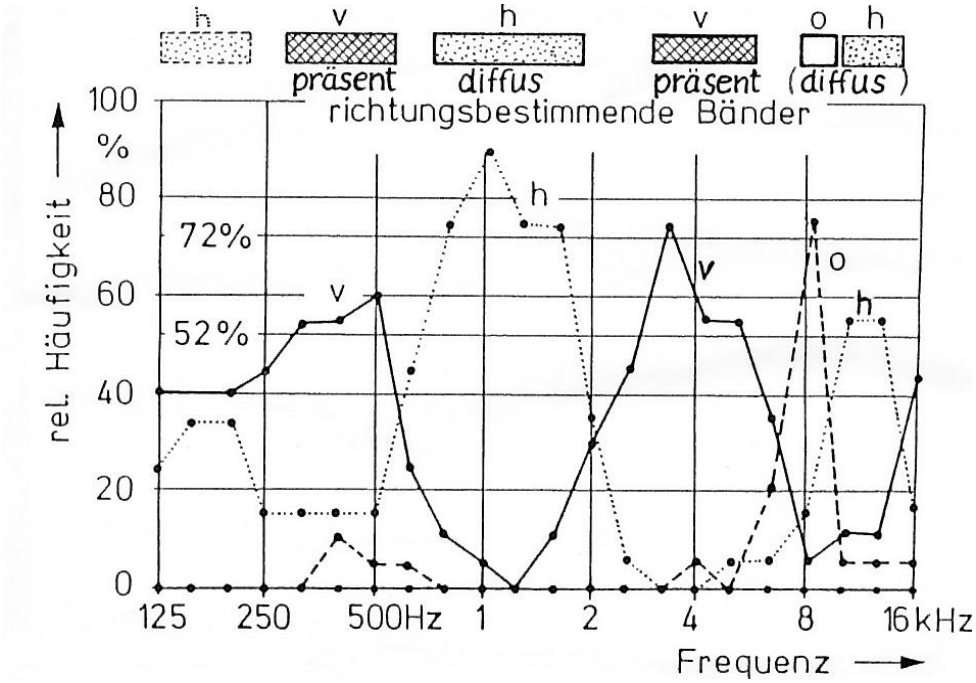

Abbildung 2: Richtungsbestimmende Bänder (Frequenzbänder) nach Blauert bei der Richtungswahrnehmung in der Medianebene. v- vorne, o- oben, h- hinten

3.3.2 Entfernungshören

Für den Gesamteindruck eines akustischen Ereignisses ist nicht nur die Richtungswahrnehmung ausschlaggebend, sondern auch das Entfernungsempfinden. Bei der Bestimmung der Entfernung zu einer Schallquelle ist eine gewisse Hörerfahrung notwendig. Die Entfernung zu einer gänzlich unbekannten Schallquelle kann im Freien, also im „freien Schallfeld", in dem es keine oder nur sehr wenige Reflexionen gibt, schwer oder gar nicht eingeschätzt werden. Die Wahrnehmbarkeit der Entfernung stellt einen neuen Höreindruck dar, der auch auf verschiedene Einflüsse zurückgeführt werden kann.

Das Entfernungsempfinden wird in erster Linie durch das Verhältnis zwischen dem direkten Schall und der Schallreflexionen charakterisiert. Der Zeit- und Wegunterschied zwischen den beiden Signalen wird mit größer Entfernung immer geringer. In geschlossenen Räumen ist der Nachhall von großer Bedeutung, während in der Natur vorwiegend Echoerscheinungen

auftreten. Durch Hallerscheinungen kann also die Entfernungswahrnehmung beeinflusst werden.

Klangfarbenunterschiede führen auch zu einem Entfernungsempfinden. Der wahrgenommene Frequenzgang einer Schallquelle ändert sich mit der Entfernung, was durch die physikalischen Eigenschaften von Schallwellen erklärt werden kann.[6]

Die Entfernung zu einer Schallquelle wird auch durch Lautstärkeänderungen charakterisiert. Diese Art von Entfernungsempfinden ist jedoch sehr stark von der Hörerfahrung abhängig. Des Weiteren spielt die Wahrnehmung von Entfernungen in der Stereo-Musikproduktion eine große Rolle, da neben der Zweidimensionalität eines Signals, das sich auf der Links-Rechts-Achse bewegen kann, eine Dritte Dimension, nämlich die Tiefe, hinzukommt. Dabei ist auch von Tiefenstaffelung, beispielsweise bei einer Orchesteraufnahme, die Rede. Dieser Effekt ist durch die verschiedenen Stereo- Aufnahmeverfahren wie auch durch den Einsatz von Hallgeräten steuerbar. Diese Tiefe wird auch als Räumlichkeit bezeichnet und ist ein wichtiges Attribut bei der Klanggestaltung.

All diese Eigenschaften von Schallereignissen, die durch die technischen Gegebenheiten sowie durch die verschiedenen psychoakustischen Phänomene zustande kommen, charakterisieren die verschiedenen Panning-Möglichkeiten und stehen somit im Mittelpunkt des durchgeführten Hörversuchs.

6 Siehe Kapitel 2

4. Grundlagen der Stereofonie

1885 entstand die erste 2-kanalige Aufnahme und ab 1930 wurde die Stereofonie patentiert. Heutzutage wird Stereofonie im Rundfunk, beim Tonfilm und bei allen Audiospeichermedien (Kassetten, CDs usw.) eingesetzt und ist seit Jahren die beliebteste Technik in einem breiten Konsumentenkreis. Daher wird in diesem Kapitel zunächst der Begriff „Stereofonie“ ein wenig näher erläutert. Der Begriff wird vom griechischen s*tereos* (Raum) und *phone* (Ton) abgeleitet und bezeichnet die elektroakustische Aufnahme und Wiedergabe von Schallereignissen mit räumlicher Klangwirkung. Ursprünglich wurden damit alle mehrkanaligen Wiedergabetechniken bezeichnet, aber heutzutage wird Stereofonie mit einer zwei-kanaligen Übertragung in Zusammenhang gebracht. Bei mehr als zwei Kanälen wird der Begriff Surround benutzt. Die einkanalige Übertragung wird als Monophonie bezeichnet.

4.1 Raum- und kopfbezogene Stereofonie

Es existieren grundsätzlich zwei unterschiedliche Stereo-Aufnahme und Wiedergabe-Verfahren: die Kopfhörer- und die Lautsprecher-Stereofonie. Beide Verfahren sind nicht kompatibel.
Bei der kopfbezogenen Stereofonie werden die Aufnahmen über Kopfhörer wiedergegeben. Die Wirkung der Ohrmuscheln also die Abschattung und Beugung der Schallwellen, sowie die Reflexionen an den Schultern werden mit dem Aufsetzen eines Kopfhörers außer Kraft gesetzt. Um ein möglichst natürliches Klangbild zu erreichen müssen spezielle Signale generiert werden, die die spektralen Signaldifferenzen und die Außenohrübertragungsfunktionen (HRTF) nachbilden.
Beim natürlichen Hören, sowie beim Abhören über Lautsprecher werden die Kopfübertragungsfunktionen mit beiden Ohrmuscheln erzeugt. Die Signale brauchen also frequenzunabhängige Pegeldifferenzen und bestimmte Laufzeitdifferenzen. Bei der Lautsprecher-Stereofonie werden die üblichen Stereo-Aufnahmeverfahren wie XY, AB, MS und ORTF angewandt. Statt den interauralen Signaldifferenzen werden lediglich Interchannel-Signaldifferenzen zwischen den Lautsprechern erzeugt. Die Lautsprecher-Stereofonie entspricht zwar nicht 100-prozentig dem natürlichen Hören, liefert aber bei entsprechender

Aufnahme, Bearbeitung und Wiedergabe sehr gute Klangergebnisse. Für die Beurteilung der verschiedenen Panning-Möglichkeiten sind die natürlichen Ohrsignale relevant, weshalb sich der praktische Teil dieser Arbeit lediglich auf die raumbezogene Stereofonie bezieht.

4.2 Reelle Schallquellen, Phantomschallquellen und virtuelle Schallquellen

Die stereophone Wahrnehmung basiert auf der Summenlokalisation und kann durch die Signallaufzeiten und Pegelunterschiede manipuliert werden. Der Ton wird mit mindestens zwei Mikrofonen auf zwei getrennte Kanäle aufgenommen und jeder Kanal wird entsprechend über einen eigenen Lautsprecher wiedergegeben. Der gewünschte Raumklang wird allerdings nur bei optimalen Hörbedingungen erzielt und zwar, wenn der Hörer sich im sogenannten Sweet-Spot des Stereodreiecks befindet. Mit Stereodreieck wird die stereophone Standardabhörposition, in der zwei Schallwandler in einem Winkel von ± 30° zur Blickrichtung eines Hörers aufgestellt werden, bezeichnet. Es entsteht so ein gleichseitiges Dreieck zwischen den Lautsprechern und dem Hörer.

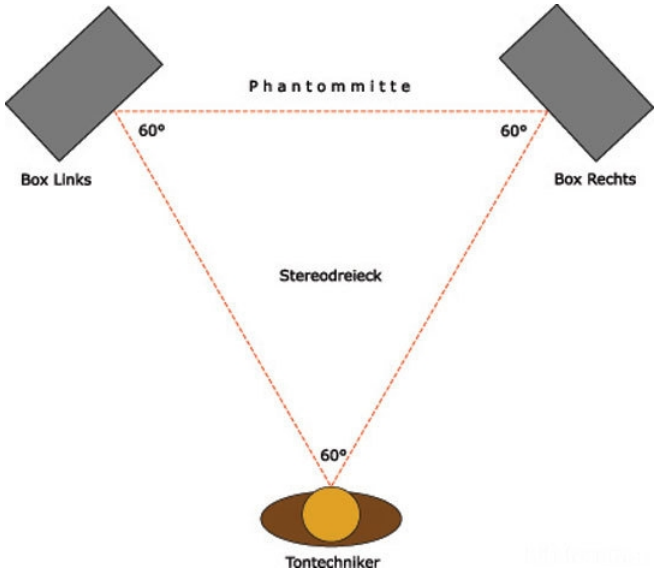

Abbildung 3: Stereodreieck

Bei einem Vergleich des stereophonen Hörens mit dem natürlichen Hören fällt nun ein bedeutender Unterschied auf. Beim Hören einer natürlichen Schallquelle, beispielsweise eines Instrumentes, stammt der Schall, der beide Ohren eines Hörers erreicht, in erster Linie direkt

von diesem Instrument. Beim stereophonen Hören existieren zwei Schallquellen, nämlich die beiden Lautsprecher. Dennoch werden bei der Wiedergabe einer stereophonen Aufnahme dieses Instrumentes nicht zwei Schallquellen wahrgenommen, sondern das Instrument wird irgendwo zwischen den beiden Schallwandlern lokalisiert. Das resultierende Hörereignis wird als Phantomschallquelle bezeichnet und kommt durch die Summenlokalisation zustande. Die Summenlokalisation bezeichnet einen Effekt, bei dem mit zwei räumlich getrennten Schallquellen, die kohärente Signale abstrahlen, ein resultierendes Hörereignis erzielt wird, dessen räumliche Merkmale von der Position beider Schallquellen und den von beiden Schallquellen abgestrahlten Signalen abhängen. Werden beide Lautsprecher mit identischen Signalen gespeist, liegt die Phantomschallquelle in der Medianebene, meistens oberhalb der Mitte der Lautsprecherverbindungsgeraden.

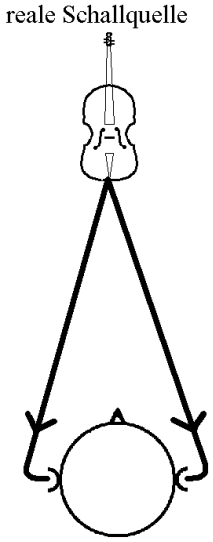

Abbildung 5: Reale Schallquelle

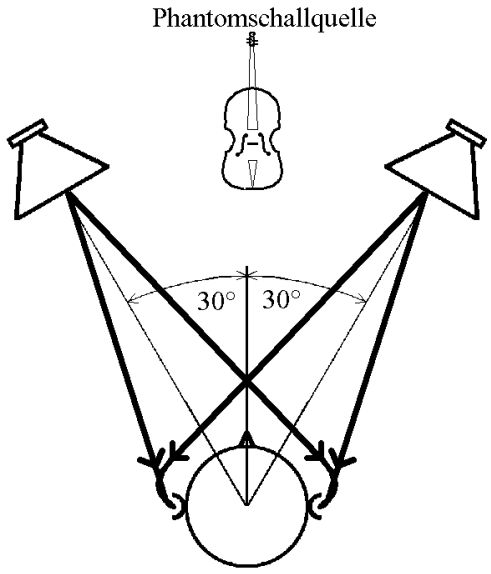

Abbildung 4: Phantomschallquelle

Beim Einfügen von Pegelunterschieden (Intensitäts-Stereofonie) oder Laufzeitunterschieden (Laufzeit-Stereofonie) zwischen den beiden Lautsprecher ändern sich die räumlichen Merkmale des resultierenden Hörereignisses in einer Art, die nicht direkt durch die Zusammenhänge zwischen Schall- und Hörereigniseigenschaften bei Einzelschallquellen zu erklären ist.[7] Durch Pegel- und Laufzeitdifferenzen wird die Position der Phantomschallquelle

7 Blauert, J.: Räumliches Hören. Hirzel Verlag, Stuttgart (1974)

zwischen den Lautsprechern bestimmt. Der genaue Zusammenhang zwischen diesen Parametern wird in Kapitel 6 bei den entsprechenden Stereofonie-Verfahren erläutert.

Das Stereodreieck stellt bei der Musikwiedergabe durch Summenlokalisation einen Kompromiss dar. Die Hörereignisse in der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern können verhältnismäßig scharf lokalisiert werden und es ergibt sich dennoch eine hinreichende Basisbreite für die räumliche Abbildung zwischen den Schallwandlern. Werden die Lautsprecher weiter auseinandergezogen, erscheinen die Hörereignisse weiter oben positioniert. Bei einer Aufstellung von ± 90° erscheinen sie häufig sogar im oder über dem Kopf. Sind die Lautsprecher enger beieinander, wird die nutzbare Basisbreite für die Abbildung von Phantomschallquellen kleiner.

Neben den reellen Schallquellen und Phantomschallquellen, existieren auch virtuelle Schallquellen, die z.B. in Virtual-Surround-Systemen implementiert werden. Dabei werden über normale Stereolautsprecher Surroundlautsprecher simuliert. Diese Simulation kann durch Faltung oder durch Veränderungen in der Frequenzebene erfolgen.

Bei dem Vergleich der verschiedenen Panning-Möglichkeiten bei zweikanaliger Stereofonie wird lediglich die Positionierung von Phantomschallquellen untersucht.

Theile, G. and Plenge, G.: Localization of lateral phantom sources. J. Audio Eng. Soc. 25 (1977), 196-200.

5. Zusammenhang zwischen Stereofonie und der Panorama-Verteilung

Ein wichtiges Merkmal einer Musikmischung ist die Verteilung der verschiedenen Schallquellen auf der Stereobasisbreite. Die Zuordnung eines einkanalig oder auch mehrkanalig aufgenommenen Schallereignisses auf eine bestimmte Anzahl von Kanälen wird Panning genannt und mit Hilfe eines Panoramastellers realisiert. Ein Panorama-Potentiometer, kurz auch PanPot genannt, gehört heutzutage zu der Standard-Ausrüstung eines jeden Mischpultkanals. Der Panoramasteller ist ein Effekt, der ein Signal stufenlos im Stereobild zwischen links und rechts positionieren kann. Für Surround funktioniert diese Positionierung aus psychoakustischen Gründen nur mäßig gut, deswegen werden für die Zwecke dieser Arbeit nur zwei-kanalige Stereoverfahren betrachtet. Bei diesen wird mit dem PanPot ein monophones Signal auf die Stereokanäle Links und Rechts verteilt.

Die klanglichen Eigenschaften eines Panoramastellers sind direkt vergleichbar mit einer entsprechenden Stereomikrofontechnik. Um also die wesentlichen Merkmale der verschiedenen Panning-Verfahren zu erfassen, werden im folgenden Abschnitt die verbreitetsten Stereomikrofontechniken und deren Eigenschaften vorgestellt.

6. Vorstellung der unterschiedlichen Stereo-Verfahren (AB, XY, ORFT, KFM)

Die Stereomikrofontechniken werden generell in 5 Gruppen unterteilt: Intensitätstechnik, Laufzeittechnik, Äquivalenztechnik, Trennkörpertechnik und Binauraltechnik. Da die Binauraltechnik ohne größere Nachbearbeitung nur auf Kopfhörern gut wiedergegeben werden kann, werden die Eigenschaften dieser Technik hier nicht weiter erläutert.

6.1 Intensitäts-Stereofonie/ Pegeldifferenz-Stereofonie

Die Pegeldifferenz-Stereofonie ist eine Stereomikrofontechnik, bei der ausschließlich Pegelunterschiede zwischen den verwendeten Mikrofonen auftreten können. In der Fachliteratur wird oft der Begriff „Intensitäts-Stereofonie“ verwendet, was aber genauer betrachtet nicht ganz richtig ist. Die Schallintensität definiert akustische Leistung durch Fläche ($I = P_{ak} / A$) und hat nichts mit Richtungshören zu tun. Bei der Stereolokalisation handelt es sich direkt um Schalldruckunterschiede und das sind keine Intensitätsunterschiede. Zur Stereolokalisation können Stereomikrofone nur Schalldruckunterschiede pL / pR in Spannungsunterschiede verwandeln, aber keine Intensitätsunterschiede. [8] Das menschliche Ohr kann ebenso nur Schalldruckunterschiede, aber keine Schallintensitätsunterschiede auswerten. Da der Begriff Intensitäts-Stereofonie aber sehr verbreitet ist, wird er auch in dieser Arbeit verwendet, um Missverständnisse zu vermeiden.

Die Intensitäts-Stereofonie ist eine sogenannte Koinzidenzmikrofontechnik. Um ausschließlich Pegelunterschiede zwischen den beiden Stereokanälen zu erzielen, müssen die verwendeten Mikrofone sehr dicht zueinander platziert werden, so dass praktisch keine Wegunterschiede für den einfallenden Schall entstehen. Die Mikrofonkapseln werden also am gleichen Ort im Raum positioniert. Da das menschliche Ohr in der Vertikalebene nicht so gute Auflösung hat wie in der Horizontalebene, werden die Mikrofone meistens übereinander platziert. Die dadurch entstehenden kleinen Laufzeitunterschiede sind in der Praxis unkritisch. Zur

8 Sengpielaudio „Intensitäts-Stereofonie ist keine Intensitäts-Stereofonie... sondern: Pegeldifferenz-Stereofonie 1“

Intensitätstechnik gehören zwei Stereoverfahren: XY und MS.

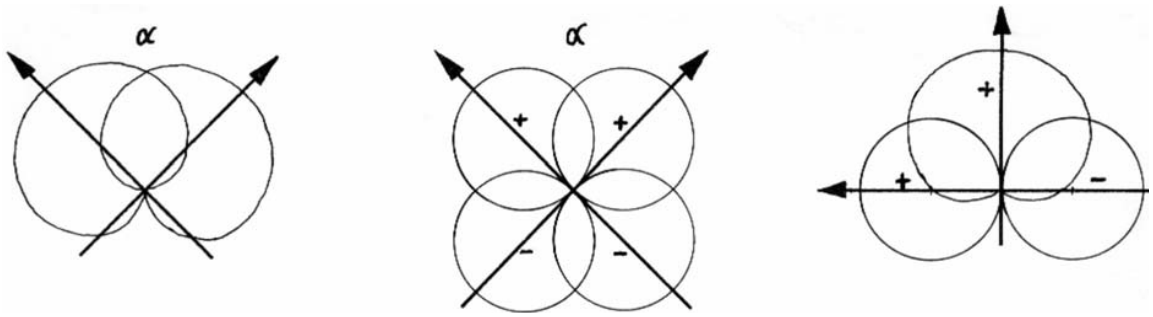

Abbildung 6: Pegeldifferenz-Stereofonie

XY Niere/Niere	XY Acht/Acht	MS Niere/Acht
α = 90°	α = 90°	S:M = 1

Bei der XY-Technik wird das Ausgangssignal aus den Pegeldifferenzen zwischen zwei Druckgradientenmikrofonen erzeugt. Der maximale Pegelunterschied beträgt ±18dB und entspricht einer Positionierung der Phantomschallquelle am äußersten Rand der Stereobasis. Die genaue Positionierung der Phantomschallquelle ist prozentual abhängig von der Stereobasisbreite. Dadurch haben der Abstand zwischen den zwei Lautsprechern und der Abstand vom Hörer zu den Lautsprechern keinen Einfluss auf die Panorama-Verteilung. Solange man gleich weit weg von beiden Lautsprechern ist und sich somit auf der Mittelachse zwischen den Lautsprechern befindet, wird ein Pegelunterschied von 6,5 dB immer eine Verschiebung um 50% in Richtung des lauteren Lautsprechers haben.[9]

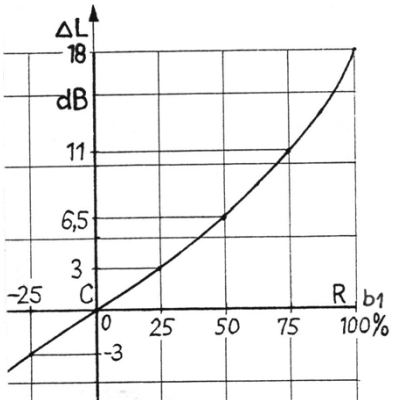

Abbildung 7:
Pegeldifferenz-Lokalisationskurve

9 Andreas Friesecke, Die Audio-Enzyklopädie, „Position einer Phantomschallquelle in Anhängigkeit der Pegeldifferenzen zwischen den Lautsprechern", S.145

Den Bereich, in dem Schallquellen innerhalb der Stereobasis abgebildet werden, nennt man Aufnahmebereich. Das ist bei der Intensitäts-Stereofonie der Bereich zwischen -18dB und +18dB. Pegelunterschiede von mehr als 18dB werden ebenfalls am Rand der Stereobasis abgebildet und geben daher keinen Aufschluss über die ursprüngliche Position der Schallquelle. Am Rand der Stereobasis findet eine Verdichtung der abgebildeten Schallquellen statt und mehrere aufgenommene Richtungen werden an der gleichen Position wiedergegeben. Den Aufnahmebereich kann man mit Hilfe des Öffnungswinkels zwischen den Mikrofonen beeinflussen. Wird der Öffnungswinkel kleiner, vergrößert sich der Aufnahmebereich und die einzelnen Schallquellen wirken schmaler.

Die Pegelunterschiede zwischen den Mikrofonen sind für die verschiedenen Schalleinfallswinkel nicht gleich. Zwischen -90° und + 90° ist der Unterschied am Größten. Außerhalb dieser Positionen werden die Pegeldifferenzen wieder geringer.

Ist der Aufnahmebereich des Mikrofonsystems kleiner als der Ausdehnungsbereich des Klangkörpers, so kommt es zu einem sogenannten "Loch in der Mitte". Bei einem Aufnahmebereich, der größer ist als der Ausdehnungsbereich des Klangkörpers werden die Schallquellen mit geringer Breite dargestellt. Der Aufnahmebereich des Stereomikrofons muss sich also genau mit dem Ausdehnungsbereich des Klangkörpers decken. Da die beiden Mikrofone bei der X/Y-Technik um einen bestimmten Winkel bezüglich der Mittelachse gedreht werden und dementsprechend nicht direkt auf den Klangkörper ausgerichtet sind, wird ein etwas weniger brillantes Klangbild erzielt.

Die M/S-Technik liefert insofern klanglich bessere Ergebnisse, da das Mittenmikrofon auf das Zentrum des Klangkörpers ausgerichtet ist und der Druckgradientenempfänger für das Seitensignal einen relativ linearen Frequenzgang für alle Richtungen aufweist. Die Links- und Rechts-Signale werden bei dieser Technik nicht direkt aufgezeichnet, sondern mit einer Matrix ausgerechnet, deren vereinfachte Gleichung wie folgt aussieht:

$$L=(M+S).0,707$$

$$R=(M-S).0,707$$[10]

Die Bearbeitung des M/S-Signals ist sehr aufwendig, da man Summen- und

10 Andreas Friesecke, Die Audio-Enzyklopädie, „M/S-Technik“, S. 428

Differenzverstärker braucht. Daher wird diese Technik aus praktischen Gründen immer seltener benutzt. Die X/Y-Technik hat viele Vorteile und wird auch sehr oft in der Praxis verwendet.

Ein großer Vorteil der Intensitäts-Stereofonie ist die gute Stereoabbildung, da alle Signale kohärent sind. Die Räumlichkeit wird allerdings beeinträchtigt, da auch die Raumsignale kohärent sind. Auf der Lautsprecherbasis ergeben sich bei der Intensitäts-Stereofonie Phantomschallquellen, die überall leicht zu lokalisieren sind. Sie erscheinen schmal, präzise und relativ scharf. Zu den Lautsprechern hin sind die Phantomschallquellen sogar noch etwas präziser und wenn die Schallquelle nur aus einem Lautsprecher kommt, so wird aus der virtuellen Schallquelle eine reale Schallquelle – eben der Lautsprecher selbst.

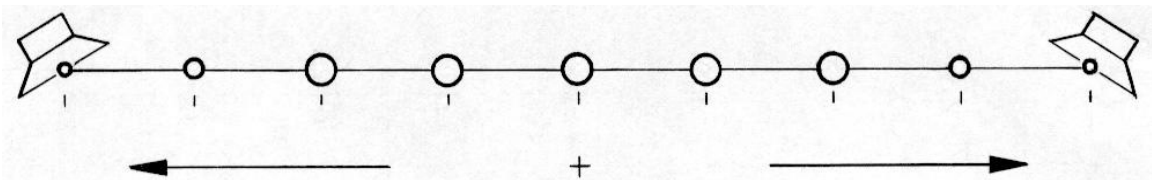

Abbildung 8: Lokalisationsschärfe bei reiner Intensitäts-Stereofonie

Die Intensitäts-Stereofonie ist wegen der Monokompatibiltät und der guten Lokalisierbarkeit der Schallquellen im Klangbild ein sehr beliebtes Stereo-Verfahren. Da die Pegeldifferenzen leicht zu realisieren sind, werden in den meisten Mischpulten Panoramaregler integriert, die auf diesem Verfahren basieren. Allerdings besteht der Wunsch auch die tiefen Frequenzen ungeschwächt aufzunehmen und übertragen zu können. Dies ist nur mit reinen Druckempfängern möglich, daher wurden weitere Stereoverfahren entwickelt, die dem gewünschten Klangergebnis immer näher kommen.

6.2 Laufzeit-Stereofonie

Beim natürlichen Hören treten nicht nur Pegeldifferenzen zwischen den Signalen, sondern auch Laufzeitunterschiede auf. Bei der Laufzeit-Stereofonie führen die Zeitdifferenzen zwischen zwei Mikrofonen zur stereophonen Abbildung einer Schallquelle. Eine reine Laufzeit-Stereofonie ist allerdings praktisch nicht möglich, da die Mikrofone sich an unterschiedlichen Positionen befinden und dadurch automatisch auch gewisse Pegelunterschiede auftreten. Durch die entsprechende Mikrofonaufstellung lässt sich das Verhältnis zwischen den Pegel- und Laufzeitdifferenzen beeinflussen.

Bei der Laufzeit-Stereofonie werden beide Mikrofone mit einem Mindestabstand von 20 cm, was etwa dem Abstand der beiden Ohren entspricht, parallel zueinander ausgerichtet. Bei einer Mikrofonbasis, die kleiner als 1m ist, werden beide Mikrofone als ein Mikrofonsystem betrachtet, da bei diesem Abstand und der entsprechenden Verzögerung von etwa 2,9 ms das Gesetz der Summenlokalisation gilt. Um eine Schallquelle eindeutig einem Lautsprecher zuordnen zu können, ist ein Zeitunterschied von 1 - 2ms nötig, je nach Impulszusammensetzung des Signals. Das entspricht einem Wegunterschied von ca. 70 cm. Die parallele Ausrichtung der beiden Mikrofone ist sehr wichtig, um ungewollte zusätzliche frequenzbewertete Pegelunterschiede zu vermeiden. Vor allem bei Mikrofonen mit Kugelcharakteristik können unangenehme Klangverfärbungen entstehen. Die hohen Frequenzen werden zunehmend in Richtung der Lautsprecher lokalisiert und die tiefen Frequenzen sammeln sich in der Stereomitte. Die Stereo-Lautsprecher brauchen also frequenzneutrale Laufzeitunterschiede, um Klangverfälschungen zu vermeiden und eine relativ gute Lokalisierbarkeit zu erzielen.

Die AB-Technik ist die verbreitetste Laufzeitmikrofontechnik. Bei dieser Technik können beliebige Richtcharakteristiken verwendet werden. Durch die Verwendung von Kugelmikrofonen werden die unvermeidlichen Pegeldifferenzen zwischen den Mikrofonen minimiert.

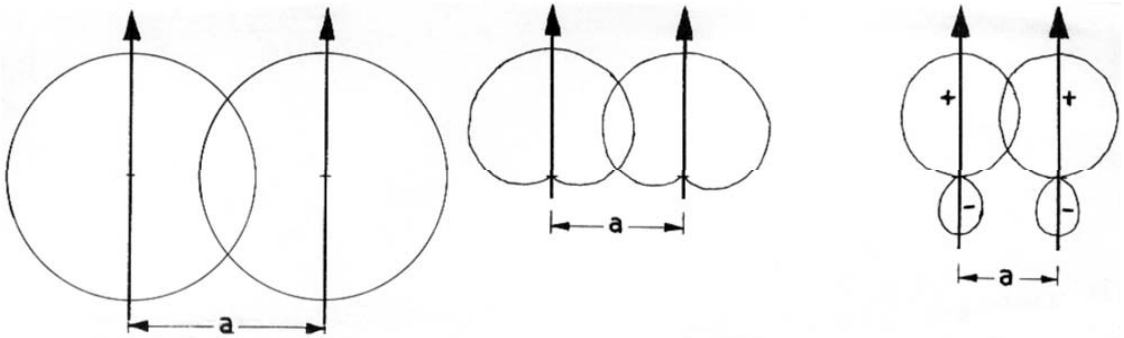

Abbildung 9: Laufzeit-Stereofonie

AB Kugel/Kugel	AB Niere/Niere	AB Hyperniere/Hyperniere
a = 60 cm	a = 30 cm	a = 20 cm

Bei gerichteten Mikrofonen kann man mit einem geringeren Mikrofonabstand arbeiten, ohne dass eine Verengung der abgebildeten Stereobasis zustande kommt. Über den Abstand der Mikrofone zueinander kann man den Aufnahmebereich beeinflussen. Oft werden die Begriffe „klein AB“ und „groß AB“ verwendet. Damit sind Aufstellungen gemeint, die außerhalb von dem empfohlenen Mikrofonabstand liegen. So wird bei einem groß-AB oft ein Abstand von 3m genommen. Damit wird keine vernünftige Stereoabbildung erzielt, dafür aber ein sehr diffuser Raumeindruck eingefangen.

Bei der Laufzeit-Stereofonie ist durch den hohen Anteil an inkohärenten Signalen die räumliche Tiefenstaffelung allgemein sehr gut. Allerdings sind die aufgenommenen Signale nur begrenzt monokompatibel. Eine Änderung der Basisbreite durch PanPots sowie eine S/M-Wandlung (Seite-Mitten-Signal) sind nicht möglich, da durch die übersprechenden Pegeldifferenzen die Tiefenstaffelung verloren geht und Kammfiltereffekte hörbar werden.

6.3 Äquivalenztechnik

Um ein optimales Klangbild zu erzielen, welches dem natürlichen Hören am nächsten kommt, wurden Laufzeit- und Intensitäts-Stereofonie kombiniert und die sogenannte Äquivalenztechnik entwickelt. Dabei werden zwei Mikrofone mit gleicher Richtcharakteristik (meistens Niere) in einem bestimmten Abstand zueinander aufgestellt und um einen

bestimmten Winkel aus der Mittelachse gedreht. Natürlich gibt es unendlich viele Möglichkeiten, in welchem Abstand und mit welchem Öffnungswinkel die Mikrofone aufgestellt werden können. Jede dieser Möglichkeiten beeinflusst den Klang auf eine bestimmte Weise, selbst wenn der Aufnahmebereich der gleiche ist.

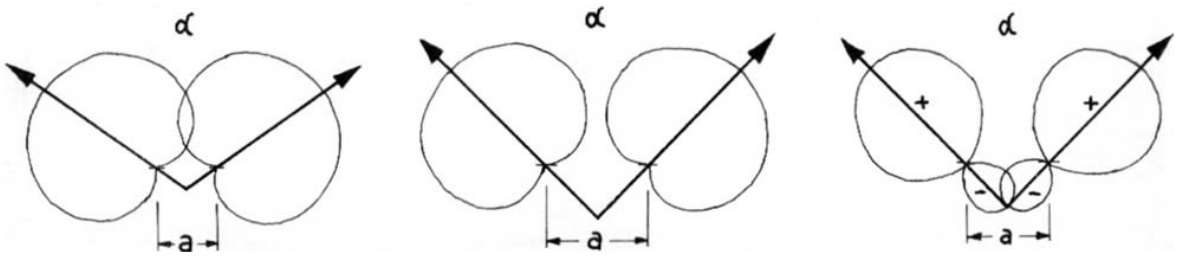

Abbildung 10: Beispiele für Äquivalenz-Stereofonie

ORTF: Niere/Niere	NOS: Niere/Niere	Hyperniere/Hyperniere
α = 110°, *a* = 17 cm	α = 90°, *a* = 30 cm	α = 90°, *a* = 25 cm

Die Richtungsabbildung und die Basisbreite werden bei der Äquivalenztechnik schon bei der Aufnahme festgelegt. Eine nachträgliche Änderung des S/M-Verhältnisses und die Bearbeitung der Pegeldifferenzen mit PanPots verschlechtert die Tiefenstaffelung und kann zu hörbaren Kammfiltereffekten führen.

Die ORTF-Technik ist das bekannteste Äquivalenz-Stereofonie-Verfahren. Diese Technik wurde von den Tontechnikern des Radio France (früher **O**ffice de **R**adiodiffusion **T**élévision **F**rançaise) entwickelt und auch danach benannt. Bei diesem Stereofonie-Verfahren werden zwei Nierenmikrofone in einem Abstand von 17 cm und einem Versatzwinkel von 110° aufgestellt. Die ganz genauen Werte für diese Anordnung stellen sicher, dass die frequenzneutralen Interchannel-Pegeldifferenzen und die notwendigen Laufzeitdifferenzen, die zur Abbildung der Hörereignisrichtungen auf der Lautsprecherbasis benötigt werden, zustande kommen. Es ergibt sich ein fester Aufnahmebereich von etwa ±48° = 96°.

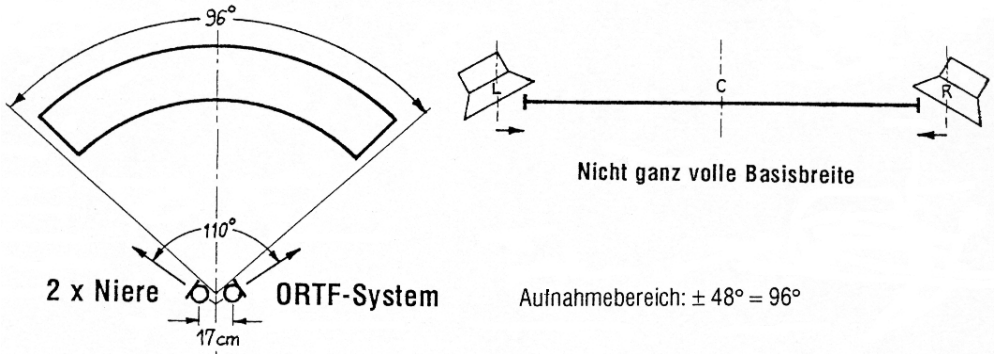

Abbildung 11: Aufnahmebreich von ORTF

Die Äquivalenz-Stereofonie vereinigt die Vorteile der Laufzeit- und Intensitäts-Stereofonie. Durch die Laufzeitdifferenzen wird ein Gefühl der Räumlichkeit erzeugt und durch die Pegelunterschiede wird die Lokalisierbarkeit der Schallquellen gesichert. Die ORTF-Technik liefert ein ausgewogenes Klangbild und ist für viele Anwendungszwecke interessant. Es wird vor allem bei Aufnahmen von Orchestern, Chören oder anderen akustisch unverstärkten Ensembles benutzt, da einzelne Instrumente gut zu orten sind und trotzdem eine natürliche Räumlichkeit bewahrt wird. Die ORTF-Technik findet auch als Overhead- oder Ambience-Mikrofonie beim Schlagzeug Einsatz.

6.4 Trennkörper-Stereofonie

Obwohl die ORTF-Technik sehr gute akustische Ergebnisse liefert, entspricht sie nicht ganz dem natürlichen Hören. Das menschliche Ohr nimmt Laufzeitunterschiede und Pegelunterschiede wahr, die sehr stark von der Frequenzverteilung innerhalb des Signals abhängig sind. Während die Äquivalenz-Stereofonie frequenzunabhängige Richtungsparameter aufzeichnet, werden beim natürlichen Hören auch die interauralen Signaldifferenzen, die sich in Form von Spektralunterschieden äußern, berücksichtigt.

Die Trennkörper-Stereofonie ist eine besondere Form der Äquivalenz-Stereofonie, die auch die frequenzabhängigen Klangunterschiede zwischen den Signalen aufzeichnet. Zwischen zwei Druckempfängern wird ein Trennkörper eingebaut, der den menschlichen Kopf simuliert.

Somit wird ein relativ natürlicher Höreindruck nachgebildet, da sich verschiedene Frequenzgänge zwischen dem linken und rechten Kanal ergeben. Zu den bekanntesten Trennkörper-Stereofonie-Verfahren gehört das Kugelflächenmikrofon (KFM).

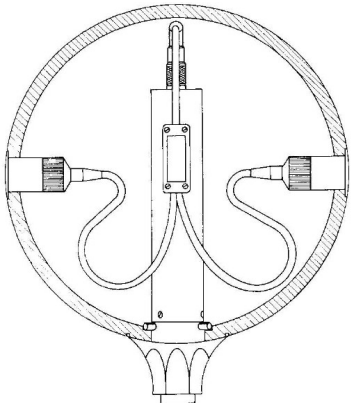

Abbildung 12: Aufbau von Kugelflächenmikrofon

Abbildung 13: Schoeps Kugelfächen-Stereomikrofon KFM 6

Bei dem KFM handelt es sich um eine schallharte Kunststoff-Hohlkugel mit 20cm Durchmesser, die innen akustisch gedämpft ist. Symmetrisch zur vertikalen Achse sind elektrostatische Druckempfänger bündig eingelassen. In die Kugel ist noch ein stereophoner phantomgespeister Impedanzwandler eingebaut. Der Aufnahmewinkel beträgt 90°. Durch den bündigen Abschluss der Membran mit der Oberfläche der Kugel entsteht eine mit einem Grenzflächenmikrofon vergleichbare Anordnung. Der Frequenzgang ist von vorne sowie im diffusen Schallfeld linear und es entstehen keine störenden Kammfiltereffekte.

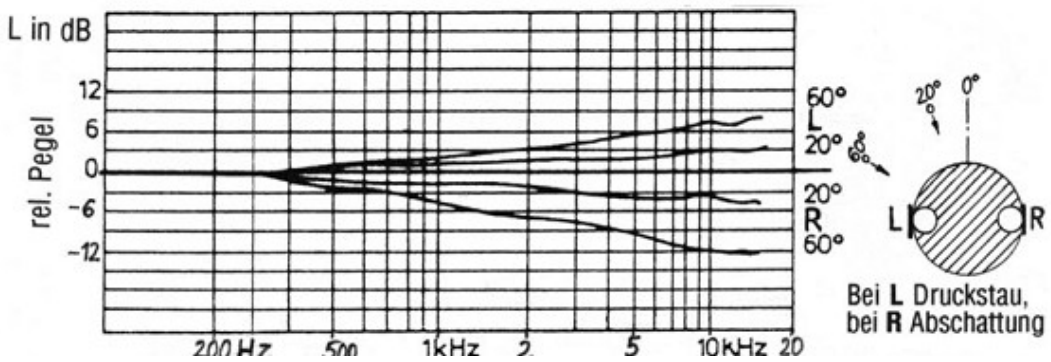

Abbildung 14: Frequenzgang KFM 6 aus verschiedenen Richtungen

Neben den Pegel- und Laufzeitdifferenzen wird bei dem KFM auch der spektrale Unterschied aufgezeichnet. Dieser klangliche Unterschied wächst mit dem Schalleinfallswinkel. Bei dem KFM wird eine gute räumliche Tiefe sowie eine präzise Lokalisierung erreicht. Die Position des KFM beeinflusst die Qualität der Aufnahme. Der gesamte Klangkörper soll möglichst innerhalb eines horizontalen Winkels, der dem Aufnahmewinkel entspricht liegen. Nur dann werden die am weitesten links und rechts entfernten Schallquellen durch die Laufzeit- und Pegelunterschiede an den Rändern der Wiedergabebasis, also in den entsprechenden Lautsprechern, geortet. Das Kugelflächenmikrofon liefert im Gegensatz zu anderen Trennkörper-Stereofonie-Verfahren sehr gute Ergebnisse, auch bei einer Wiedergabe über Lautsprecher.

X/Y, AB, ORTF und KFM sind die bekanntesten und am häufigsten benutzten Stereofonie-Verfahren. Die in diesem Kapitel vorgestellten Eigenschaften dieser vier Techniken werden in den Panning-Algorithmen des Studer Vista 7 Pultes implementiert. Die wichtigsten Parameter wie etwa die Lokalisationsschärfe, Räumlichkeit und die klanglichen Besonderheiten dieser vier Verfahren stehen im Mittelpunkt des durchgeführten Hörversuchs, da es besonders interessant ist herauszufinden, wie sich die technischen Gegebenheiten auf das Endprodukt auswirken und welche Empfindungen beim Hörer hervorgerufen werden.

7. Panning-Möglichkeiten am Studer Vista 7 Pult

Für die Durchführung eines direkten Vergleichs der vier verschiedenen Techniken XY, AB, ORTF und KFM sind bestimmte technische Gegebenheiten erforderlich. Im Signalweg jedes Mischpults ist ein Panoramaregler integriert, der die Positionierung eines Monosignals in dem Stereoklangbild ermöglicht. In den meisten Mischpulten wird das Signal durch Pegeldifferenzen als Phantomschallquelle auf der Lautsprecherbasis dargestellt. Für den stereophonen Effekt sind aber nicht nur Pegeldifferenzen, sondern auch Laufzeit- und Spektralunterschiede zuständig. Diese Eigenschaften charakterisieren die verschiedenen Stereofonie-Verfahren und werden in den verschiedenen Panning-Möglichkeiten umgesetzt. Allerdings werden mehrere Techniken nur in wenigen Mischpulten implementiert. Das digitale Mischpultsystem Studer Vista 7 besitzt variable Panning-Algorithmen, die es ermöglichen mit einem Knopfdruck zwischen den verschiedenen Stereofonie-Verfahren umzuschalten. Der praktische Teil dieser Arbeit wurde dementsprechend am Studer Vista 7 Pult durchgeführt, da diese Konsole den direkten Vergleich zwischen den verschiedenen Panning-Möglichkeiten zulässt.

Abbildung 15: Der Pan-Regler am Studer Vista 7 Pult

Bei dem Studer Vista 7 Pult gibt es zudem die Option, mehrere Parameter beim Panning zu beeinflussen, vom einfachen Links-Rechts-Paninng über eine Regelung der Stereobreite und -Richtung bis zum VSP (Virtual Surround Panning).

Die Links-Rechts-Panoramaverteilung funktioniert für Mono-Kanäle in 1° Schritten von –30, ganz Links, bis +30 ganz Rechts. Bei Stereokanälen besteht die Möglichkeit Richtung und Balance des Eingangssignals zu manipulieren, sowie die Stereobreite zu verändern - in einem

Bereich zwischen 0% (mono) bis 200% („super stereo“).

Im Menü „PAN Mode“ kann zwischen den verschiedenen Algorithmen für die Positionierung des Monosignals umgeschaltet werden. Zur Verfügung stehen folgende Möglichkeiten:

X/Y: Das ist der Standard-Algorithmus, der auch von den meisten Mischpultherstellern implementiert wird. Dabei wird das Signal durch Pegelunterschiede an der gewünschten Position als Phantomschallquelle platziert.

A/B: Dieser Algorithmus simuliert die bekannte Laufzeittechnik mit zwei ungerichteten Mikrofonen. Die Positionierung des Signals wird durch Laufzeitdifferenzen realisiert und ist gut geeignet für Solo-Instrumente, Choraufnahmen und Umgebungsaufnahmen, da ein räumlicher Klang erzielt wird.

ORTF: Durch die integrierten Pegel- und Laufzeitunterschiede wird ein präziser und gleichzeitig räumlicher Klang nachgebildet. Simuliert wird die Äquivalenztechnik mit zwei Nierenmikrofonen in einem Abstand von 17cm und einem Öffnungswinkel von 110 Grad.

SPHERE: In dieser Einstellung wird ein Kugelflächenmikrofon mit einem Durchmesser von 18 cm simuliert. Pegel-, Laufzeit- sowie Spektralunterschiede werden bei diesem Algorithmus entsprechend in beiden Kanälen dargestellt.

HRTF (**H**ead **R**elated **T**ransfer **F**unctions): Dieser Algorithmus simuliert ein übersprechenkompensiertes Stereosystem wie von Kunstkopfaufnahmen bekannt. Wird ein Signal auf ±30 eingestellt, so wird das Signal nur am einen Lautsprecher ausgegeben ohne jegliches Übersprechen. Dieses Verfahren kann genutzt werden, um die wahrgenommene Breite einer Aufnahme künstlich zu vergrößern.

User: In diesem Modus kann der Benutzer das Verhältnis zwischen Pegel- und Laufzeitdifferenzen selber einstellen, je nachdem welches Klangergebnis angestrebt wird.

Im praktischen Teil dieser Arbeit und bei den Hörversuchen, die im Kapitel 9 beschrieben werden, wurden die 4 Algorithmen XY, AB, ORTF und Sphere verwendet, da diese sich am besten für die Wiedergabe über Lautsprecher eignen.

8. Panning in der Praxis

Bei der Mischung eines Musikstückes wird die Panoramaverteilung nicht nur von den technischen Faktoren beeinflusst, sondern auch von diversen ästhetischen Aspekten. Wo die einzelnen Schallquellen auf der Stereobasis positioniert werden, hängt von dem Musikgenre, der Anzahl und der Art der Musikinstrumente und nicht zuletzt auch vom Zielpublikum ab. Es gibt jedoch bestimmte Gesetzmäßigkeiten, die eine klare Richtlinie skizzieren und die bei der Musikproduktion stets berücksichtigt werden.

Beim Panning wird ein besonderer Wert auf die Ausgewogenheit und Transparenz der Mischung gelegt. Die Signale werden in der Stereobreite so platziert, dass die einzelnen Schallquellen immer ein adäquates Gegengewicht bilden und das akustische Gleichgewicht erhalten bleibt. Wird z.B. halb links ein Rhythmusinstrument platziert, soll auch halb rechts ein weiteres Rhythmusinstrument positioniert werden, das für die Balance sorgt.

Bei der Verteilung der einzelnen Signale in der Stereobreite wird oft von der Bühnensituation eines Live-Konzertes ausgegangen. Dabei entspricht die Position der einzelnen Schallquellen der Lage der Musiker auf der Bühne aus Sicht des Publikums. Vor allem bei klassischer Musik wird diese Regel gehalten. Als Orientierung bei der Verteilung dient das Hauptmikrofon-Signal. Bei guter Positionierung sorgt dieses Stereomikrofon nicht nur für den Raumeindruck, sondern gibt auch Aufschluss über die Position der einzelnen Instrumente. Die Stützmikrofone werden dementsprechend so gepannt, dass die Platzierung der einzelnen Instrumente mit dem Hauptmikrofon-Signal übereinstimmt.

Bei einer Band aus dem Rock- und Popbereich wird ebenso von der Live-Situation ausgegangen unter Berücksichtigung der Balance zwischen links und rechts. Natürlich hängt die Aufstellung der Band von der Besetzung ab und diese kann stark variieren. Trotzdem gibt es bestimmte Panning-Regeln, die meistens eingehalten werden. So wird z.B. die Bassdrum immer mittig platziert, da diese Position das Ohr am wenigsten irritiert. Die restlichen Schlagzeug-Trommeln werden um die Bassdrum herum positioniert, in der Regel aus der Sicht des Publikums. Die Snare wird dementsprechend leicht rechts positioniert. Da die Snare aber meistens den ganzen Song durchspielt, soll sie nicht allzu stark von der Mitte abweichen, um eine Rechtslastigkeit und Unregelmäßigkeit im Panorama zu vermeiden. Das gleiche gilt auch

für die HiHat, die ebenso rechts von der Bassdrum positioniert wird. Die Toms werden etwas breiter gemischt und die genaue Positionierung und Breite hängen vom persönlichen Geschmack und der Art der Musik ab. Die Räumlichkeit und Stereowirkung des Drumsets wird durch die Overheads verstärkt. Die Overhead-Signale werden in der Regel an die Ränder der Stereobasis gepannt, so dass die Räumlichkeit und Breite vollständig abgebildet werden. Diese Panoramaverteilung der Schlagzeugs ist nur bei einzelner Mikrofonierung der Trommeln möglich und ist weitgehend nicht die einzige Möglichkeit.

Der Bass wird ebenso wie die Bassdrum meistens mittig positioniert, da er in der Regel den Song durchspielt und auf beiden Lautsprecher gleichmäßig zu hören sein sollte. Die restlichen Rhythmusinstrumente wie Gitarre und Keys werden beliebig auf der Stereobasis verteilt und hängen vom persönlichen Geschmack und dem angestrebten Klang ab. Wichtig ist nur, dass die links-rechts-Balance erhalten bleibt. Das gleiche gilt auch für alle Effekt-Signale.

Der Gesang ist ein entscheidender Bestandteil vieler Songs und soll daher über beide Lautsprecher ausgewogen zu hören sein. Daher werden die Vocals meistens auch mittig positioniert. Ausnahmen bilden Duette bzw. mehrere Gesangspuren wie eine 2. Stimme, Dopplungen und Ad Libs mit Effekten, die einen besonderen räumlichen Klang erzeugen sollen.

Es gibt verschiedene Vorgaben und Konventionen bei der Panoramaverteilung einer Musikmischung, aber trotzdem besteht gewisse Freiheit in der Positionierung der Schallquellen. Solange alle Signale einzeln und ohne Übersprechen vorhanden sind, ist Experimentieren mit den Panning-Möglichkeiten erlaubt und ist wie alle veränderbaren Parameter beim Mischen ein kreativ einzusetzendes Instrument, mit dem der gewünschte spezielle Klang eines Musikstückes geschaffen werden kann.

9. Der Hörversuch

9.1 Der Grundgedanke

Im Gegensatz zu den Analyseverfahren, bei denen es um die physikalische Seite dessen, was untersucht werden soll, geht, ist das Ziel eines Hörversuchs, herauszufinden, inwieweit die messtechnisch ermittelten Gegebenheiten tatsächlich empfunden werden bzw. wie sie sich auf das jeweilige Klangbild und den Höreindruck auswirken. Schließlich steht das Hörereignis am Ende der Kette der akustischen Erscheinungen und sollte oberster Prüfstein bezüglich der Qualität eines Schallereignisses sein. Wie jede Sinneswahrnehmung ist die Hörempfindung individuell sehr unterschiedlich und hängt von vielen Faktoren ab. Zur Beurteilung der Hörempfindung werden wahrnehmungspsychologische Experimente durchgeführt und statistisch ausgewertet. Bei der klanglichen Untersuchung der verschiedenen Panning-Möglichkeiten steht die individuelle Hörempfindung natürlich auch im Mittelpunkt. Die messtechnischen Eigenschaften der verschiedenen Stereofonie-Verfahren, sowie die psychoakustischen Theorien erschaffen einen bestimmten Erwartungshorizont bezüglich der Schallereignisse. Die Hörversuche prüfen, inwiefern diese Erwartungen tatsächlich gerechtfertigt werden und welche Auswirkung die verschiedenen Panoramamöglichkeiten auf den Zuhörer haben.

9.2 Die Audiobeispiele

Die Erstellung eines Hörversuchs beginnt in der Regel mit der Erstellung des zu untersuchenden Klangmaterials, das den Versuchsteilnehmern zur Beurteilung dargeboten wird. In diesem Hörversuch sollten Erkenntnisse über den Raumeindruck, die Lokalisationsschärfe und die spezifischen Klangeigenschaften der verschiedenen Panning-Verfahren, gewonnen werden. Um ein plausibles und aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, wurden Beispiele genommen, die sich möglichst stark voneinander unterscheiden. Es wurde ein breites musikalisches Spektrum abgedeckt – von Klassik, über Volksmusik bis zum Jazz. Durch den Einsatz verschiedener Genres, sollten allgemein gültige Ansätze zur Anwendung

der verschiedenen Panning-Möglichkeiten in Musikmischungen gefunden werden.

Die ausgewählten Audiobeispiele hatten eine Länge von maximal 2 Minuten, was den Testpersonen ein schnelles Einhören ermöglichen sollte. Bei der Auswahl der Stücke war zu beachten, dass diese ein musikalisch abgeschlossenes Thema umfassen und außerdem in ihrem musikalischen Gehalt weder zu langweilig noch zu spannend waren, um die Versuchspersonen vom gefragten Kriterium nicht abzulenken. Die Ausschnitte wurden so gewählt, dass die Merkmale, nach denen gefragt wurde, möglichst leicht zu erkennen waren. Die vier Beispiele wurden A1, A2, B und C benannt, um die Versuchspersonen nicht unnötig mit Namen und Informationen zu belasten.

Die ersten zwei Beispiele A1 und A2 bezogen sich auf einen Ausschnitt aus dem Konzert für Klavier und Orchester Nr. 24 c-Moll von Wolfgang Amadeus Mozart. Die Aufnahmen dazu wurden am 26. und 27. Juni 2010 in der Stadthalle Göttingen mit dem Göttinger Symphonie Orchester und der Solistin Gesa Lücker unter Leitung von GMD Christoph-Mathias Mueller gemacht. Bei den Aufnahmen wurden ein Hauptmikrofonsystem und zusätzlich noch Stützmikrofone für die einzelnen Instrumente verwendet, um ein ausgewogenes Klangbild und gute Ortungsschärfe der Schallquellen zu gewährleisten. Für das Hauptmikrofonsystem wurde ein groß AB mit zwei dpa Mikrofonen auf etwa 4m Höhe über dem Dirigenten aufgebaut. Durch die große Entfernung des Hauptmikrofons zum Orchester konnte mehr Diffusschall eingefangen werden und dadurch ein sehr räumliches und ausbalanciertes Ergebnis erzielt werden.

Abbildung 16: Göttinger Symphonie Orchester unter Leitung von GMD Christoph-Mathias Mueller

Das Hauptmikrofon spielt bei Klassik-Aufnahmen eine wichtige Rolle, da der Raumeindruck und der homogene Gesamtklang zur Ästhetik bei klassischer Musik gehören. Die gute Basswiedergabe sowie eine gute Abbildung der Breite des Klangkörpers gehören ebenso zu den Vorteilen des AB- Hauptmikrofonsystems. Die Nachteile des AB-Verfahrens wie die etwas schlechtere Lokalisierbarkeit der einzelnen Schallquellen können mit Hilfe von Stützmikrofonen leicht kompensiert werden. Als Stützen wurden Mikrofone von Schoeps, Neumann und AKG verwendet. Insgesamt wurden 19 Spuren aufgezeichnet. Die Mikrofonsignale wurden mit der Studer 21m Stagebox verstärkt und über das HDSPe MADIface von RME an einen Rechner angeschlossen und dort mit Sequoia aufgezeichnet. Zusätzlich wurden noch ein Spion-Mikrofon und Talkback eingerichtet, um die Kommunikation zwischen dem Dirigenten und der Tonregie zu gewährleisten. Das Orchester saß wie in Abb.17 dargestellt. In der späteren Bearbeitung und Mischung wurde für die Panoramaverteilung eine dem Aufnahmeraum entsprechende Positionierung angewandt.

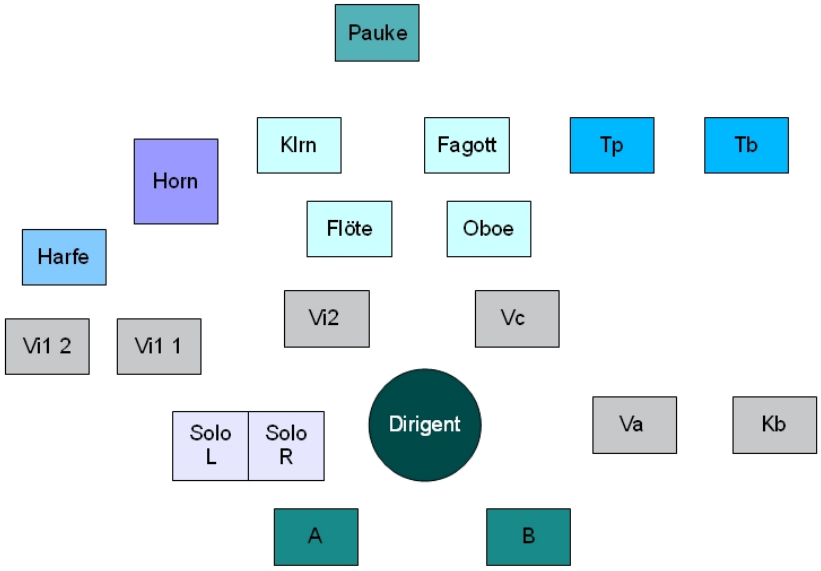

Abbildung 17: Göttinger Symphonie Orchester Sitzplan

Der Schnitt und die Bearbeitung des Audiomaterials wurden mit Sequoia und die anschließende Mischung mit dem Studer Vista 7 Digitalpult durchgeführt. In der ersten Etappe des Mischens wurde zunächst ein transparenter und homogener Mix angestrebt. Die Gesamtmischung bestand zum größten Teil aus dem Hauptmikrofonsignal. Die

Stützmikrofone mussten nur an der korrekten Position platziert und mit Delays bezüglich des AB-Systems verzögert werden, um somit mehr Präsenz und bessere Ortungsschärfe zu gewährleisten. Die Holz- und Blechbläser wurden zusätzlich mit einem Hall versehen, der aber lediglich den Raumeindruck des Hauptmikrofons ergänzen sollte und für Homogenität sorgt. Die frühen Reflexionen und die Nachhallzeit des verwendeten Halls mussten an den Klang des AB-Systems angepasst werden, um die Ortungsschärfe nicht zu beeinträchtigen und eine Fehllokalisation der einzelnen Instrumente zu vermeiden.

Bei der Vorbereitung des Audiomaterials für den Hörversuch wurde zunächst eine klassische Mischung hergestellt. Für die Stützmikrofone wurde der XY-Algortihmus des PanPots am Studer Vista 7 Pult verwendet, wie es auch bei den herkömmlichen Pulten die Regel ist. Die einzelnen Signale wurden entsprechend der Sitzweise des Orchesters positioniert, wobei die zwei Signale des Hauptmikrofons an den zwei extremen Positionen der Stereobasis platziert wurden (A: ganz links und B ganz rechts). In der Mitte wurde die Pauke positioniert. Die restlichen Instrumente wurden im Panorama wie folgend verteilt:

Solo	30 L
Solo R	30 R
Violine1 2	28 L
Violine1 1	15 L
Violine2	8 L
Viola	26 R
Violoncello	16 R
Kontrabass	14 R
Flöte	14 L
Oboe	15 R
Klarinette	7 L
Fagott	7 R
Horn	11 L
Trompete	17 R

Tabelle 1: Panorama-Verteilung der einzelnen Instrumente im Beispiel A

Die so entstandene Mischung wurde den Probanden in den Vorversuchen vorgeführt. Das Verhältnis der einzelnen Signalanteile wurde zwar als ausgewogen und transparent bezeichnet, jedoch waren die Unterschiede beim Umschalten zwischen den verschiedenen Panning-Algortihmen zu gering und konnten sehr schwer eingeschätzt werden. Die Mischung musste daher entsprechend angepasst werden, um die zu untersuchenden Aspekte hervorzuheben. Hierfür wurden die Signale der Stützmikrofone um etwa 5dB lauter bezüglich des Hauptmikrofons eingestellt. Dadurch änderte sich klanglich natürlich die Gesamtmischung, aber für die Zwecke des Hörversuchs war diese Änderung notwendig. Aus der so gefertigten Mischung wurden anschließend für den tatsächlichen Hörversuch 4 Varianten entwickelt.[11] Den Probanden wurde der Unterschied zwischen Beispiel A1 und A2 erst nach dem Versuch mitgeteilt, um mögliche Beeinflussung der Ergebnisse durch Gedächtniseffekte zu vermeiden. Die unterschiedlichen Aspekte der Mischungen in A1 und A2 sollten unabhängig voneinander beurteilt werden.

Das Beispiel B stellt einen Ausschnitt aus dem Lied „Carina“, im Oberkrainer-Stil nach Vorbild von Slavko Avsenik, gespielt von dem Duo „Nebl & Nebl” dar. Zu der Formation „Nebl & Nebl” gehören der Akkordeonist Andreas Nebl und der Klarinettist Frank Nebl. Beide Künstler sind international ausgezeichnete Kammermusiker und verbinden ein klassisches Repertoire mit zeitgenössischer Musik und Elementen aus der Weltmusik. Die Aufnahmen von diesem Audiobeispiel wurden im April 1997 in der Musikhochschule Detmold gemacht. Alle Instrumente wurden einzeln eingespielt und im Overdub-Verfahren aufgenommen. Vom Frank Nebl wurden Klarinette und Bariton eingespielt, sowie Backing-Vocals eingesungen. Gitarre, Akkordeon und Lead-Vocals wurden von Andreas Nebl eingespielt. Die Trompete wurde vom Ruprecht Drees eingespielt.

Für den Hörversuch wurden die Einzelspuren verwendet. Die Bearbeitung wurde mit Sequoia durchgeführt. Der Mix fand am Studer Vista 7 Pult statt. Da alle Signale getrennt im Overdub-Verfahren aufgenommen wurden, war eine beliebige Positionierung der Schallquellen möglich. Die Signale wurden breit in der Stereobasis verteilt, was die Beurteilung der Lokalisationsschärfe und Räumlichkeit sowie des Klangs einzelner Instrumente erleichtert hat:

11 Der genaue Aufbau des Hörversuchs wird im Kapitel 9.7 beschrieben

Akkordeon	17 L
Bariton	12 R
Gitarre	2 L
Klarinette	8 L
Trompete	20 R
Voc 1	4 L
Voc 2	4 R
Voc 3	14 L
Voc 4	14 R
Voc 5	27 L
Voc 6	27 R

Tabelle 2: Panorama-Verteilung der einzelnen Instrumente im Beispiel B

Das letzte Beispiel C ist das Stück „Detektiv Rockford“, komponiert von Mike Post und Pete Carpenter und neu arrangiert von Frank Reichert. Aufgenommen wurde das Stück mit der `Phoenix Foundation`, dem Jugendjazzorchester Rheinland-Pfalz unter der Leitung von Frank Reichert. Die Aufnahmen fanden vom 7.05 bis 10.05.2009 im Tonstudio der Hochschule der Medien in Stuttgart statt. „Detektiv Rockford“ ist eins von 15 Stücken aus der CD „Lachst du noch oder swingst du schon?“.

Abbildung 18: BigBand-Projekt Cover

Die CD ist ein gemeinsames Projekt des Kabarettisten Lars Reichow und des Jugendjazzorchesters Rheinland-Pfalz und ist in Kooperation mit der Hochschule der Medien in Stuttgart entstanden. Das Repertoire der „Phoenix Foundation“ reicht von klassischem Big Band - Jazz über Funk, Rock, Pop bis hin zu neuen Arrangements.

Das ausgewählte Musikstück war sehr gut geeignet für eine Untersuchung der verschiedenen Panning-Verfahren, da es eine Länge von nur 50 Sekunden hat und ein abgeschlossenes musikalisches Thema umfasst. Die große Besetzung - 5 Saxophone, 4 Trompeten, 4 Posaunen, Piano, Bass, Gitarre, Schlagzeug und Percussion - bietet eine spannende Möglichkeit mit der Positionierung der verschiedenen Schallquellen im Stereobild zu experimentieren. Die endgültige Verteilung der Instrumente sah folgend aus:

	BD	SN	HH	T1	T2	OH L	OH R	Perc 1	Perc 2	Bass	Pno L	Pno R	E Git Amp	E Git Solo	E Git DI
PAN	0	0	10 R	17 L	16 R	30 L	30 R	19 L	19 R	0	30 L	30 R	14 L	17 L	30 R
	Ten 2	Ten 2	Alt 1	Alt 2	Bari	Tp 4	Tp 2	Tp 1	Tp 3	Tb 3	Tb 2	Tb 1	Tb 4		
PAN	8 L	13 L	21 L	24 L	29 L	8 L	6 R	9 R	21 R	16 R	20 R	25 R	27 R		

Tabelle 3: Panorama-Verteilung der einzelnen Instrumente im Beispiel C

Bei der Panorama-Verteilung wurden die Instrumente zunächst wie bei einer Live-Konzert Situation positioniert. Die Bassdrum, die Snare und der Bass wurden in der Mitte platziert. Von den Overheads und dem Klavier wurden die Grenzpositionen ganz links und ganz rechts markiert. Die restlichen Instrumente wurden dementsprechend so verteilt, dass das akustische Gleichgewicht erhalten bleibt und ein transparenter Mix entsteht. Die einzelnen Bläsergruppen wurden auch untereinander abgestimmt, so dass die einzelnen musikalischen Elemente und Melodien ausgewogen im Gesamtklang abgebildet wurden. So bilden z.B. die Trompeten und Posaunen ein adäquates akustisches Gegengewicht zu den Saxophonen. Durch

gezielte Frequenzbearbeitung der einzelnen Signale sowie ein präzise eingestelltes Lautstärkeverhältnis wurde die Durchhörbarkeit der Gesamtmischung gewährleistet. Wie auch bei den restlichen Audiobeispielen wurde zunächst ein Mix mit dem XY-Algorithmus des Panoramareglers hergestellt. Anschließend wurden 4 Stereobounces mit den gleichen Einstellungen und Panoramapositionierungen, aber unterschiedlichen Panning-Algorithmen ausgespielt.

Im letzten Schritt der Vorbereitung des Audiomaterials wurde ein Sequoia-Projekt für den Hörversuch angelegt. In diesem Projekt waren alle vier Audiobeispiele in der passenden Reihenfolge enthalten. An dem Studer Vista 7 Pult wurde ebenso ein Snapshot angelegt, der dem Sequoia-Projekt entsprach. Bei den Hörversuchen bestand keine Möglichkeit, die Lautstärkeverhältnisse oder andere Parameter der Musikmischung zu ändern, wodurch für alle Probanden das absolut gleiche Audiomaterial gesichert wurde.

9.3 Die Probanden

Einer der entscheidenden Aspekte eines Hörversuchs sind natürlich die Versuchspersonen. Um ein möglichst plausibles und aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, wurde eine Mindestanzahl von 20 Testpersonen vorausgesetzt. An den Hörversuchen haben schließlich 28 Personen teilgenommen.

Alle Probanden wurden mit einer persönlichen Email eingeladen. In der Email wurde grob das Vorhaben skizziert und die zur Verfügung stehenden Termine sowie die Dauer des Versuches mitgeteilt. Interessierten wurden nach dem Abschluss des Hörversuchs die Details zu den einzelnen Audiobeispielen vorgestellt und später die Ergebnisse präsentiert.

Die Hörversuche wurden anonym durchgeführt. Im ersten Teil des Fragebogens wurden nur persönliche Angaben gefordert, die für die Auswertung der Ergebnisse eine Rolle spielen. Als relevante Informationen wurden Alter, Beruf und Studienfach sowie Musikgeschmack und das Beherrschen eines Musikinstrumentes bedacht.

Mit dem Alter ändert sich die Wahrnehmung von Musik, deshalb war ein breites Altersspektrum gute Voraussetzung für das Erreichen eines allgemeingültigen Ergebnisses. Das Alter der Probanden lag zwischen 20 und 50 und das Durchschnittsalter betrug 27 Jahre.

Als nächstes, wichtiges Kriterium wurde der Beruf bzw. das Studienfach der Versuchsteilnehmer betrachtet. Die Vorversuche hatten erwiesen, dass im Audiobereich unerfahrene Personen für diese Versuche ungeeignet sind, da die ausgewählten Audiobeispiele sowie der Fragebogen bestimmte Kenntnisse und gewisse Hörerfahrung voraussetzten. Es wurden deswegen gezielt Personen ausgewählt, die im Medienbereich tätig sind und mit den Grundlagen der Tontechnik vertraut sind. 84% aller Teilnehmer waren Studenten der Hochschule der Medien, Studiengang Audiovisuelle Medien Bachelor (73%) bzw. Electronic Media Master (11%). Die meisten dieser Studenten hatten bereits eine Studioproduktion im Bereich Ton absolviert und sich intensiv mit tontechnischen Fragen beschäftigt.

Um den Personenkreis über Studenten hinaus zu erweitern, wurden auch Toningenieure und Tonmeister im Raum Stuttgart eingeladen sowie Professoren und Mitarbeiter der HdM.

Der persönliche Musikgeschmack wurde als nächster Faktor berücksichtigt. Studien auf dem Gebiet der Psychoakustik und Wahrnehmungstheorie haben erwiesen, dass der Bekanntheitsgrad eines Schallereignisses maßgeblich die Wahrnehmung beeinflusst. Somit können Personen, die viel Klassik hören, die Qualität und Eigenschaften dieses Musikgenres viel besser beurteilen, als Leute die andere Musikrichtungen bevorzugen.

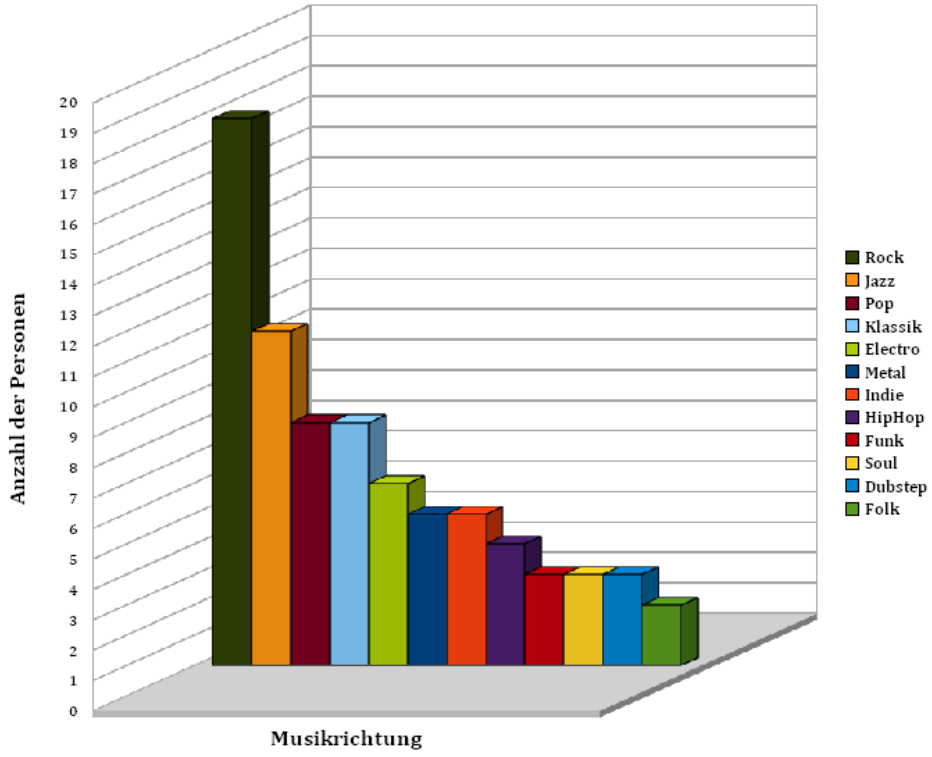

Abbildung 19: Bevorzugte Musikrichtungen der Testpersonen

Die meisten Versuchsteilnehmer haben Rock als beliebteste Musikrichtung angegeben. Jazz, Pop und Klassik wurden auch oft als gerne gehörte Genres angegeben. Elektronische Musik, Metal, Funk und Hiphop waren ebenfalls dabei und dadurch ergab sich ein sehr breites musikalisches Spektrum. Die Vielfältigkeit des Musikgeschmacks der Probanden lässt darauf schließen, dass die Testpersonen mit verschiedenen Musikrichtungen umgehen können und ein aussagekräftiges Ergebnis liefern.

So wie das Hören von unterschiedlicher Musik die Wahrnehmung beeinflusst, ist auch das Beherrschen eines Musikinstrumentes maßgebend. Leute, die selber ein Instrument spielen, empfinden Musik ganz anders. Jemand, der z.B. Bass spielt tendiert dazu in einer Mischung unbewusst viel mehr auf den Bass zu achten, als jemand der kein Instrument spielt. Auch der Klang der einzelnen Instrumente wird durch Personen, die mit einem Instrument vertraut sind, anders beurteilt.

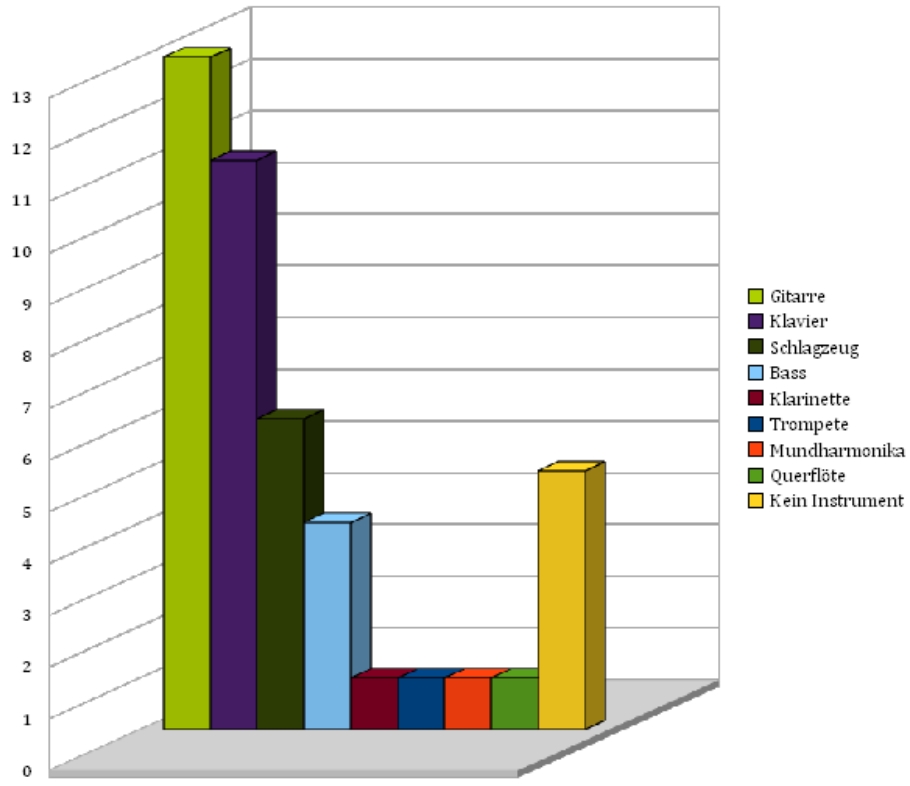

Abbildung 20: Von Probanden gespielte Musikinstrumente

9.4 Der Fragebogen

Zu den entscheidenden Elementen eines Hörversuchs gehört ein ausgearbeiteter und gezielt formulierter Fragebogen. Jedes Hörereignis, das einen Bezug zum physikalischen Ereignis hat, wird im Hörer selbst erzeugt. Da es sich nicht wie eine physikalische Größe messen lässt, muss man sich das Hörereignis vom Hörer beschreiben lassen. Der Hörer ist somit gleichzeitig Messobjekt und "Messgerät". Um ein eindeutiges Ergebnis zu erzielen, müssen entsprechende Fragen mit einer passende Skala für die „Messung“ geschaffen werden. Im Hörversuch sollten die verschiedenen Panning-Möglichkeiten unter unterschiedlichen Aspekten untersucht und verglichen werden. Da die Wahrnehmung von Musik sehr stark durch die individuellen Empfindungen und Geschmack geprägt ist, war es sehr wichtig Fragen zu formulieren, die objektive Ergebnisse liefern, aber auch die persönlichen Eindrücke einbeziehen. Für alle vier Audiobeispiele wurden folgende sechs Fragen entwickelt:

- Hören Sie einen Unterschied?
- Bei welcher Variante ist der Unterschied am größten?
- Welche Variante gefällt Ihnen am besten?
- Wie beurteilen Sie die Lokalisationsschärfe der einzelnen Schallquellen?
- Wie beurteilen Sie die Räumlichkeit der einzelnen Varianten?
- Wie beurteilen Sie den Klang der einzelnen Varianten?[12]

Die gleichen Fragen für alle Audiobeispiele haben einerseits ein schnelles Einlesen der Probanden und andererseits eine nachvollziehbare Bewertung aller Beispiele anhand von gleichen Kriterien ermöglicht. Alle Fragen wurden so formuliert, dass keine Missverständnisse entstehen konnten und das Herausfinden der gewollten Information gewährleistet war. Um die Blätter übersichtlich zu halten und damit die Konzentration zu fördern, wurde auf schriftliche Anweisungen verzichtet und die Beantwortung in einer Tabelle vorgegeben. Durch die Moderation war es gut möglich, gezielt auf bestimmte Details hinzuweisen.

Für die Beantwortung der Fragen wurden weiterhin Vorgaben gemacht, um die Vielfalt der Antwortmöglichkeiten einzuschränken und in konkrete Bahnen zu lenken, jedoch ohne die Empfindungen der Probanden zu manipulieren. Dafür musste also eine passende Antwortskala

12 Vollständiger Fragebogen, siehe Anhang S.89

entwickelt werden.

In einer Nominalskala werden Objekte anhand ihrer Merkmale klassifiziert. Eine qualitative Unterscheidung (wie z.B. „gut“ oder „besser“) ist hierbei nicht möglich. Mit dieser Skala können also nur Häufigkeiten angegeben werden, was für den Zweck dieses Hörversuch unzureichend war.

Mit einer Ordinalskala kann man Unterschiede in der Intensität von Objekten feststellen. In dieser Skala gibt es keine definierte Messeinheit und das Resultat beschreibt eine Tendenz, die die Merkmalausprägungen charakterisiert. Die Lokalisationsschärfe und die Räumlichkeit sind zwei relative Größen, die sehr stark von der individuellen Wahrnehmung abhängen. Mit der Ordinalskala könnten diese zwei Faktoren einheitlich beschrieben werden. Die Merkmale Lokalisationsschärfe bzw. Räumlichkeit wurden vorgegeben und die Versuchsperson musste lediglich die Ausprägung dieses Merkmals definieren.

Bei der letzten Frage bezüglich des Klangs der einzelnen Varianten wurde sowohl eine Nominal- als auch eine Ordinalskala verwendet. Es wurden eindeutige Antworten vorgegeben, die den Hörer auf bestimmte Aspekte aufmerksam machen sollten. Ein mehrfaches Ankreuzen war bei dieser Frage gestattet, da die Antworten keine sich gegenseitig ausschließende Eigenschaften darstellten.

Die ersten drei Fragen des Fragebogens wurden etwas allgemeiner Formuliert, um das Einhören der Probanden zu erleichtern und ein grobes Einstufen zu ermöglichen. Zunächst war die schlichte Feststellung eines Unterschiedes wichtig und dafür hat sich eine Ordinalskala mit fünf Stufen (nein/ kaum/ etwas/ deutlich/ erheblich) angeboten. Diese Antwortmöglichkeiten lassen dem Hörer gewissen Spielraum und geben zusätzlich noch Aufschluss über die Intensität des gefragten Kriteriums. Anschließend sollte jeder Proband subjektiv eine Variante auswählen, die sich am meisten von den anderen unterscheidet und eine, die ihm am besten gefällt.

Diese drei allgemeine Fragen versicherten den Versuchspersonen, dass es sich beim Hörversuch nicht um einen Test mit richtigen und falschen Antworten handelt, sondern dass die persönliche Meinung gefragt ist. Dadurch konnten sich die Probanden entspannen und die darauf folgenden konkreten Fragen konzentrierter beantworten.

Bei jedem Audiobeispiel gab es noch die Möglichkeit persönliche Anmerkungen zu den einzelnen Varianten aufzuschreiben. Der Zuhörer hat somit die Möglichkeit, sein Klangempfinden in kurzen Stichpunkten festzuhalten, um damit einerseits die Ursache für seine Entscheidung nachvollziehbar zu machen und andererseits durch zusätzliche Informationen seine Hörempfindung zu verdeutlichen. Eine statistische Auswertung jener Angaben ist zwar nicht möglich, jedoch können diese das spätere Ergebnis sinnvoll ergänzen. Die Antworten der Probanden werden im Abschnitt 9.8 detailliert beschrieben.

9.5 Die Vorversuche

Um herauszufinden, ob die verschiedenen Panning-Möglichkeiten Reaktionen verursachen und bestimmte klangliche Ergebnisse liefern, wurden zunächst vor dem eigentlichen Hörversuch Vorversuche mit einigen Testpersonen durchgeführt. Mit den Ergebnissen der Vorversuche konnten die Audiobeispiele sowie der Fragebogen für den eigentlichen Hörversuch optimiert werden.

Der Vorversuch diente dazu zu testen, ob bei einigen ausgewählten Versuchspersonen überhaupt klangliche Unterschiede zu erkennen sind. Wichtig waren die spontanen Reaktionen und Empfindungen der Probanden, deswegen wurde vor den Versuchen nur das Thema, aber nicht das genaue Vorhaben mitgeteilt. Die Probanden durften in freier Form ihre Eindrücke aufschreiben. Gezielt wurden keine ausformulierte Fragen gestellt, um auch keine bestimmte Antwort zu suggerieren. Aus den Ergebnissen der Vorversuche wurden Begriffe entnommen, die in jeder Antwort vorhanden waren. Die späteren Fragen des eigentlichen Hörversuchs bezogen sich auf diese Begriffe.

Bereits die ersten Ergebnisse der Vorversuche haben erwiesen, dass die klanglichen Unterschiede in den ursprünglichen Mischungen zu gering waren und dadurch auch schwer eindeutig zu definieren. Für den eigentlichen Hörversuch wurden dementsprechend Korrekturen in den Mischungen vorgenommen, um die Unterschiede zu verdeutlichen. Auch die Länge der Audiobeispiele wurde verändert. Kürzere Ausschnitte, die öfters abgespielt werden, sind besser geeignet, da der Hörer dadurch die Möglichkeit hat, in dem bereits bekannten Ausschnitt sich auf die klanglichen Unterschiede besser zu konzentrieren. Dies

entspricht der Empfehlung der ITU, die darauf hinweist, dass das mittel- und langfristige auditive Gedächtnis keine verlässliche Quelle für Hörversuche ist. Es wird empfohlen mit möglichst kurzen Beispielen zu arbeiten. [13]

Das Audiobeispiel A wurde nach den Vorversuchen in zwei getrennte Beispiele aufgeteilt – zunächst eine Mischung nur aus den Signalen der Stützmikrofone und anschließend eine Mischung, die auch das Hauptmikrofonsignal enthält. Diese Aufteilung hat sich als sinnvoll erwiesen, da dadurch nicht nur die Panorama-Eigenschaften sondern auch der Zusammenhang zwischen Haupt- und Stützmikrofonen bei einer Klassik-Mischung untersucht werden konnte.

Dank des Vorversuchs ließen sich viele Schwierigkeiten beseitigen und die Durchführung des tatsächlichen Hörversuchs konnte optimiert werden.

9.6 Die Erwartungen

Jeder Versuch dient dazu, bestimmte messtechnische Gegebenheiten zu ermitteln und deren Gültigkeit zu prüfen. Auch in diesem Hörversuch sollte festgestellt werden, ob die typischen Eigenschaften der verschiedenen Stereofonie-Verfahren bei entsprechendem Panning zur Geltung kommen. Durch die technischen Daten und Hörerfahrungen haben sich im Laufe der Vorbereitung des Hörversuchs bestimmte Erwartungen entwickelt.

Im Beispiel A1 ist durch die große Anzahl der einzelnen Schallquellen ein längeres Einhören notwendig. Durch die Vielseitigkeit des Audioausschnittes ist auch eine eindeutige Bestimmung der besten Variante erschwert. Da in diesem Beispiel nur das Signal der Stützmikrofone verwendet wurde, durfte sich die Variante 4 am meisten unterscheiden. Bedingt durch die Hörerfahrung der Probanden wird erwartet, dass eine Klassikmischung gewissen räumlichen Eindruck hat. Bei dem XY-Paninng der Stützen ist zwar gute Lokalisierbarkeit gewährleistet, aber die Räumlichkeit geht durch die reinen Pegeldifferenzen verloren. Die Variante 2 (ORTF) kombiniert gute Lokalisierbarkeit und Räumlichkeit und könnte von vielen Testpersonen als die ausgewogenste und meist geeignete charakterisiert werden.

13 ITU-R BS.1116-1, Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems, Rec., (1994-1997), International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland

Im Beispiel A2 sind die Unterschiede etwas schwieriger herauszuhören, da die vier Varianten das Signal des AB-Hauptmikrofonsystems und der Stützmikrofone beinhalten. Die Stützmikrofonsignale sind deutlich leiser in der Gesamtmischung wodurch es natürlich schwerer fällt, deren Besonderheiten zu definieren. Die meist verbreitete und bei Klassik verwendete Konstellation besteht aus einem AB-Hauptmikrofon und Stützmikrofonen im XY-Verfahren. Durch die Hörgewohnheit dürfte also die Variante 4 als die beste Variante empfunden werden, da sie sowohl einen guten räumlichen Eindruck durch das Hauptmikrofon vermittelt, sowie eine ausreichende Präsenz und Ortungsschärfe durch die Stützmikrofone aufweist.

Im Beispiel B wurde ein leicht herauszuhörender Unterschied erwartet, da der Musikausschnitt weniger anspruchsvoll gestaltet ist. Die Mischung besteht aus wenigen einzelnen Schallquellen, die sehr breit im Panorama verteilt wurden, was die Lokalisierung deutlich erleichtern sollte. Auch die Beurteilung der Räumlichkeit ist in einem transparentem Mix einfacher. Variante 3 mit reiner Laufzeit-Stereofonie scheint gut geeignet, da durch die übersichtliche Anzahl an Instrumenten die Lokalisationsschärfe nicht negativ beeinflusst wird und ein homogener räumlicher Klang entsteht.

Im Beispiel C ist wiederum durch die große Anzahl an Schallquellen die Variante 3 eher ungeeignet, da die Ortungsschärfe möglicherweise verloren geht und Kammfiltereffekte durch das Übersprechen der Signale entstehen können.

Ob sich diese Erwartungen im Hörversuch bestätigt haben, wird im Kapitel 9.9 erläutert. Natürlich spielen bei der Beurteilung einer Musikmischung der persönliche Geschmack und die individuelle Hörerfahrung eine große Rolle, deswegen sind auch starke Abweichungen von den erwarteten Ergebnissen sehr interessant und liefern wichtige Informationen.

9.7 Durchführung des Hörversuchs

Die Hörversuche fanden zwischen dem 14.02.2011 und dem 18.02.2011 ganztägig in dem Tonstudio der HdM statt. Für jeden Probanden wurden 45 Minuten eingeplant. 7 Minuten Begrüßung und Erklärung des Ablaufes, 25-30 Minuten für den tatsächlichen Versuch und 5 Minuten Nachbesprechung und Verabschiedung.

Da es für den Zweck der Versuche wichtig war, dass jeder Proband im Sweet Spot[14] vor dem Studer Vista 7 Pult sitzt, wurden die Versuche einzeln durchgeführt. Jeder Proband wurde persönlich begrüßt und in den Testraum geführt. Ein kleiner Smalltalk und grobe Erklärung des Vorhabens sollten die Testpersonen in die Situation einführen und entspannen. Als Erstes durfte jede Person die persönlichen Angaben im Fragebogen ausfüllen.

Als nächstes wurden der Fragebogen sowie der genaue Ablauf des Versuchs erläutert. Die einzelnen Fragen wurden wie in Abschnitt 9.4 vorgestellt. Die Autorin dieser Arbeit war während der Versuche immer im Raum, aus Sicht der Testperson rechts sitzend. Die Monitore des Rechners wurden von der Testperson weggedreht, um nicht abzulenken.

Abbildung 21: Sitzposition der Probanden während des Hörversuchs

Der Fragebogen bezog sich auf vier Audiobeispiele, die in Kapitel 9.2 beschrieben wurden. Für den Hörversuch wurde in Sequoia ein Projekt angelegt, das aus vier Musikausschnitten mit jeweils vier Stereospuren bestand. Jede Spur beinhaltete einen Stereodownmix eines Musikausschnittes mit einer entsprechenden Panning-Einstellung. Für alle vier Audiobeispiele wurde die gleiche Reihenfolge der Spuren festgelegt – 1: Sphere, 2: ORTF, 3: AB und 4: XY.

14 Siehe Kapitel 4.2

Bei Beispiel A2 wurde zusätzlich noch eine Spur angelegt, die den Downmix vom AB-Hauptmikrofon beinhaltet. Zu dem Sequoia-Projekt wurde ein entsprechendes Setup auf dem Studer Vista 7 Pult erstellt. Es wurden 4 vier Stereospuren angelegt, die den Spuren aus dem Sequoia-Projekt entsprachen. Die Spuren wurden Variante 1 bis 4 benannt, um den Probanden die Zuordnung im Fragebogen zu erleichtern. Jeder Proband konnte im eigenen Tempo zwischen den verschiedenen Varianten mit der Solo-Taste hin- und herschalten und sich die Beispiele auch nach eigenem Bedarf beliebig oft vorspielen lassen. Bei Audiobeispiel A2 wurde zwischen vier Gruppen umgeschaltet. Jede Gruppe bestand aus einem Stereomix der Stützmikrofone und der Stereospur des Hauptmikrofons. Abgehört wurde auf den Studiolautsprechern Adam S2A. Der Bereich mittlerer Lautstärke entspricht einem Schallpegel von ungefähr 70 - 80 dB. Um ein gutes Hören des Signals zu gewährleisten, wurde eine Abhörlautstärke von 84 dB gewählt. Die Untersuchungsbedingungen (Raum, Beleuchtung, Geräusche, Arbeitsmaterial) blieben gleich, damit jeder Proband die gleiche experimentelle Situation erlebte und der Versuch planbar und auch ohne Probleme jederzeit wiederholbar wäre.

Die Probanden durften die Fragen zu jedem Beispiel in beliebiger Reihenfolge beantworten, da die Vorversuche ergeben hatten, dass verschiedene Aspekte von verschiedenen Personen unterschiedlich leicht erkannt werden.

9.8 Auswertung und grafische Aufbereitung

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des Hörversuchs vorgestellt. Da die Beurteilung der Panning-Varianten sehr stark vom Musikgenre, der Besetzung und der Art des Audiomaterials abhängt, werden die Antworten zu den einzelnen Fragen bei allen vier Beispielen miteinander verglichen.

In der ersten Frage sollten die Probanden definieren, inwiefern ein Unterschied zwischen den angebotenen Varianten erkennbar ist. In den vier Varianten wurden für alle Beispiele folgende Panning-Algorithmen verwendet: Variante 1 – Kugelflächenmikrofon, Variante 2 - ORTF, Variante 3 – AB, Variante 4 – XY.

Etwa 30% aller Probanden haben bei allen vier Audiobeispielen einen Unterschied gehört. Im

Beispiel B konnte der Unterschied am einfachsten festgestellt werden, was natürlich mit dem Charakter des Audioausschnittes zusammenhängt: Die übersichtliche Anzahl an Schallquellen, die sehr breit im Stereopanorama positioniert wurden, sowie der nachvollziehbare einfache musikalische Aufbau des Musikstückes waren eine gute Voraussetzung für die klare Unterscheidung der vier Varianten.

Im Gegenteil dazu waren die Unterschiede im Audiobeispiel A2 für etwa 25% aller Probanden schwierig herauszuhören, was an der Zusammensetzung des Audiomaterials lag. Die Mischung aller vier Varianten bestand aus dem gleichen Hauptmikrofonsignal und den Signalen der Stützmikrofone mit dem entsprechenden Panning-Algorithmus. Der Gesamtklang wurde hauptsächlich vom Hauptmikrofon beeinflusst und dadurch waren die zu untersuchenden Unterschiede sehr dezent und schwer erkennbar. Im Beispiel A1 und Beispiel C konnten je nach Hörerfahrung von den meisten Versuchsteilnehmern Unterschiede erkannt werden. [15]

In der darauf folgenden Frage sollte eine Variante benannt werden, die sich klanglich am meisten unterscheidet. Das Ziel dieser Frage war festzustellen, ob eine bestimmte Panning-Variante klanglich hervorgehoben wird. Es wurden keine genauen Kriterien zur Unterscheidung vorgegeben, um die Probanden nicht zu beeinflussen und die erste spontane Antwort zu bekommen. Mit dieser Frage konnten auch die Zuverlässigkeit und Gültigkeit der Ergebnisse geprüft werden. Die Zuverlässigkeit ist dann gegeben, wenn ein Versuch bei wiederholter Anwendung in geringem zeitlichen Abstand zum gleichen Resultat führt. Mit der Gültigkeit wird bestimmt, in welchem Maße ein Versuchsergebnis tatsächlich das Resultat eines beobachteten Phänomens darstellt. Sind diese Kriterien eingehalten ist es möglich, die Versuchsergebnisse in zusammenfassenden Aussagen zu verallgemeinern. Trotz des unterschiedlichen Aufbaus und musikalischer Zusammensetzung der Audioausschnitte haben sich bei dieser Frage für alle vier Beispiele ähnliche Antworten ergeben.

15 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb.24-27 im Anhang zu sehen

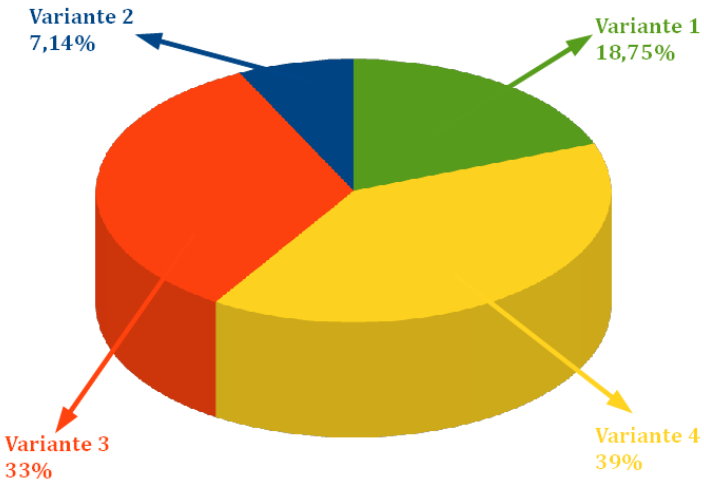

Abbildung 22: Der größte Unterschied

39% aller Probanden haben den größten Unterschied der Variante 4 zugeordnet, 33% der Variante 3. Die reinen Pegeldifferenzen bei Variante 4 sowie die reinen Laufzeitdifferenzen bei Variante 3 charakterisieren also zwei Verfahren, die sich klanglich deutlich hervorheben. Variante 2 wurde von nur etwa 7% als sich stark unterscheidend bezeichnet, was natürlich daran liegt, dass das verwendete ORTF- Verfahren die Eigenschaften von Laufzeit- und Intensitäts-Stereofonie in sich vereint und klangliche Ähnlichkeiten zur Variante 3 und Variante 4 aufweist. Variante 1 wurde von 19 % aller Probanden gewählt, was ein Hinweis darauf ist, dass die spektralen Unterschiede bei dem Kugelflächenmikrofon auch eine deutliche klangliche Auswirkung haben.

In der darauf folgenden Frage wurden die Probanden aufgefordert eine Variante zu benennen, die ihrer Meinung nach für den bestimmten musikalischen Ausschnitt am besten geeignet ist. Da die Beurteilung vom Klang sehr stark von dem persönlichem Geschmack abhängt, waren auch die individuellen Vorlieben der Testpersonen bei allen vier Audiobeispielen sehr unterschiedlich. Dasselbe Schallereignis wird von jeder Person unterschiedlich wahrgenommen und dementsprechend ist die Streuung der Ergebnisse auch sehr stark. Wesentlich ist, bei der Auswertung herauszufinden, ob sich aus den Ergebnissen ein Trend ableiten lässt. Bei allen vier Audiobeispielen wurde Variante 1 von durchschnittlich 36,5% aller Probanden als die Beste

empfunden. Variante 3 mit 37,25% wurde somit die beliebteste Variante. Variante 2 mit 13,5% und Variante 4 mit 10,75% stellten sich als relativ uninteressant heraus. [16]

Im zweiten Teil des Hörversuchs sollten mit gezielten Fragen konkrete Eigenschaften der vier Panning-Möglichkeiten untersucht werden. Zunächst sollten die Probanden die Lokalisationsschärfe der einzelnen Varianten in jedem Beispiel beurteilen. Dazu wurde eine dreistufige Skala vorgegeben – schlecht lokalisierbar/etwas lokalisierbar/eindeutig lokalisierbar. Allerdings wird eine derartige Skala unter Umständen von den Testpersonen unterschiedlich ausgenutzt. Häufig verzichten Probanden auf die Verwendung der Extreme und wählen Antworten im mittleren Bereich der Skala (*zentrale Urteilstendenz*). Die Versuchsperson möchte damit verhindern, dass sie im Testverlauf von einem Signal extremer Ausprägung überrascht wird, für das dann aber keine Kategorie mehr zur Verfügung steht. [17] Auch die Charakterisierung schlecht/etwas/eindeutig wird von verschiedenen Personen unterschiedlich eingestuft und kann zu einer großen Streuung in den Ergebnissen führen. Im Audiobeispiel A1 haben sich 42% aller Probanden für den mittleren Bereich der Skala entschieden. 36% konnten bei allen vier Varianten die Schallquellen genau orten und nur 19% schlecht.

Die einzelnen Varianten wurden auch sehr unterschiedlich bewertet. Variante 1 hat für 53% aller Testpersonen die beste Lokalisationsschärfe. Das ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die spektralen Unterschiede zwischen den Signalen, die bei dem KFM-Algorithmus berücksichtigt werden, eine wichtige Rolle für die Ortung der Schallquellen spielen. Die reinen Pegeldifferenzen bei Variante 4, die ebenso eine gute Lokalisierbarkeit voraussetzen, haben im Beispiel A1 nur bei 32% aller Probanden eine eindeutige Ortung ermöglicht. Die schlechteste Lokalisierbarkeit hat Variante 3 erwiesen, was an dem großen Anteil inkohärenter Signale bei reiner Laufzeit-Stereofonie liegt. Variante 2 liegt mit 50% Lokalisationsschärfe im mittleren Bereich der Skala. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass ORTF als Kombination aus Laufzeit- und Pegeldifferenzen einen guten Kompromiss für die Ortungsschärfe darstellt. [18]

Im Beispiel A2 wurde die Lokalisationsschärfe der einzelnen Varianten ähnlich bewertet. 57% aller Probanden konnten die Schallquellen in Variante 1 eindeutig lokalisieren, 32% bei Variante 4. Somit ist die Ortungsschärfe bei KFM-Alogrithmus sowie bei XY am besten.

16 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 32-35 im Anhang zu sehen
17 Durchführung von Hörversuchen, HEAD acoustics, Application Note
18 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 36 im Anhang zu sehen

Variante 3 stellt mit 39% aller Stimmen die Mischung mit der schlechtesten Lokalisierbarkeit dar. Variante 2 liegt wieder mit 50% im mittleren Bereich der Skala. Die Ergebnisse zu dieser Frage im Beispiel A2 weisen darauf hin, dass die Lokalisationsschärfe in einer Klassikmischung von den Signalen der Stützmikrofone sehr stark abhängt. Die Panning-Algortihmen mit einer guten Ortung der einzelnen Schallquellen ergeben auch in Zusammenhang mit einem Hauptmikrofonsignal einen transparenten und gut lokalisierbaren Mix. [19]

Im Audiobeispiel B wurde Variante 1 von 68% aller Probanden als eindeutig lokalisierbar eingestuft. Auch bei Variante 2 konnten 50% aller Testpersonen die einzelnen Schallquellen eindeutig orten. An dieser Stelle wird der Unterschied zu der Klassik-Mischung deutlich. Bei einer kleineren Besetzung wie in dem Stück „Carina“ erscheint der ORTF-Algorithmus als besser lokalisierbar als der XY-Algortihmus. Variante 3 bleibt prozentual nach wie vor am schlechtesten lokalisierbar, was wieder die Eigenschaften des AB-Verfahrens bestätigt.[20] Aufgrund der ähnlichen Häufigkeiten ist im Beispiel C schwer eine eindeutige Tendenz festzustellen. Obwohl alle Testpersonen bereits Erfahrung im Tonbereich haben, sind die Antworten relativ gleichmäßig auf die gesamte Skala verteilt. Das ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Beurteilung der Lokalisationsschärfe eine sehr anspruchsvolle Aufgabe ist, die viel Hörerfahrung und musikalische Kenntnisse erfordert. Die große Besetzung bei der Big Band und der sehr dynamische Aufbau des Musikstückes erschweren die Beurteilung der Lokalisation der einzelnen Schallquellen. Die prozentualen Unterschiede spiegeln nur in etwa die Eigenschaften der verwendeten Algorithmen. 57% aller Probanden haben die Ortung bei Variante 1 als eindeutig charakterisiert und 46% bei Variante 4. Variante 3 ist mit 32% wieder die am schlechtesten lokalisierbare. Variante 2 bleibt mit 57% im mittleren Bereich der Skala und weist auf einen geringen Ausprägungsgrad der Eigenschaft „Lokalisierbarkeit“ bei dem ORTF-Algortihmus hin. [21]

Ein weiteres Kriterium zur Charakterisierung der verschiedenen Panorama-Möglichkeiten ist die Räumlichkeit. In dem Hörversuch sollten die Testpersonen in einer vier-stufigen Skala (nicht räumlich/ kaum räumlich/ etwas räumlich/ sehr räumlich) die vorliegenden vier Audiobeispiele bewerten.

19 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb 37 .im Anhang zu sehen
20 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb 38 .im Anhang zu sehen
21 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 39 im Anhang zu sehen

Im Beispiel A1 wurden alle vier Varianten vorwiegend als etwas oder sehr räumlich charakterisiert. Variante 1 wurde von 46% aller Testpersonen als sehr räumlich eingestuft, was mit den technischen Gegebenheiten des KFM zu begründen ist. Auch die Räumlichkeit des AB-Algorithmus wurde wie erwartet von einer Großzahl aller Probanden erkannt. Allerdings hat die Variante 3 keine eindeutige Mehrzahl erzielt, wie man es bei reiner Laufzeit-Stereofonie erwarten könnte. Die Räumlichkeit in Variante 2 wurde sehr ähnlich zu Variante 3 bewertet, was ein deutlicher Hinweis auf die klangliche Ähnlichkeit zwischen AB und ORTF ist. Variante 4 wurde von 46% aller Versuchsteilnehmer als kaum räumlich bewertet, was mit den Eigenschaften von Intensitäts-Stereofonie übereinstimmt.[22]

Im Beispiel A2 ist der Raumeindruck hauptsächlich durch das Hauptmikrofonsystem geprägt, deswegen ist es besonders interessant herauszufinden, wie sich die Signale der Stützen und des Hauptmikrofons auf den Gesamtklang auswirken.

Variante 1 wurde von 64% aller Probanden als sehr räumlich eingestuft und stellt somit auch die räumlichste Mischung dar. Variante 2 und Variante 4 liegen mit 54% im Bereich „etwas räumlich“ und zeigen sich damit als eine gute Möglichkeit für das Verhältnis von Stütz- und Hauptmikrofon-Signalen. Variante 3 wurde überraschend von 54% als kaum räumlich bewertet. Der AB-Algorithmus für die Stützmikrofone kombiniert mit einem AB-Hauptmikrofon liefert dementsprechend keine befriedigende Ergebnisse und ist für eine Klassik-Mischung nicht geeignet. [23]

Im Beispiel B kann bezüglich der Räumlichkeit sehr schwer eine eindeutige Tendenz formuliert werden. Der Musikausschnitt im Beispiel B wurde im Overdub-Verfahren aufgenommen, d.h. von den einzelnen Schallquellen wurde lediglich der direkte Schall aufgezeichnet. Der Raumeindruck in der Mischung wurde also ausschließlich mit künstlichem Hall (mit dem Bricasti M7 Hall-Prozessor und dem TC Electronic System 6000) erzeugt. Die Beurteilung vom künstlichen Hall ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe und hängt sehr stark von der Hörerfahrung und dem persönlichen Geschmack ab. Auch die Ergebnisse des Hörversuchs bestätigen diesen Trend. Die Angaben variieren sehr stark und somit sind alle vier Variante von ungefähr der gleichen Anzahl an Probanden als sehr, etwas oder kaum räumlich

22 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 40 im Anhang zu sehen
23 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 41 im Anhang zu sehen

beurteilt. Variante 4 wurde von 25% aller Versuchsteilnehmer als sehr räumlich eingestuft und von 25% als nicht räumlich. Dieses Ergebnis zeigt nochmal sehr deutlich, dass die Beurteilung der Räumlichkeit nur auf dem individuellem Empfinden der Probanden beruht und die Besonderheiten der verschiedenen Panning-Möglichkeiten sich bei diesem Musikbeispiel nicht bemerkbar machen. [24]

Die Ergebnisse im Audiobeispiel C schildern wieder die Tendenz aus Beispiel A. Variante 1 wurde von 50% und Variante 3 von 39% aller Probanden als sehr räumlich bewertet. Damit zeigt sich erneut, dass KFM sowie AB-Algorithmus einen sehr guten räumlichen Eindruck bei großer Besetzung vermitteln. Variante 4 wurde überwiegend als kaum oder nicht räumlich beurteilt, was wieder auf die typischen Eigenschaften von Intensitäts-Stereofonie hinweist. Variante 2 wurde von 60% aller Probanden als etwas räumlich eingeschätzt und stellt damit eine Panning-Möglichkeit mit sehr ausbalanciertem Räumlichkeit-Lokalisationsschärfe-Verhältnis dar. [25]

In der letzten Frage wurden die Versuchsteilnehmer aufgefordert den Gesamtklang der vier Audiobeispiele zu beurteilen. Neben dem Kriterium ausgewogen - unausgewogen, konnte noch das Frequenzspektrum und das Verhältnis der einzelnen Schallquellen charakterisiert werden. Die persönlichen Bemerkungen der Teilnehmer wurden für die Auswertung dieser Frage herangezogen.

Im Beispiel A1 wurden aller vier Varianten von den meisten Probanden als ausgewogen bewertet. Manche Frequenzbereiche wurden von etwa 17% aller Probanden als überlastet und einzelne Instrumente und Instrumentengruppen als sehr prägnant charakterisiert, was aber für den Gesamtklang nur bei einzelnen Varianten als störend empfunden wurde. Bei Variante 4 wurde von vielen Testpersonen eine schlechte Höhenauflösung, sowie ein „Loch in der Mitte“ definiert. Das „Loch in der Mitte“ ist ein Phänomen, welches oft bei der Intensitäts-Stereofonie auftritt – die einzelnen Schallquellen werden sehr schmal und scharf abgebildet und zu den Lautsprechern hin immer präziser. Bei XY muss also die Position der einzelnen Schallquellen sehr genau geplant werden, um diesen ungewünschten Effekt zu vermeiden. Der Klang von Variante 1 wurde von den meisten Teilnehmern als sehr homogen, „satt“ und

24 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 42 im Anhang zu sehen
25 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 43 im Anhang zu sehen

ausbalanciert charakterisiert und somit zeigt sich der KFM-Algorithmus als eine sehr gute Panning-Möglichkeit bei klassischer Musik. Auch Variante 3 wurden von vielen Teilnehmern als sehr gut durchhörbar, breit und mit guter Staffelung empfunden.

Mit dem Zusatz des Hauptmikrofon-Signals im Beispiel A2 ändert sich auch der Gesamtklang erheblich. Variante 3 wirkte auf die meisten Probanden „eng", „flach" und nicht gut durchhörbar. Variante 4 wurde als sehr räumlich, „voll" und ausgewogen charakterisiert. Die Kombination aus AB-Hauptmikrofon und Stützen mit XY-Algorithmus wird auch in der Regel bei der Mischung klassischer Musik verwendet, deswegen kann an der Stelle behauptet werden, dass die positive Resonanz unter den Teilnehmern auf auditiven Gewohnheiten und bestimmten Gedächtniseffekten beruht. Variante 1 bleibt für die meisten Teilnehmer sehr ausgewogen, transparent und „satt". Der Klang von Variante 2 wurden in beiden Audiobeispielen sehr neutral bewertet. Dieses weist darauf hin, dass die Eigenschaften des ORTF-Algorithmus entweder nicht hörbar sind oder keine besondere Auswirkung auf die Hörer haben. Mit ORTF kann also eine ausgewogene Mischung erzielt werden, die aber keinen besonderen akustischen Wert anbietet.

Im Audiobeispiel B wurde der Klang von Variante 3 am besten bewertet. Über 75% aller Versuchsteilnehmer haben diese Variante als sehr ausgewogen empfunden, mit ausbalanciertem Links-Rechts-Verhältnis, sehr „vollem" Klang und gut ausgenutzter Stereobasisbreite. Variante 4 wurde als eher unausgewogen beurteilt, mit schlechter Auflösung der Höhen und starker Tendenz der Signale nach links zu kippen.

Variante 1 und 2 wurden zwar als ausgewogen empfunden, haben aber insgesamt bei den Probanden keine besonderen Reaktionen hervorgerufen und sind daher als unspannend und weniger geeignet für diese Art von Musik zu sehen.

Im Audiobeispiel C wurde der Klang von Variante 4 ebenfalls negativ bewertet – als „eng", „nasal" und mit schlechter Auflösung der Höhen. Variante 3 wurde als sehr homogen, gut durchhörbar und räumlich charakterisiert und von den meisten Teilnehmern als die beste Mischung definiert. Auch die Variante 1 wurde sehr positiv bewertet, die Mischung empfanden die meisten Versuchsteilnehmer als sehr transparent, homogen und „voll". Variante 2 bleibt nach wie vor ausgewogen, aber akustisch uninteressant. [26]

26 Die vollständige Verteilung der Ergebnisse ist in Abb. 44 – 47 im Anhang zu sehen

9.9 Interpretation der Ergebnisse

Unter Einbeziehung der eigenen Erfahrung soll im Folgenden eine Reflexion der Versuchsergebnisse erfolgen. Auf der Grundlage der Aussagen soll überprüft werden, ob Zusammenhänge und Tendenzen erkannt werden können und sich Schlüsse auf die Anwendungsgebiete der verschiedenen Panning-Möglichkeiten ziehen lassen.

Bereits in den ersten drei Fragen konnte eine klare Differenzierung der vier verschiedenen Panning-Möglichkeiten erzielt werden. Die klanglichen Eigenschaften der reinen Laufzeit-Stereofonie bei Variante 3 und der Intensitäts-Stereofonie bei Variante 4 haben bei einer deutlichen Mehrzahl der Probanden eine Reaktion hervorgerufen und zu einer bestimmten Bewertung provoziert. Diese 2 Varianten wurden als sich akustisch sehr unterscheidend eingestuft, was natürlich daran liegt, dass die verwendeten Algorithmen klanglich vom natürlichen Hören stark abweichen, da sie nur einen der Mechanismen zur Stereobildung berücksichtigen – entweder Laufzeit- oder Pegelunterschiede zwischen den beiden Kanälen. Nichtsdestotrotz wurde Variante 3 von vielen Probanden sehr positiv eingeschätzt und für bestimmte Musikbeispiele als sehr gut geeignet empfunden. Die gute Räumlichkeit sowie die sehr breite Abbildung der Schallquellen bei dem AB-Algorithmus haben Variante 3 zu einem klaren Favoriten bei den Audiobeispielen A1, B und C gemacht. In Kombination mit einem AB-Hauptmikrofonsignal gehen jedoch die Vorteile dieser Panning-Möglichkeit verloren – der Raum fällt zusammen und die einzelnen Signale vermischen sich zu einem „Klangbrei“. Der AB-Algorithmus zeigt sich also als ungeeignet für Musikmischungen, die ein Hauptmikrofonsignal enthalten. Bei einzeln-mikrofonierten Instrumenten liefert diese Panning-Möglichkeit sehr gute akustische Ergebnisse – sowohl bei kleinerer Besetzung wie im Beispiel B, der Volksmusik, sowie bei einer Big Band mit großer Besetzung (Beispiel C).

Variante 4, die auf dem XY-Algorithmus basiert und in der Regel in der Musikproduktion verwendet wird, hat überraschend eine eher negative Rückmeldung der Versuchsteilnehmer erzielt. Die gute Lokalisationsschärfe der einzelnen Signale sowie der präsente Klang der Phantomschallquellen wurden für alle Audiobeispiele als wenig geeignet empfunden. Allerdings charakterisiert der XY-Algorithmus eine sehr verbreitete und leicht zu realisierende Panning-Möglichkeit, die unter Berücksichtigung der in dem Hörversuch gewonnenen

Erkenntnisse optimiert werden kann. Durch gezielte Verwendung von Equalizern kann die schlechte Höhenauflösung verbessert werden. Die fehlende Räumlichkeit kann durch den Einsatz von künstlichem Hall kompensiert werden. Für klassische Musik kann diese Panning-Variante erfolgreich eingesetzt werden, da sich die XY-Signale der Stützen sehr gut mit einem Hauptmikrofon kombinieren lassen. Die Ergebnisse zum Audiobeispiel A2 bestätigen diese Tendenz.

Variante 1 hat sehr positive Resonanz erzielt. Das KFM basiert auf Laufzeit- und Pegeldifferenzen und berücksichtigt auch die spektralen Differenzen zwischen den Ohren und kommt dadurch dem natürlichen Hören sehr nah. Mit dem Sphere-Algorithmus werden demnach gute Lokalisationsschärfe und Räumlichkeit erreicht, was als gute Voraussetzung für einen homogenen und ausgewogenen Mix gilt. Vor allem bei großer Besetzung wie bei einem klassischen Orchester oder einer Big Band wird diese Panning-Möglichkeit als sehr gut geeignet empfunden. Bei der U-Musik wird jedoch oft ein etwas rauer und nicht zwangsläufig natürlicher und ausgewogener Klang angestrebt, weshalb andere Panning-Möglichkeiten bevorzugt werden.

Variante 2 stellt einen Kompromiss dar, da sie bei keinem der vier Audiobeispiele eine extreme Bewertung erzielt hat. Die positiven und negativen Eigenschaften des ORTF-Algorithmus haben bei den Versuchsteilnehmern keine besondere Reaktionen hervorgerufen. Diese Panning-Möglichkeit kann also erfolgreich bei Musikproduktionen angewandt werden, wo ein sicheres Ergebnis erreicht werden soll, welches aber keinen besonderen akustischen Reiz zum Ziel hat.

Die Ergebnisse bezüglich der Lokalisationsschärfe und der Räumlichkeit in dem Hörversuch haben insgesamt erwiesen, dass die technischen Merkmale der verschiedenen Panning-Möglichkeiten auch tatsächlich eine entsprechende klangliche Auswirkung haben. Das XY-Verfahren weist gute Lokalisationsschärfe und eine sehr präzise Abbildung der Schallquellen auf. Durch den hohen Anteil kohärenter Signale ist die Räumlichkeit jedoch deutlich schlechter. Bei einer Mischung mit dem XY-Algorithmus sollte also bedacht werden, welches Endergebnis angestrebt wird. Ein Abwägen zwischen den Vor- und Nachteilen dieser Panorama-Möglichkeit ist notwendig.

Das KFM zeigt ebenfalls sehr gute Ortungsschärfe. Auch der Raumeindruck wird sehr gut übertragen. Vor allem bei großen Besetzungen hat das ausbalancierte Verhältnis zwischen Räumlichkeit und Ortungsschärfe eine sehr positive klangliche Auswirkung.

Auch bei dem ORTF-Verfahren wird ein ausgewogener und homogener Klang erreicht, der jedoch als etwas langweilig empfunden wird. Diese Mischung klingt räumlich und die einzelnen Schallquellen sind gut lokalisierbar, aber die Hörer neigen dazu, etwas extremere Varianten mit stärker ausgeprägten Eigenschaften zu bevorzugen.

Der AB-Algorithmus ist vor allem durch sehr gute Räumlichkeit und breite Abbildung der Schallquellen charakterisiert und entspricht der Vorstellung der meisten Hörer von „vollem Sound“. Die etwas schlechtere Lokalisierbarkeit zeigt in der Praxis keine negative Auswirkung auf den Gesamtklang.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die in diesem Hörversuch gewonnenen Erkenntnisse viele interessante Aspekte der untersuchten Panning-Möglichkeiten entfalten und als kreative Anregung dienen. Neben den bewährten Verfahren, die täglich in der Musikproduktion verwendet werden, kann durch Experimentieren ein ebenso gutes und sicherlich sehr spannendes akustisches Ergebnis erzielt werden.

10. Schlusswort

Das Ziel dieser Arbeit war, durch eine genaue Betrachtung der physikalischen und technischen Eigenschaften sowie durch eine Vertiefung in die Bereiche der Psychoakustik und Wahrnehmungspsychologie das Potential der zwei-kanaligen Stereofonie zu erforschen. Durch einen direkten Vergleich von vier verschiedenen Panning-Möglichkeiten sollten Erkenntnisse gewonnen werden, die als künstlerische Anregung und ein neuer Arbeitsansatz bei der Musikproduktion dienen. Und tatsächlich haben die Ergebnisse dieser Untersuchung die bekannten technischen und musikalischen Verfahren in einem ganz neuem Licht dargestellt.

Das traditionelle XY-Verfahren, welches in der Regel verwendet wird, liefert nicht unbedingt die besten Klangergebnisse. Die theoretischen Vorteile dieses Verfahrens sind oft in der Praxis nicht erkennbar, weshalb auch viele Hörer dazu tendieren, andere Verfahren wie etwa AB oder KFM klanglich zu bevorzugen. Bei der Beurteilung eines Gesamtklangs spielen einzelne Aspekte wie eindeutige Lokalisierbarkeit der Schallquellen, gute Räumlichkeit und klare Tiefenstaffelung zwar eine entscheidende Rolle, aber viel wichtiger erscheint die Wechselbeziehung zwischen diesen Parametern, die schließlich ein ausgewogenes akustisches Ergebnis liefert.

Das Musikgenre, die Besetzung und der musikalische Aufbau eines Musikstückes sind weitere Kriterien, die die Auswahl einer Panning-Möglichkeit beeinflussen. Für klassische Musik empfiehlt sich nach wie vor die Kombination aus Haupt- und Stützmikrofonen, wobei bei den Panning-Möglichkeiten wieder variiert wird. Als Hauptmikrofon kann erfolgreich AB verwendet werden, aber auch das KFM sichert gute Ergebnisse. Für die Stützen wird gerne XY verwendet, aber ein Experimentieren mit dem KFM kann auch hier die Musikmischung vielseitig bereichern. Bei Jazz und Volksmusik zeigt sich ein AB-Panning als sehr vorteilhaft, da Eigenschaften wie gute Räumlichkeit und breite Stereoabbildung die klangliche Ästhetik der Musikbeispiele betonen.

Natürlich sind bei der Musikproduktion das Endmedium und das Zielpublikum auch maßgebend. Eine Abwägung der Kosten sowie des technischen und zeitlichen Aufwandes ist immer notwendig. Wird ein Musikstück für ausgewähltes Publikum mit viel Hörerfahrung und hohen Ansprüchen an die Qualität des Klangmaterials produziert, werden sicherlich

andere Prioritäten gesetzt, als für unerfahrene Konsumenten. Die Erkenntnisse dieser Arbeit stellen in dem Zusammenhang neue Ideen für die Umsetzung und kreative Klanggestaltung dar.

Für mich persönlich war diese Arbeit sehr bereichernd und durchaus herausfordernd. Im praktischen Teil konnte leider nur ein kleiner Teil aller Musikgenres und -variationen berücksichtigt werden, deswegen wäre es für mich sehr interessant, die gewonnene Erfahrung auf ein breiteres musikalisches Spektrum zu übertragen und bei Pop, Rock und vielen weiteren Genres zu erforschen. Ein Vergleich und die Untersuchung der Panning-Möglichkeiten bei 5.1 Surround und anderen mehrkanaligen Tonformaten, könnte weitere Ideen und Anregungen entfalten. Der Tontechniker ist eben gleichzeitig ein Wissenschaftler und Künstler, der nur durch Experimentieren neue Horizonte in der Musikproduktion entdecken kann.

„Ein Künstler, der wirklich etwas kann, fragt nicht danach, wie beeindruckt sein Publikum sein wird, er macht einfach seine Sache. Das ist beim wissenschaftlichen Experimentieren ebenso: Ein Wissenschaftler, der Meister seines Fachs ist, zögert nicht; er dringt immer weiter in die Tiefe der Wirklichkeit vor, der Dinge, wie sie sind."

Chögyam Trungpa, Die Insel des Jetzt im Strom der Zeit

.

11. Quellenverzeichnis

Bücher:

- Michael Dickreiter, Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1, 1997 K.G. Saur Verlag, München, 6. Auflage
- Thomas Görne, Mikrofone in Theorie und Praxis, 2007 Elektor-Verlag GmbH, Aachen, 8. Auflage
- Hubert Henle, Das Tonstudio Handbuch, 2001 GC Carsten Verlag, München, 5. Auflage
- Andreas A. Reil & Wilm Brucker, Praxisbuch: Ton, 2007 Mediabook Verlag A.Reil, Stein-Bockenheim und Aktiv Verlag & Medienservice GmbH, Reichenau, 1. Auflage
- Johannes Webers, Das Handbuch der Tonstudiotechnik, 1999 Franzis' Verlag GmbH, Poing, 7. Auflage
- Andreas Friesecke, Die Audio-Enzyklopädie, 2007 K.G. Saur verlag,München, 1. Auflage
- Volker Smyrek, Tontechnik für Veranstaltungstechniker, 2009 S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1. Auflage

Internetquellen

- http://www.sengpielaudio.com/
- http://hauptmikrofon.de/
- http://www.archive.org/stream/dielehrevondent01helmgoog#page/n0/mode/2up
- http://www.dega-akustik.de/publikationen/Kompendium_Hoerversuche_2008.pdf
- http://www.audio-ergo-sum.de/
- http://de.wikipedia.org/
- http://www.schoeps.de/de/downloads/papers

Sonstige Quellen

- VDT Magazin, Bildungswerk des Verbandes Deutscher Tonmeister, Bergisch-Gladbach
- Jürg Jecklin, Theorie der Tontechnik, Universität für Musik und darstellende Kunst Wien, Institut für Elektroakustik
- Jörg Wuttke, Mikrofonaufsätze, 2000 Schalltechnik Dr.-Ing. Schoeps GmbH, Karlsruhe, 2. Auflage

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kurven gleicher Lautstärke
http://www.peter-junglas.de/fh/vorlesungen/physik1/images/bild87.jpg.....16
Abbildung 2: Richtungsbestimmende Bänder (Frequenzbänder) nach Blauert
http://www.sengpielaudio.com/.....20
Abbildung 3: Stereodreieck
http://www.gccarstensen.com/assets/images/wsstereo-stereodreieck.jpg.....23
Abbildung 4: Phantomschallquelle
http://www.sengpielaudio.com/.....24
Abbildung 5: Reale Schallquelle
http://www.sengpielaudio.com/.....24
Abbildung 6: Pegeldifferenz-Stereofonie
http://www.sengpielaudio.com/.....28
Abbildung 7: Pegeldifferenz-Lokalisationskurve
http://www.sengpielaudio.com/.....28
Abbildung 8: Lokalisationsschärfe bei reiner Intensitäts-Stereofonie
http://www.sengpielaudio.com/.....30
Abbildung 9: Laufzeit-Stereofonie
http://www.sengpielaudio.com/.....32
Abbildung 10: Beispiele für Äquivalenz-Stereofonie
http://www.sengpielaudio.com/.....33
Abbildung 11: Aufnahmebreich von ORTF
http://www.sengpielaudio.com/.....34
Abbildung 12: Aufbau von Kugelflächenmikrofon
Jörg Wuttke, Mikrofonaufsätze,.....35
Abbildung 13: Schoeps Kugelfächen-Stereomikrofon KFM 6
http://www.schoeps.de.....35
Abbildung 14: Frequenzgang KFM 6 aus verschiedenen Richtungen
http://www.schoeps.de.....35

Abbildung 15: Der Pan-Regler am Studer Vista 7 Pult
Grafik Jaroslawa Razmowa....37
Abbildung 16: Göttinger Symphonie Orchester
Grafik Jaroslawa Razmowa....42
Abbildung 17: Göttinger Symphonie Orchester Sitzplan
Grafik Jaroslawa Razmowa....43
Abbildung 18: BigBand-Projekt Cover
Grafik Fabian Häußler....46
Abbildung 19: Bevorzugte Musikrichtungen der Testpersonen
Grafik Jaroslawa Razmowa....49
Abbildung 20: Von Probanden gespielte Musikinstrumente
Grafik Jaroslawa Razmowa....50
Abbildung 21: Sitzposition der Probanden während des Hörversuchs
Grafik Jaroslawa Razmowa....56
Abbildung 22: Der größte Unterschied
Grafik Jaroslawa Razmowa....59
Abbildung 23: Altersverteilung der Probanden
Grafik Jaroslawa Razmowa....76
Abbildung 24: Der Unterschied im Beispiel A1
Grafik Jaroslawa Razmowa....76
Abbildung 25: Der Unterschied im Beispiel A2
Grafik Jaroslawa Razmowa....77
Abbildung 26: Der Unterschied im Beispiel B
Grafik Jaroslawa Razmowa....77
Abbildung 27: Der Unterschied im Beispiel C
Grafik Jaroslawa Razmowa....78
Abbildung 28: Der größte Unterschied im Beispiel A1
Grafik Jaroslawa Razmowa....78
Abbildung 29: Der größte Unterschied im Beispiel A2

Grafik Jaroslawa Razmowa.....79
Abbildung 30: Der größte Unterschied im Beispiel B
Grafik Jaroslawa Razmowa.....79
Abbildung 31: Der größte Unterschied im Beispiel C
Grafik Jaroslawa Razmowa.....80
Abbildung 32: Bevorzugte Variante im Beispiel A1
Grafik Jaroslawa Razmowa.....80
Abbildung 33: Bevorzugte Variante im Beispiel A2
Grafik Jaroslawa Razmowa.....81
Abbildung 34: Bevorzugte Variante im Beispiel B
Grafik Jaroslawa Razmowa.....81
Abbildung 35: Bevorzugte Variante im Beispiel C
Grafik Jaroslawa Razmowa.....82
Abbildung 36: Lokalisationsschärfe im Beispiel A1
Grafik Jaroslawa Razmowa.....82
Abbildung 37: Lokalisationsschärfe im Beispiel A2
Grafik Jaroslawa Razmowa.....83
Abbildung 38: Lokalisationsschärfe im Beispiel B
Grafik Jaroslawa Razmowa.....83
Abbildung 39: Lokalisationsschärfe im Beispiel C
Grafik Jaroslawa Razmowa.....84
Abbildung 40: Räumlichkeit im Beispiel A1
Grafik Jaroslawa Razmowa.....84
Abbildung 41: Räumlichkeit im Beispiel A2
Grafik Jaroslawa Razmowa.....85
Abbildung 42: Räumlichkeit im Beispiel B
Grafik Jaroslawa Razmowa.....85
Abbildung 43: Räumlichkeit im Beispiel C
Grafik Jaroslawa Razmowa.....86

Abbildung 44: Gesamtklang im Beispiel A1
Grafik Jaroslawa Razmowa.....86
Abbildung 45: Gesamtklang im Beispiel A2
Grafik Jaroslawa Razmowa.....87
Abbildung 46: Gesamtklang im Beispiel B
Grafik Jaroslawa Razmowa.....87
Abbildung 47: Gesamtklang im Beispiel C
Grafik Jaroslawa Razmowa.....88

13. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Panorama-Verteilung der einzelnen Instrumente im Beispiel A
Tabelle Jaroslawa Razmowa.....44
Tabelle 2: Panorama-Verteilung der einzelnen Instrumente im Beispiel B
Tabelle Jaroslawa Razmowa.....46
Tabelle 3: Panorama-Verteilung der einzelnen Instrumente im Beispiel C
Tabelle Jaroslawa Razmowa.....47

14. Anhang

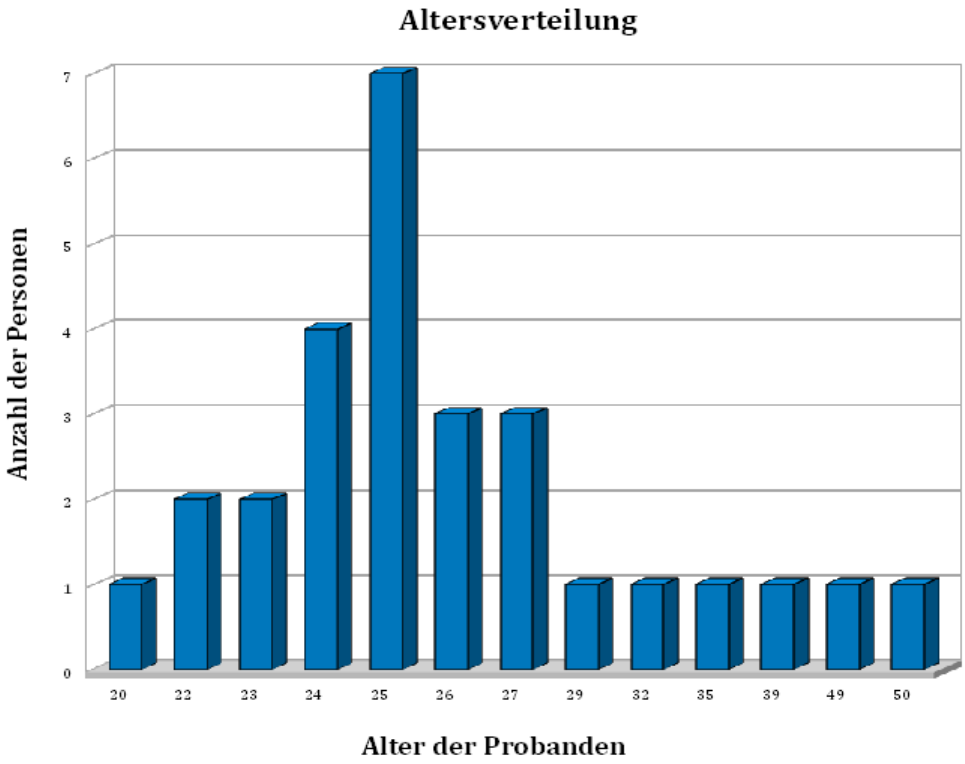

Abbildung 23: Altersverteilung der Probanden

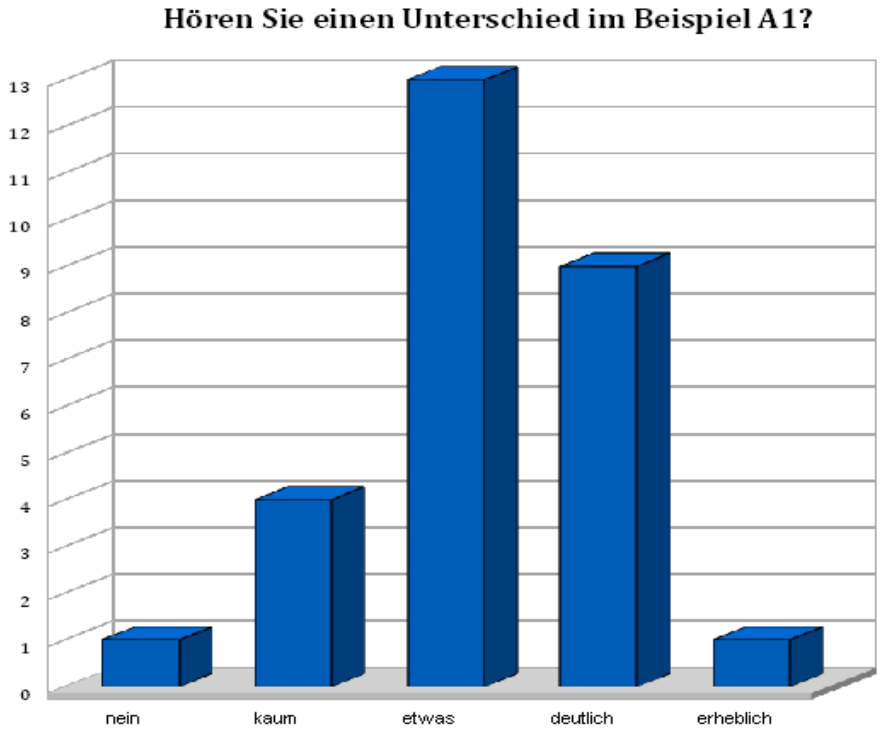

Abbildung 24: Der Unterschied im Beispiel A1

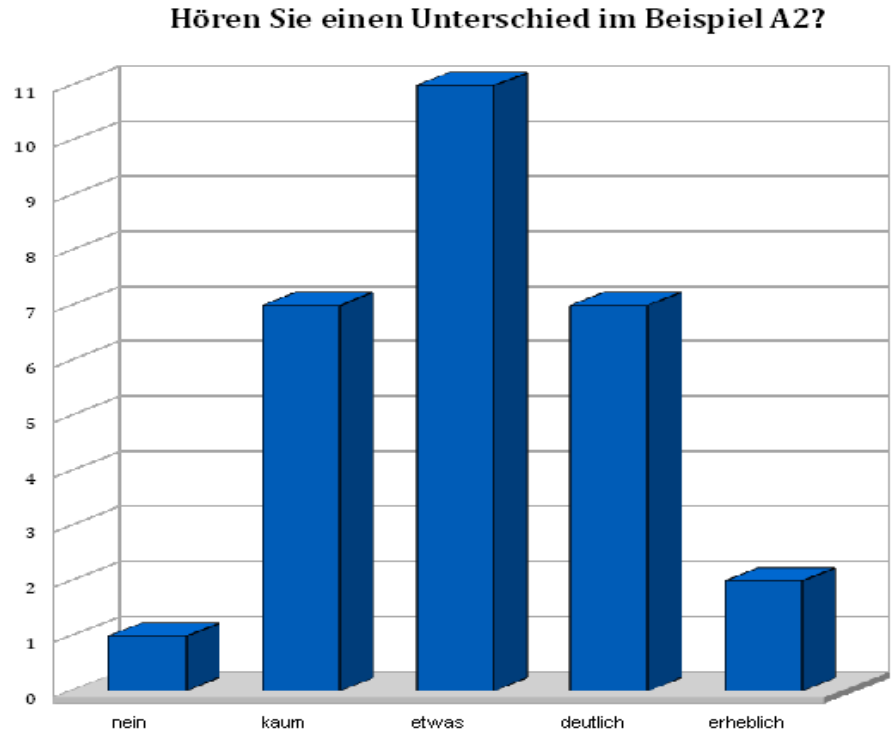

Abbildung 25: Der Unterschied im Beispiel A2

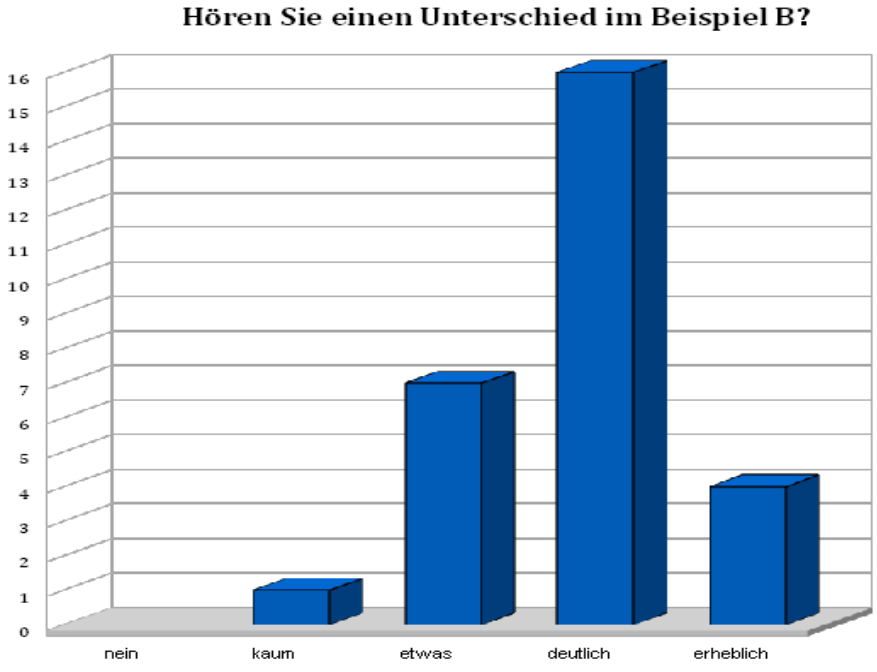

Abbildung 26: Der Unterschied im Beispiel B

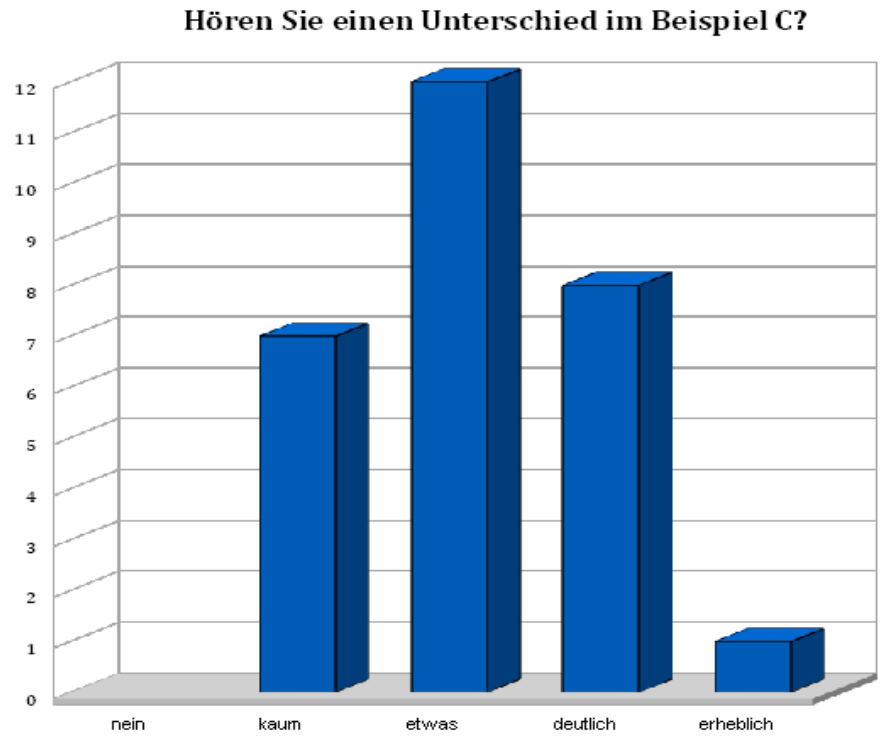

Abbildung 27: Der Unterschied im Beispiel C

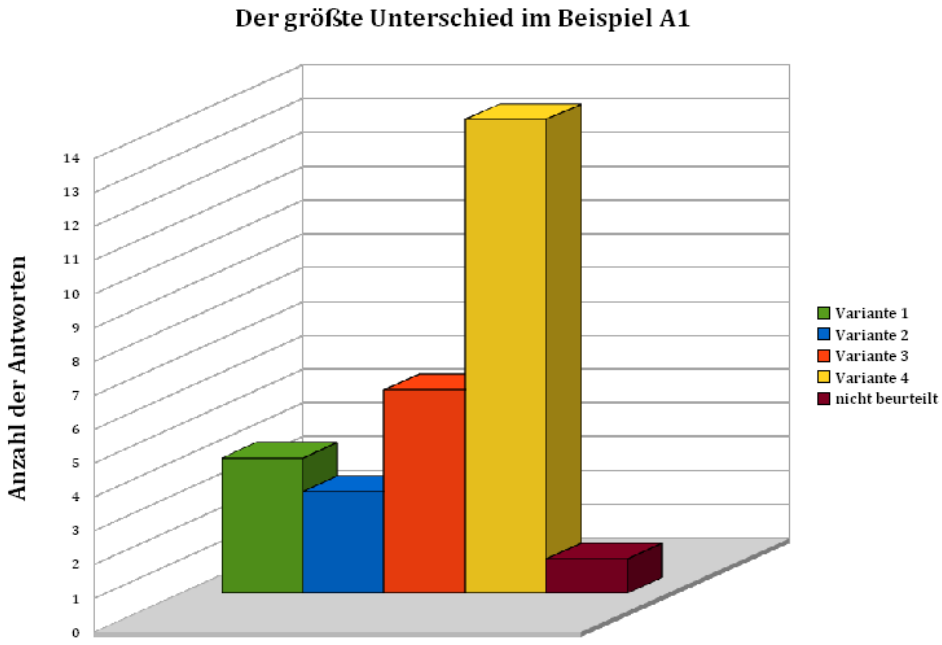

Abbildung 28: Der größte Unterschied im Beispiel A1

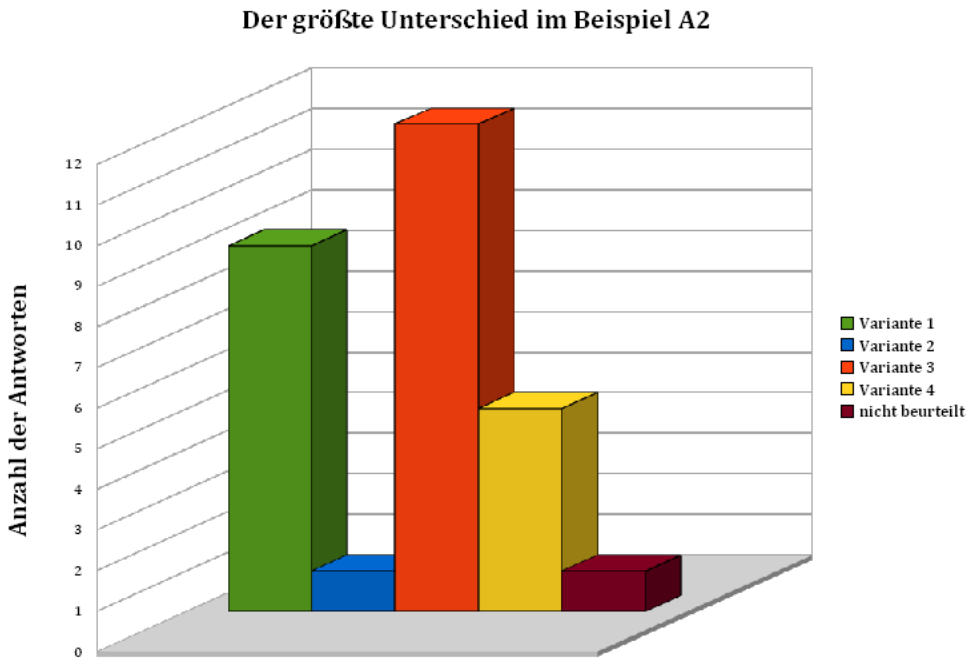

Abbildung 29: Der größte Unterschied im Beispiel A2

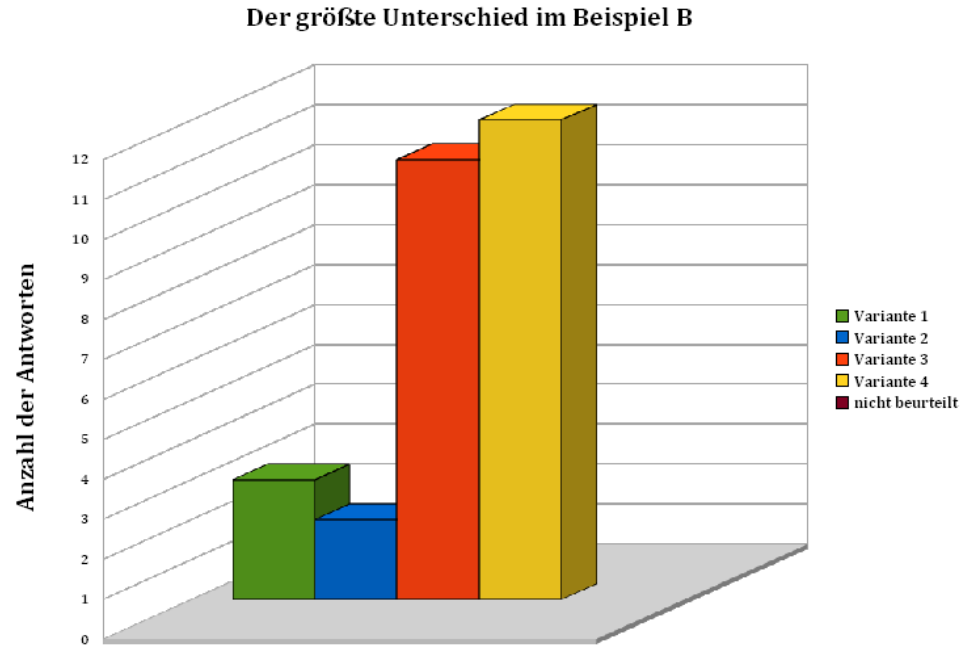

Abbildung 30: Der größte Unterschied im Beispiel B

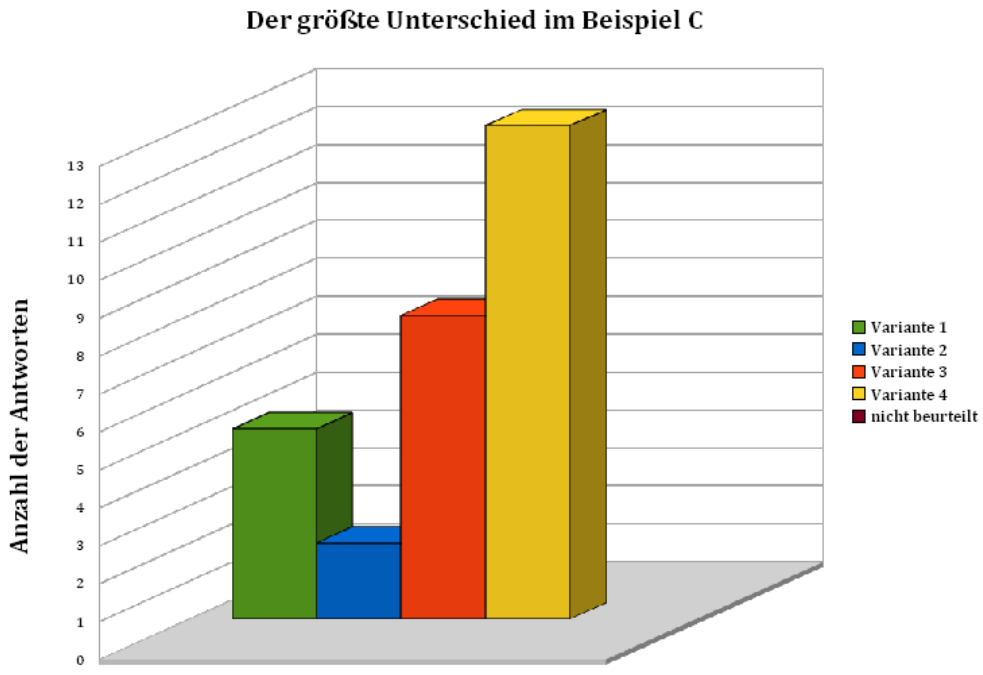

Abbildung 31: Der größte Unterschied im Beispiel C

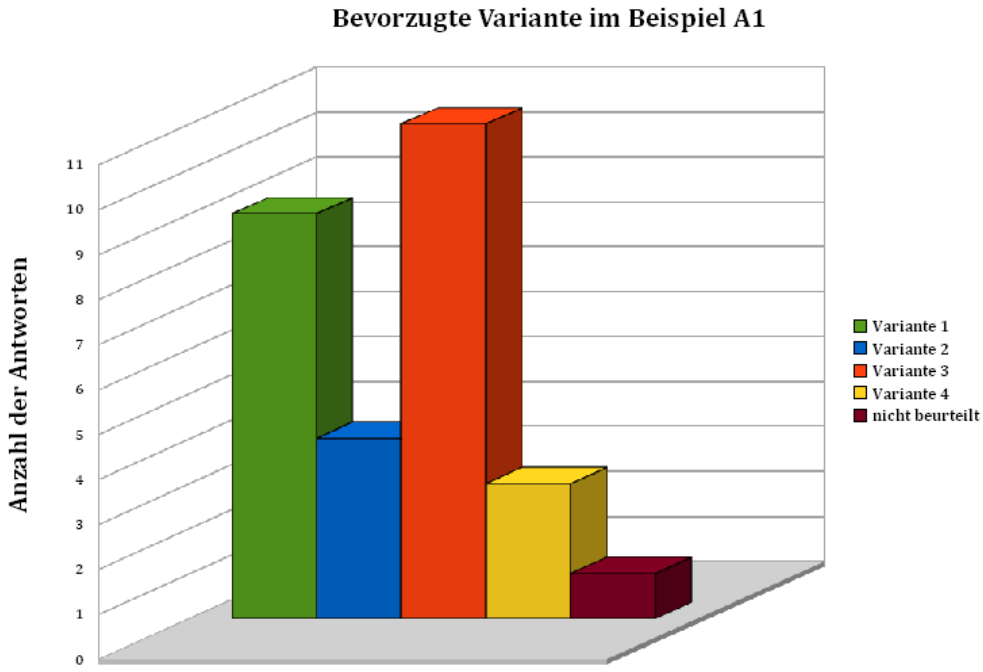

Abbildung 32: Bevorzugte Variante im Beispiel A1

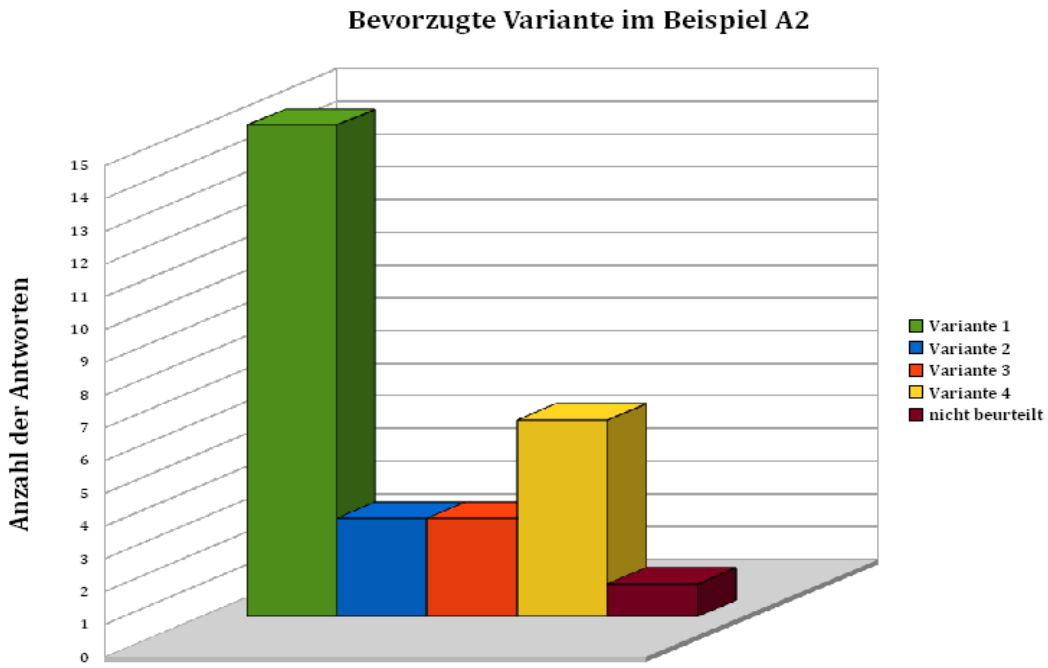

Abbildung 33: Bevorzugte Variante im Beispiel A2

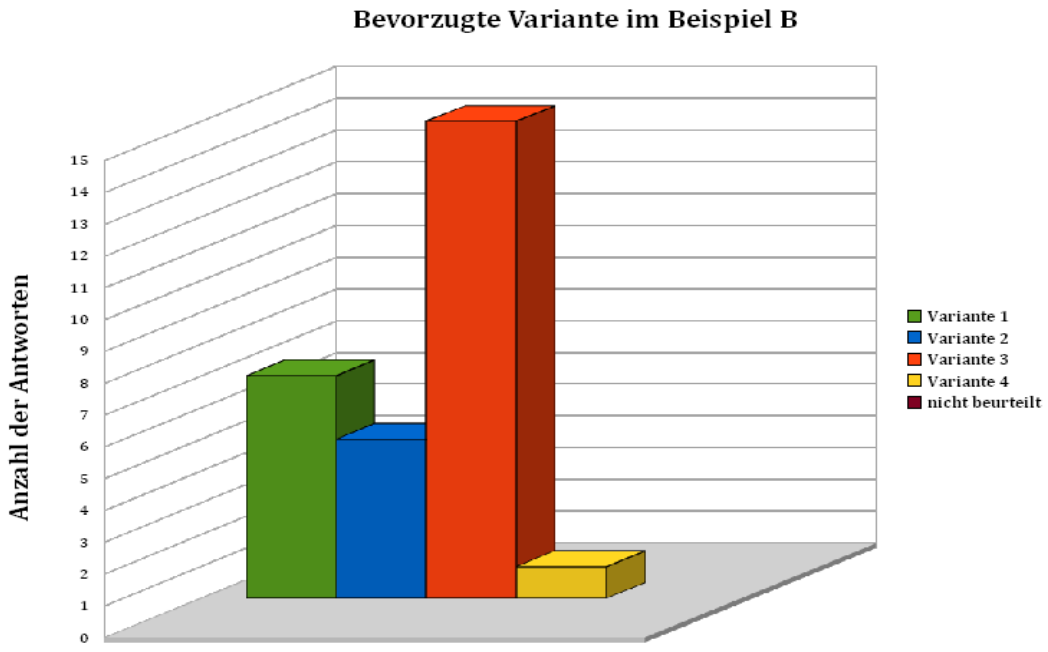

Abbildung 34: Bevorzugte Variante im Beispiel B

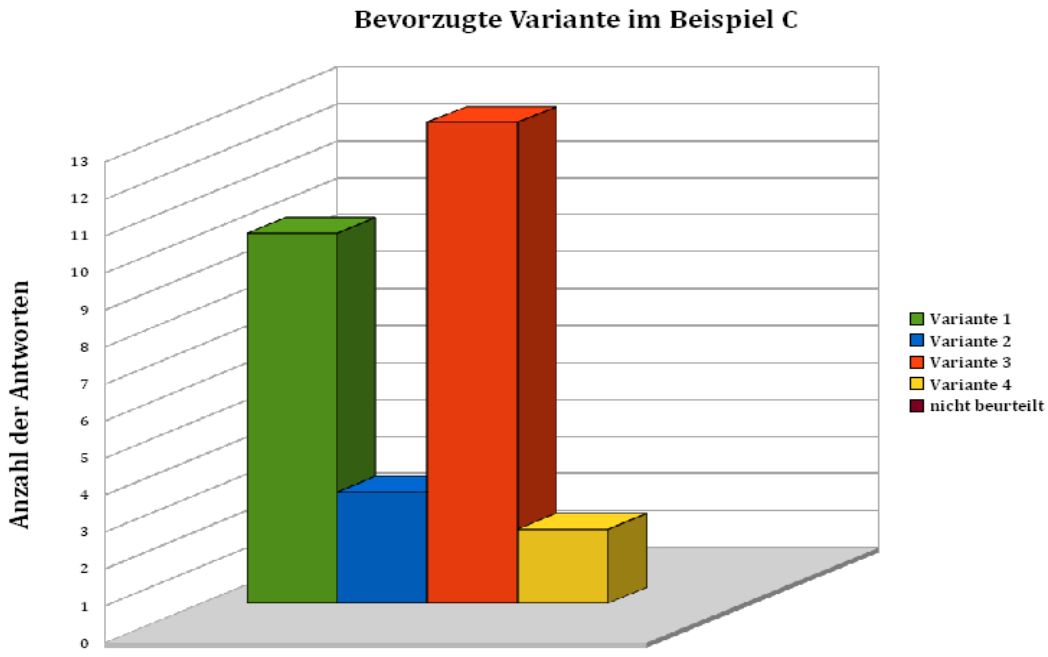

Abbildung 35: Bevorzugte Variante im Beispiel C

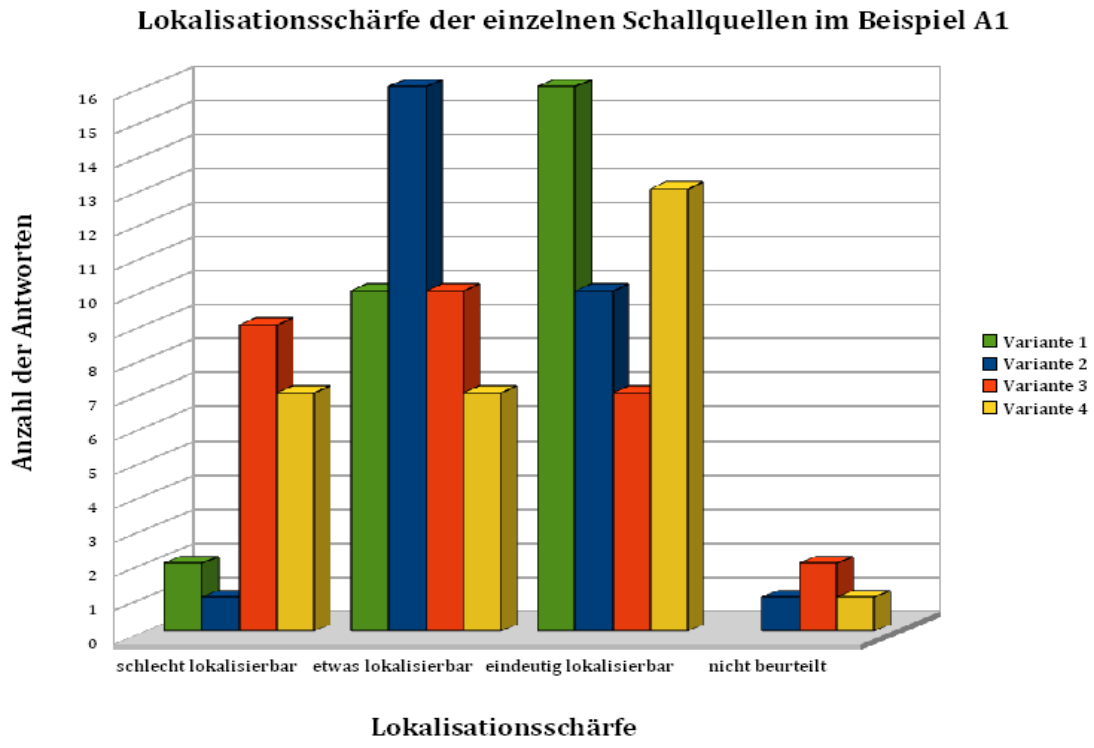

Abbildung 36: Lokalisationsschärfe im Beispiel A1

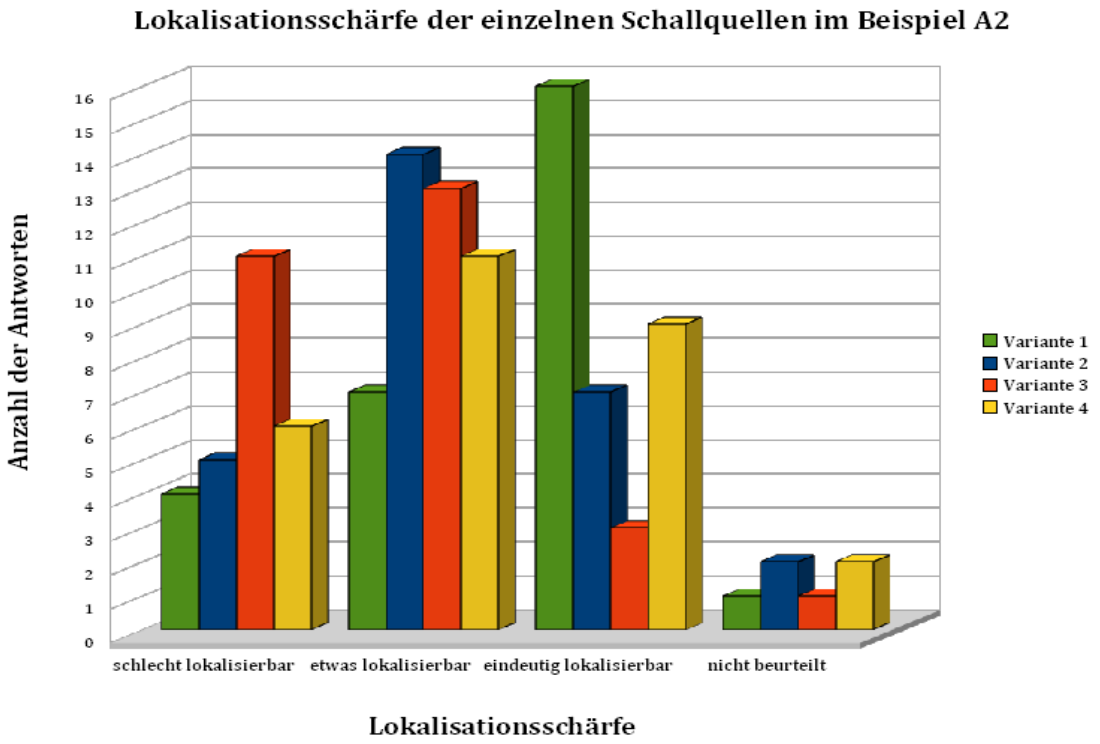

Abbildung 37: Lokalisationsschärfe im Beispiel A2

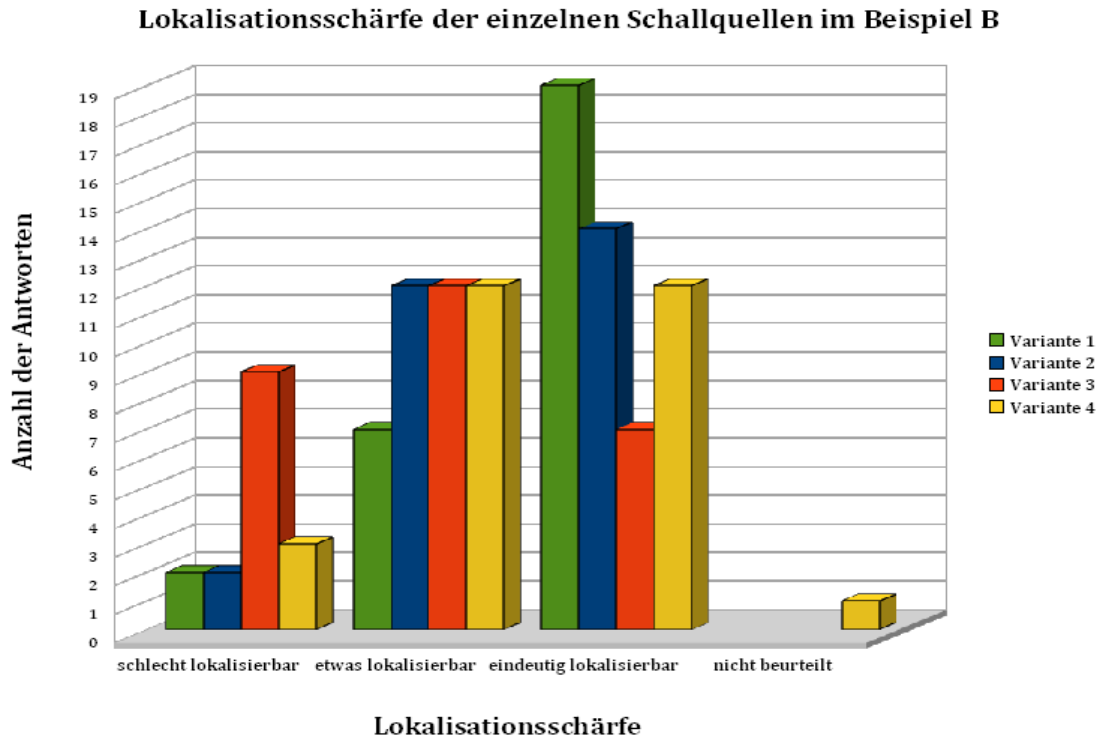

Abbildung 38: Lokalisationsschärfe im Beispiel B

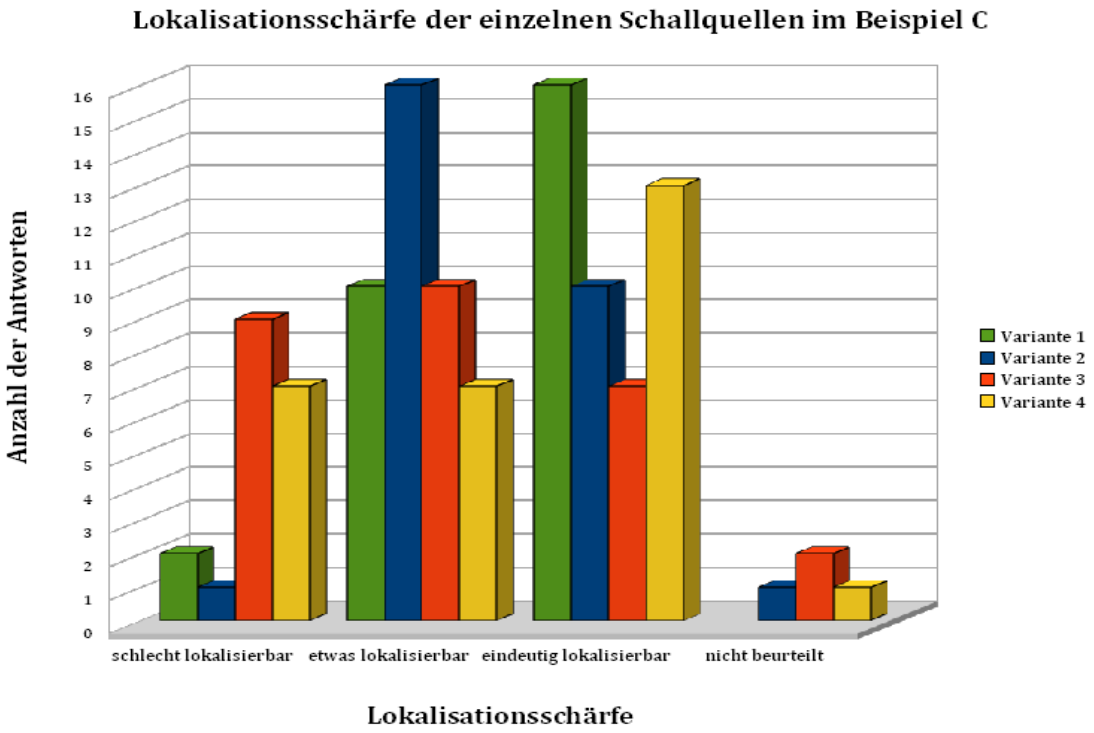

Abbildung 39: Lokalisationsschärfe im Beispiel C

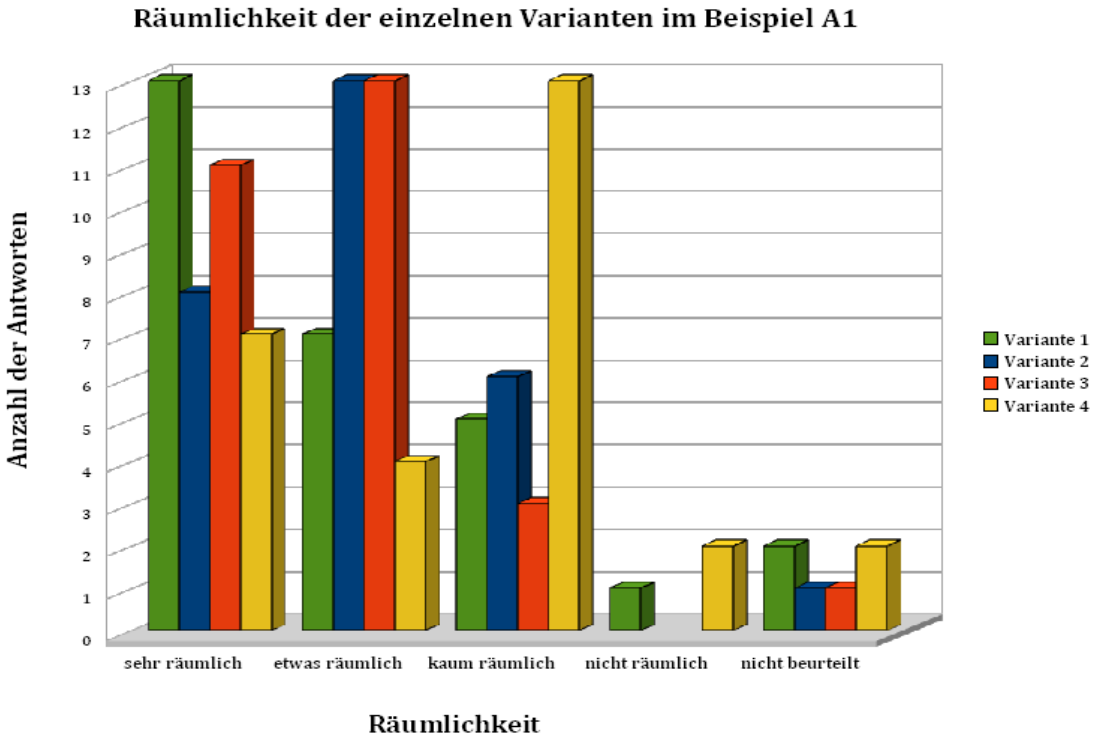

Abbildung 40: Räumlichkeit im Beispiel A1

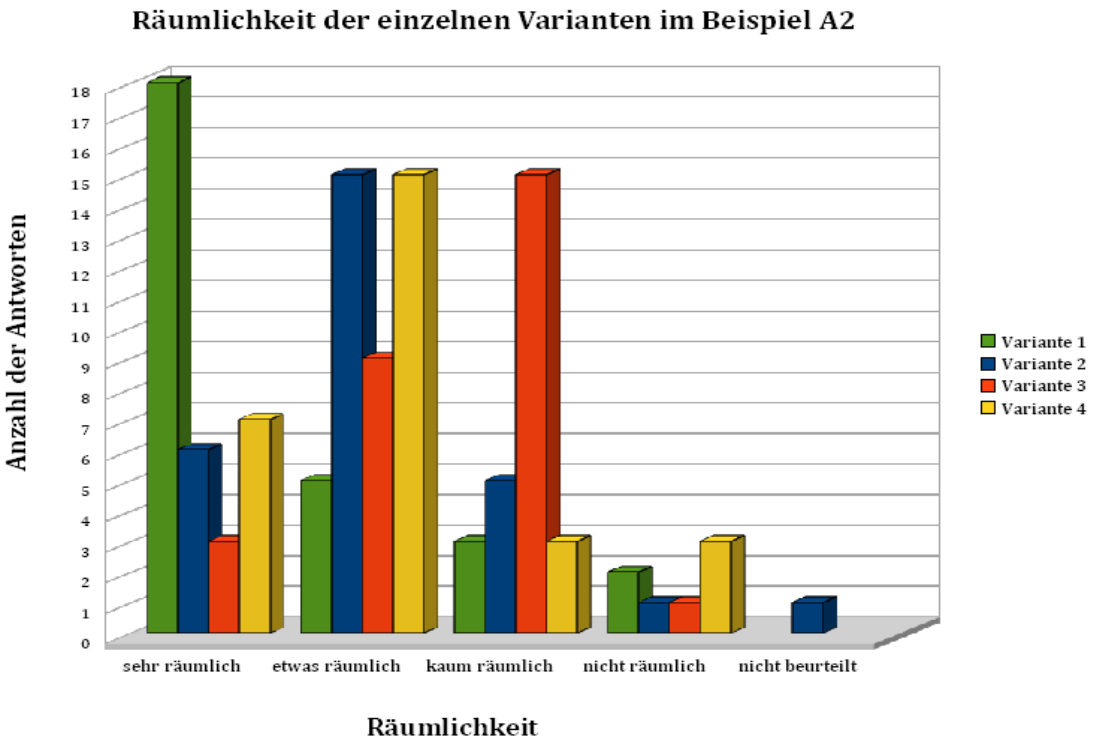

Abbildung 41: Räumlichkeit im Beispiel A2

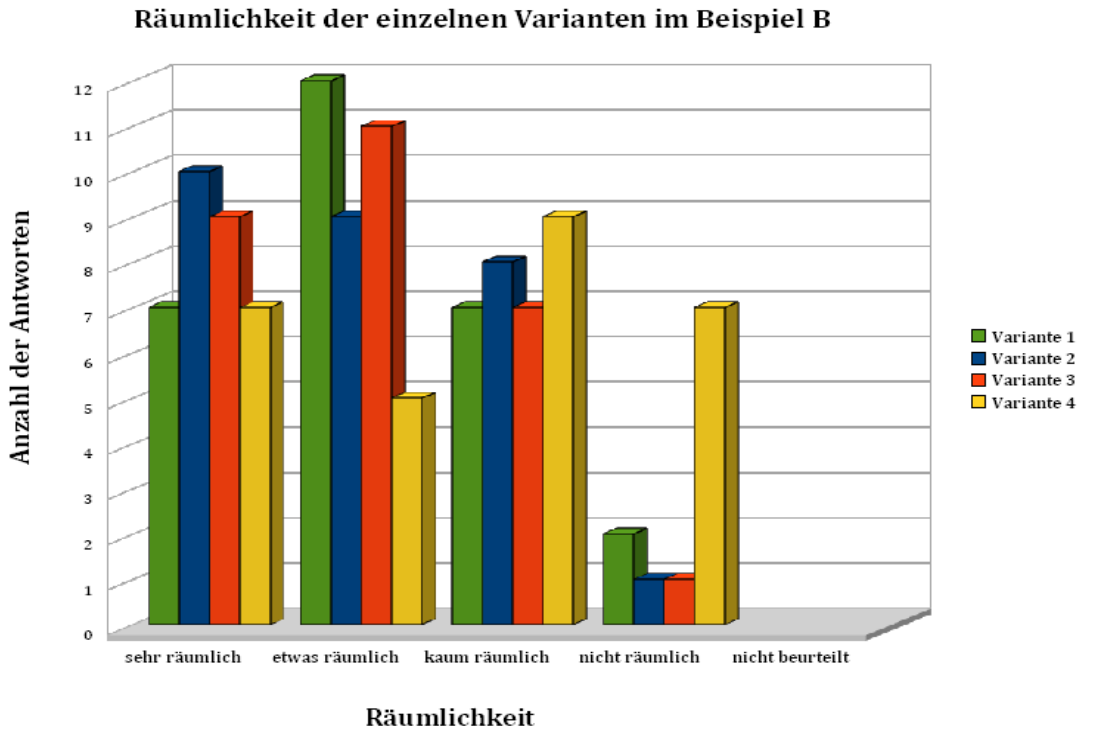

Abbildung 42: Räumlichkeit im Beispiel B

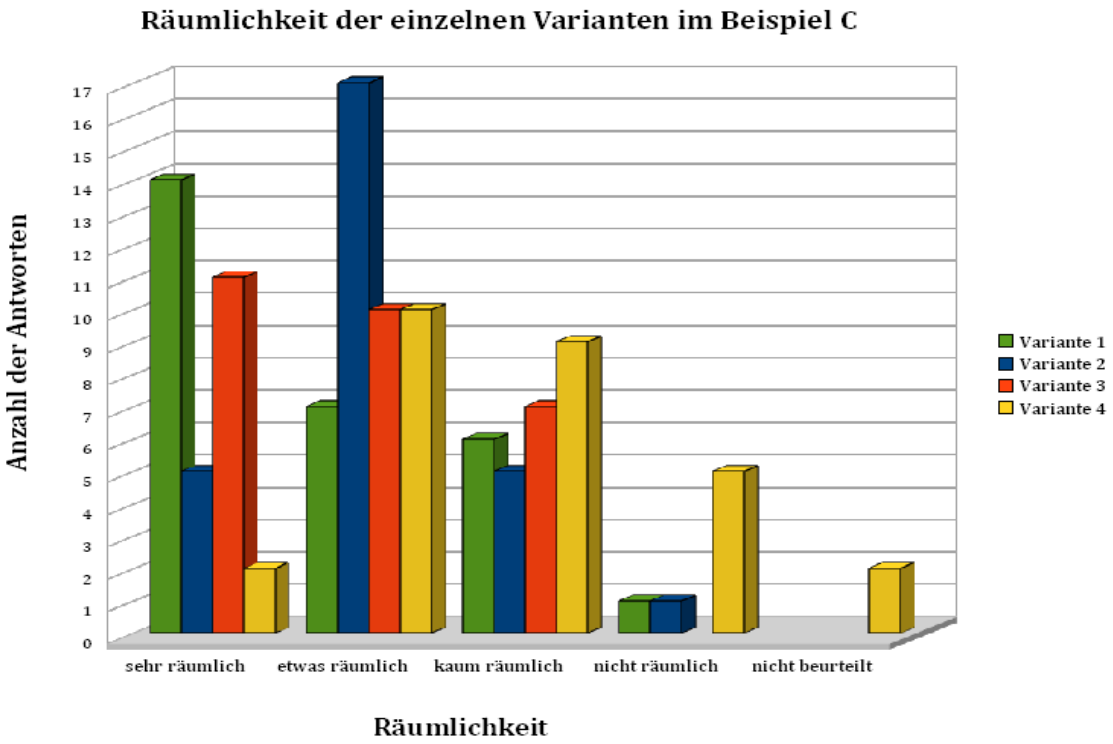

Abbildung 43: Räumlichkeit im Beispiel C

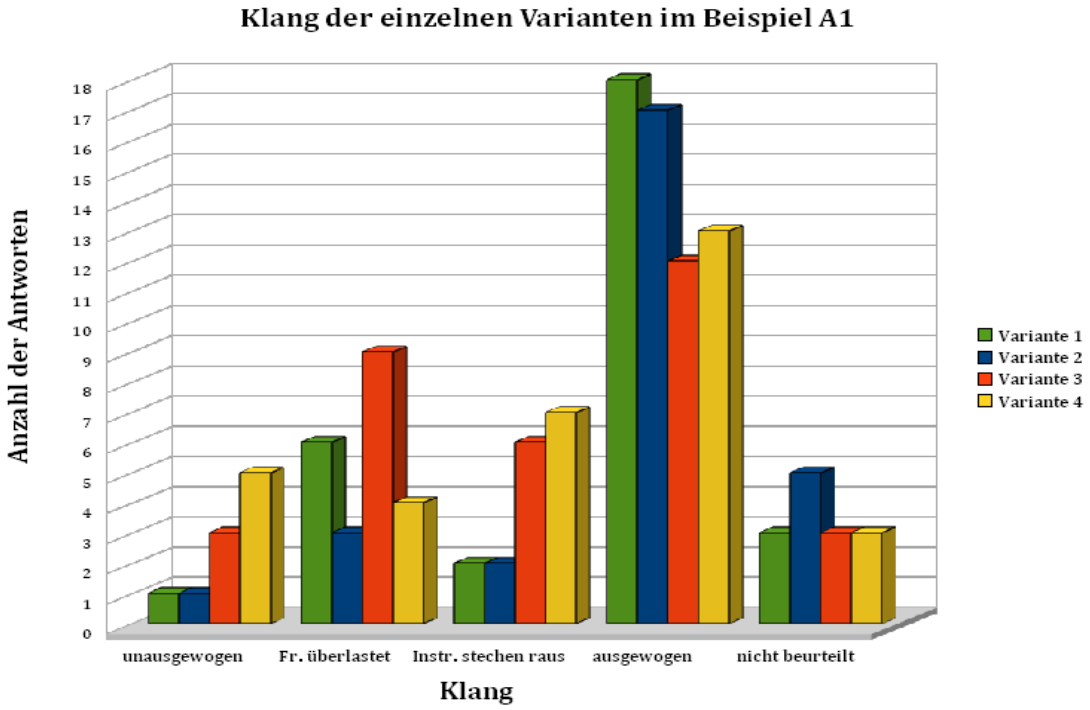

Abbildung 44: Gesamtklang im Beispiel A1

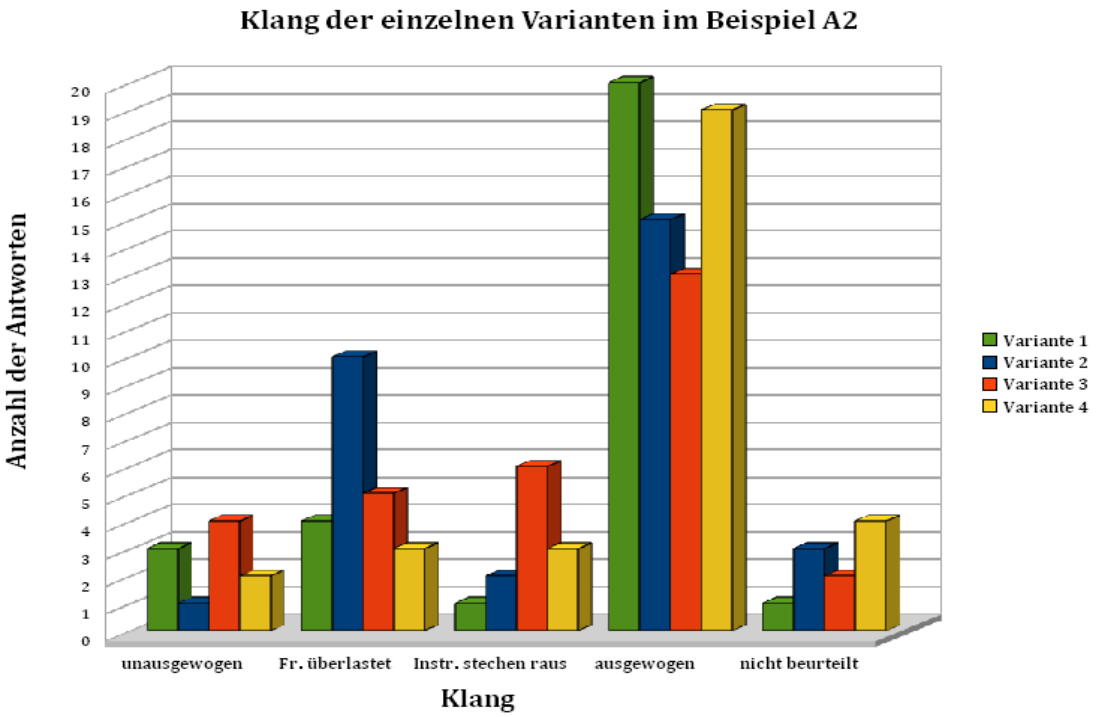

Abbildung 45: Gesamtklang im Beispiel A2

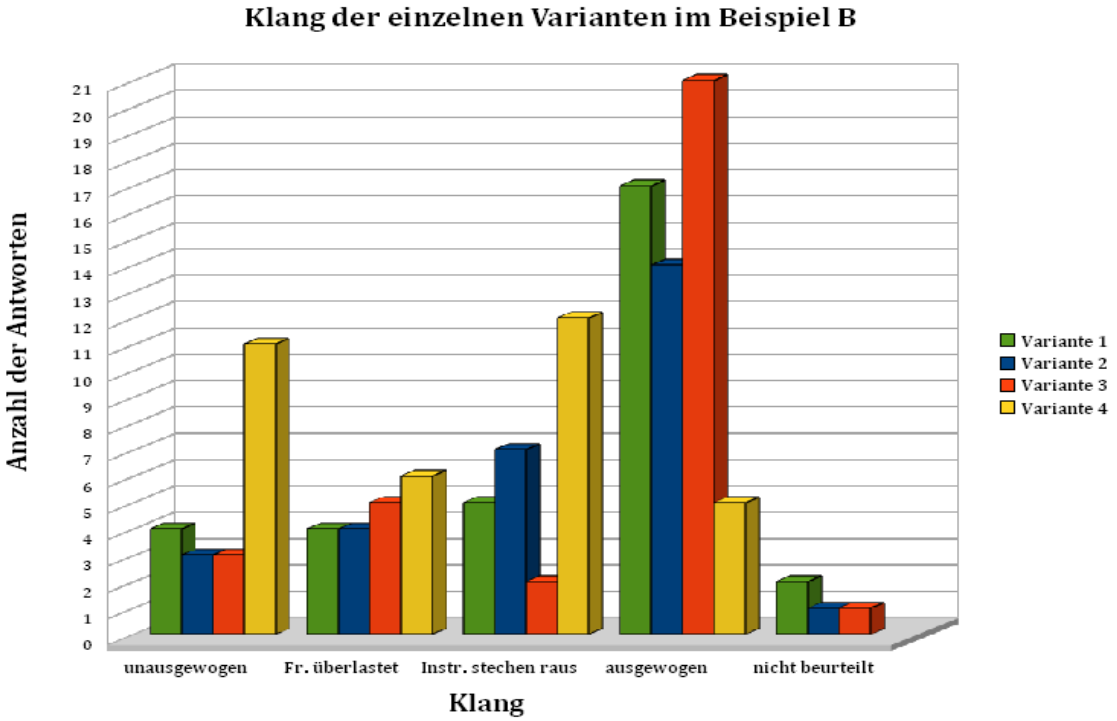

Abbildung 46: Gesamtklang im Beispiel B

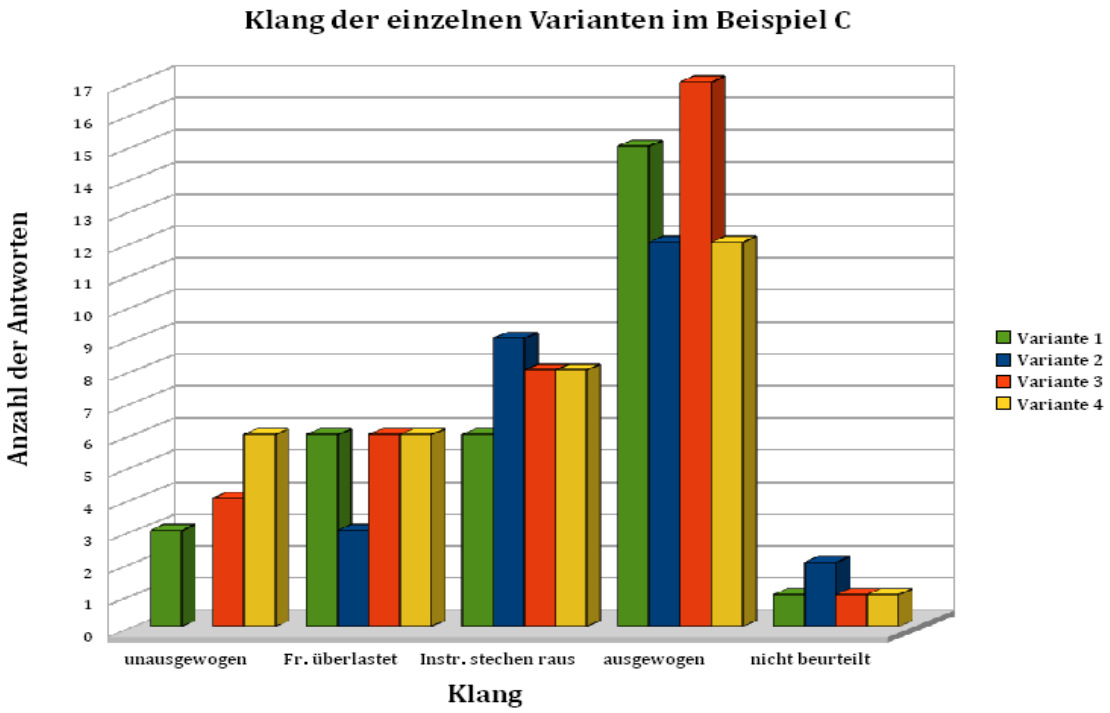

Abbildung 47: Gesamtklang im Beispiel C

Fragebogen:

1. **<u>Angaben zu der Person</u>**
    - Alter :
    - Beruf/ Studienfach :

2. **<u>Allgemeine Angaben</u>**
    - Musikgeschmack (beliebte Musikrichtung):
    - Spielen Sie ein Instrument? Welches?

3. Hörbeispiel A1

- Hören Sie einen Unterschied?

nein kaum etwas deutlich erheblich

- Bei welcher Variante ist der Unterschied am größten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

- Welche Variante gefällt Ihnen am besten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

Wie beurteilen Sie die Lokalisationsschärfe der einzelnen Schallquellen?

	schlecht lokalisierbar	etwas lokalisierbar	eindeutig lokalisierbar	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1				
Variante 2				
Variante 3				
Variante 4				

Wie beurteilen Sie die Räumlichkeit der einzelnen Varianten?

	sehr räumlich	etwas räumlich	kaum räumlich	nicht räumlich	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Wie beurteilen Sie den Klang der einzelnen Varianten?

	sehr unausgewogen	manche Frequenzbereiche sind überlastet	nur einzelne Instrumente stechen raus	ausgewogen	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Persönliche Anmerkungen zu den einzelnen Varianten:

Variante 1
Variante 2
Variante 3
Variante 4

4. Hörbeispiel A2

- Hören Sie einen Unterschied?

nein kaum etwas deutlich erheblich

- Bei welcher Variante ist der Unterschied am größten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

- Welche Variante gefällt Ihnen am besten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

Wie beurteilen Sie die Lokalisationsschärfe der einzelnen Schallquellen?

	schlecht lokalisierbar	etwas lokalisierbar	eindeutig lokalisierbar	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1				
Variante 2				
Variante 3				
Variante 4				

Wie beurteilen Sie die Räumlichkeit der einzelnen Varianten?

	sehr räumlich	etwas räumlich	kaum räumlich	nicht räumlich	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Wie beurteilen Sie den Klang der einzelnen Varianten?

	sehr unausgewogen	manche Frequenzbereiche sind überlastet	nur einzelne Instrumente stechen raus	ausgewogen	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Persönliche Anmerkungen zu den einzelnen Varianten:

Variante 1
Variante 2
Variante 3
Variante 4

5. Hörbeispiel B

- Hören Sie einen Unterschied?

nein kaum etwas deutlich erheblich

- Bei welcher Variante ist der Unterschied am größten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

- Welche Variante gefällt Ihnen am besten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

Wie beurteilen Sie die Lokalisationsschärfe der einzelnen Schallquellen?

	schlecht lokalisierbar	etwas lokalisierbar	eindeutig lokalisierbar	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1				
Variante 2				
Variante 3				
Variante 4				

Wie beurteilen Sie die Räumlichkeit der einzelnen Varianten?

	sehr räumlich	etwas räumlich	kaum räumlich	nicht räumlich	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Wie beurteilen Sie den Klang der einzelnen Varianten?

	sehr unausgewogen	manche Frequenzbereiche sind überlastet	nur einzelne Instrumente stechen raus	ausgewogen	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Persönliche Anmerkungen zu den einzelnen Varianten:

Variante 1
Variante 2
Variante 3
Variante 4

6. Hörbeispiel C

- Hören Sie einen Unterschied?

nein kaum etwas deutlich erheblich

- Bei welcher Variante ist der Unterschied am größten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

- Welche Variante gefällt Ihnen am besten?

Variante 1 Variante 2 Variante 3 Variante 4

Wie beurteilen Sie die Lokalisationsschärfe der einzelnen Schallquellen?

	schlecht lokalisierbar	etwas lokalisierbar	eindeutig lokalisierbar	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1				
Variante 2				
Variante 3				
Variante 4				

Wie beurteilen Sie die Räumlichkeit der einzelnen Varianten?

	sehr räumlich	etwas räumlich	kaum räumlich	nicht räumlich	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Wie beurteilen Sie den Klang der einzelnen Varianten?

	sehr unausgewogen	manche Frequenzbereiche sind überlastet	nur einzelne Instrumente stechen raus	ausgewogen	Ich kann es nicht beurteilen
Variante 1					
Variante 2					
Variante 3					
Variante 4					

Persönliche Anmerkungen zu den einzelnen Varianten:

Variante 1
Variante 2
Variante 3
Variante 4