

Der FH-Kunstkopf

Räumliches Hören, Bau und Evaluierung des FH-Kunstkopfs

Zweite Bachelorarbeit

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science in Engineering

am Bachelorstudiengang Medientechnik
an der Fachhochschule St. Pölten

von:

Manuel Mader

mt141054

Betreuer/in: FH-Prof. Dipl.-Ing. Andreas Büchele/ FH-Prof. Dr. Michael
Iber

[Traismauer, 28.07.2017]

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Thema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter bzw. der Begutachterin beurteilten Arbeit überein.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Frage, welche Eigenschaften des räumlichen Hörens für den Kunstkopf von Bedeutung sind und inwiefern es möglich ist mit einem selbstgebauten low-budget Kunstkopf ein räumliches Klangerlebnis zu erhalten. Auf Untersuchungen von Datenblättern existierender Kunstköpfe wird ein eigener Kunstkopf konzipiert und als Prototyp gebaut. Mit diesem Prototyp und einem Ambisonicsmikrofon als Vergleichsmikrofon werden in einem Hörtest Streichquartettaufnahmen verglichen und bewertet. Die Ergebnisse sind, dass die Kunstkopfaufnahme räumlicher, tiefer aber unechter wahrgenommen wird. Das Breiteempfinden ist zwischen den Vergleichsaufnahmen einzournden und das Gehörte wird eher außerhalb des Kopfes, mit leichtem Elevationseffekt wahrgenommen. Die Instrumentenpositionen wurden gut lokalisiert. Ein räumliches Klangerlebnis ist demnach gegeben.

Mit dieser Arbeit können sich Leser einen Überblick über das Grundprinzip des Kunstkopfes, dessen Aufnahme und der Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen verschaffen. Weiters kann sie als Anhaltspunkt für den Bau eines eigenen Kunstkopfes dienen.

Abstract

This thesis deals with the questions as to which characteristics of spatial hearing are important for the artificial head and how far it is possible to create a spatial sound experience with a self-constructed, low-budget artificial head. By datasheet examination of existing artificial heads an artificial head prototype is designed and built. With this prototype and an Ambisonics-microphone as a comparison a listening test of string quartet recordings is compared and evaluated. The results are that the prototype recording is perceived more spatially, but deeper. The perception of width is intervening between the comparative recordings, and the sound was experienced rather out of the head, with a slight elevation effect. The instrument positions are well located. According to the evaluation, a spatial sound experience with the prototype is given.

With this work, readers can get an overview of the basic principle of the artificial head, its recording and the playback of such recordings. Furthermore, it can serve as a point of reference for the construction of an own artificial head.

Inhaltsverzeichnis

Ehrenwörtliche Erklärung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Das menschliche Gehör	2
2.1 Der Aufbau des Gehörs	2
2.1.1 Das Außenohr	2
2.1.2 Das Mittelohr	3
2.1.3 Das Innenohr	3
3 Räumliches Hören	5
3.1 Ebenen der Wahrnehmung	5
3.2 Wahrnehmung einer Schallquelle	6
3.2.1 Lokalisation auf der Medianebene	6
3.2.2 Lokalisation auf der Horizontalebene	8
3.2.3 Im-Kopf Lokalisation	8
3.3 Wahrnehmung mehrerer Schallquellen	9
3.3.1 Summenlokalisierung	9
3.3.2 Präzedenzeffekt	9
3.3.3 Echo	9
3.4 HRTF	11
4 Der Kunstkopf	13
4.1 Was ist ein Kunstkopf?	13
4.1.1 Funktion eines Kunstkopfes	13
4.1.2 Wiedergabe über Kopfhörer	14
4.1.3 Unterschiede zum menschlichen Gehör	14
4.2 Entzerrung	14
4.2.1 Freifeldentzerrung	15
4.2.2 Diffusfeldentzerrung	15
4.2.3 Entzerrung außerhalb der Frei- und Diffusfeldbedingungen	15
4.3 Einsatzmöglichkeiten	16

4.3.1	Häufig verwendete Kunstköpfe	16
4.4	Ambisonics	19
4.4.1	Mathematische Beschreibung der Umwandlung	19
4.4.2	Verarbeitung des Ambisonicsrecordings in ein binaurales Signal	20
4.4.3	Pluginkette	21
5	Der FH – Kunstkopf	26
5.1	Konzept	26
5.1.1	Limitierung des Konzepts	26
5.1.2	Aufbau des Neumann KU80	26
5.1.3	Aufbaukonzept	27
5.2	Bau des Kunstkopfes	27
5.2.1	Das Mikrofon	27
5.2.2	Ohr – Mikrofonadapter	29
5.2.3	Die Ohren	30
5.2.4	Der Kopf	32
5.2.5	Fixierung der Ohren am Kopf	35
5.2.6	Materialliste	36
5.3	Handhabung des FH-Kunstkopfs	37
6	Test des Kunstkopfs	39
6.1	Recording	39
6.2	Testreihe mit Probanden	40
6.2.1	Vorbereiten des Hörtests	40
6.2.2	Durchführung des Hörtests	42
6.2.3	Evaluierung der Testergebnisse	42
7	Fazit	55
7.1	Verbesserungsmöglichkeiten des FH-Kunstkopfes	55
7.2	Zukünftige Möglichkeiten fortführender wissenschaftlicher Arbeiten	55
	Literaturverzeichnis	56
	Abbildungsverzeichnis	59
	Tabellenverzeichnis	62
	Anhang	63
A.	Kostenliste	63
B.	Hörtest mit Fragebogen	65
C.	Häufigkeitsanalyse	70

1 Einleitung

Das räumliche Hören ermöglicht es dem Menschen sich in seinem Umfeld zu orientieren. Es gibt Aufschluss über Position, Entfernung und Eigenschaften von Schallquellen. Ab Ende des 19. Jahrhunderts wurden Stereo Aufnahme- und Wiedergabeversuche durchgeführt. Diese ergaben ein realistischeres Klangerlebnis als es mit Monoaufnahmen möglich war. Damit war es aber nicht möglich das natürliche Hören, als befände sich der Hörer direkt im Aufnahmeraum, nachzubilden.

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts befassen sich Wissenschaftler der Audiotechnik damit, das natürliche Hören des Menschen mittels Aufnahme- und Wiedergabeverfahren zu reproduzieren. Mit dem Erfinden des Kunstkopfes entstand eine Aufnahmemethode genau dies über die Wiedergabe mit Kopfhörern zu erreichen.

In dieser Arbeit will ich aufgrund von aktueller Literatur zeigen, welche Eigenschaften des räumlichen Hörens für den Kunstkopf wichtig sind und aufgrund von Datenblatt-Recherchen existierender Kunstköpfe einen Kunstkopf selbst konzipieren und bauen. Ebenfalls soll mit der Durchführung und Evaluierung eines Hörtests im Vergleich mit einer Ambisonicsaufnahme dargelegt werden, inwiefern ein, mit niedrigem Budget, selbstgebauter Kunstkopf dem Hörer ein räumliches Klangerlebnis vermitteln kann.

Die Arbeit beginnt mit einer kurzen Zusammenfassung des aktuellen Wissensstandes über die Funktionalität des menschlichen Gehörs. Danach folgt das Kapitel „Räumliches Hören“, in dem erklärt wird, wie Schallereignisse von einer beziehungsweise mehreren Schallquellen wahrgenommen werden. Im Anschluss wird der Frage - „Was ist ein Kunstkopf?“ nachgegangen und die Besonderheiten des Kunstkopfs aufgezeigt. Der darauffolgende Teil der Arbeit beschäftigt sich mit dem Bau eines Kunstkopfes für die Fachhochschule St.Pölten und die Durchführung von Aufnahmen, einem Hörtest und dessen Auswertung.

2 Das menschliche Gehör

Im folgenden Abschnitt wird das Wissen über den Aufbau des Gehörs kurz zusammengefasst. Für den Kunstkopf hat nur das Außenohr des Menschen Relevanz. Zum besseren Verständnis wird aber auch ein kurzer Überblick über den Aufbau und die Arbeitsweise des Mittel- und Innenohrs gegeben.

2.1 Der Aufbau des Gehörs

Das menschliche Gehör besteht aus dem Außen-, Mittel- und Innenohr. Die Ohrmuschel und der äußere Gehörgang bilden das Außenohr. Das Trommelfell schließt den Gehörgang ab und zusammen mit den Gehörknöchelchen, der Eustachischen Röhre und dem ovalen Fenster stellen sie das Mittelohr dar. Im Innenohr befinden sich die drei Bogengänge, der Vorhof und die Gehörschnecke. (Fastl & Zwicker, 2007, S. 23–24; Wohlleben, 2009, S. 6–8)

2.1.1 Das Außenohr

Schall wird von der Ohrmuschel aufgefangen und über den 2-3 cm langen Gehörgang weiter an das 1 cm Durchmesser große Trommelfell geleitet. Der Gehörgang schützt nicht nur das Trommelfell, sondern beeinflusst auch den Frequenzgang des eintreffenden Schalles. Durch den Gehörgang entsteht zusätzlich eine hohe Empfindlichkeit des Gehörs bei Frequenzen rund um 4 kHz. Diese resultiert aus der entstehenden Resonanzfrequenz durch die Länge des Gehörganges, welche ca. einem Viertel der Wellenlänge von 4 kHz entspricht. (Fastl & Zwicker, 2007, S. 23 - 24)

Die Form des Außenohres beeinflusst die kopfbezogene Übertragungsfunktion, welche für eine korrekte Wahrnehmung von Kunstkopfaufnahmen wesentlich ist. In Kapitel 3.4 wird näher darauf eingegangen.

2.1.2 Das Mittelohr

Das Mittelohr besteht aus den Gehörknöchelchen und der Eustachischen Röhre. Die Gehörknöchelchen bilden mit dem 9mm langen Hammer, dem 7mm langen Amboss und dem 3,5mm langen Steigbügel ein Hebelsystem. Ihre Namen verdanken sie ihrer Form. Die Eustachische Röhre, auch Ohrentrompete genannt, ist mit dem Mund-Rachen Raum verbunden und ermöglicht den Druckausgleich. Trifft Schall auf das Trommelfell, wird die Energie über Hammer, Amboss und Steigbügel auf das ovale Fenster, eine ringförmige Membran des Innenohrs, übertragen.

Die Sinneszellen des Innenohrs sind mit Flüssigkeiten umgeben. Da sich die Dichte der Luft und die Dichte der Innenohrflüssigkeit unterscheiden, haben Schwingungen in diesen Medien unterschiedliche Eigenschaften. Schwingungen in der Luft besitzen hohe Auslenkungen und niedrige Schalldrücke. Schwingungen in Flüssigkeiten jedoch niedrige Auslenkungen und hohe Schalldrücke. Das Mittelohr passt die eintreffende Schwingung diesen Eigenschaften an, was Impedanzanpassung genannt wird. Diese erfolgt durch das Hebelsystem der Gehörknöchelchen und durch das Flächenverhältnis von Trommelfell zu Steigbügelfußplatte und verstärkt Schwingungen um mehr als das 20-fache. Ohne Anpassung würde es zu hohen Energieverlusten durch Reflexionen an den Flüssigkeiten kommen. (Fastl & Zwicker, 2007, S. 24–25, Ellmeier & Hellbrück, 2008, S. 46, Wohlleben, 2009, S. 4)

2.1.3 Das Innenohr

Über das ovale Fenster gelangt die Schallenergie zur Gehörschnecke. Diese ist mit zwei unterschiedlichen Flüssigkeiten gefüllt und beinhaltet unter anderem die Basilarmembran und das Corti-Organ. Die Flüssigkeiten leiten die Energie an die Basilarmembran weiter, welche diese wiederum an das Corti-Organ übermittelt. In dem Corti-Organ befinden sich die Haarzellen, welche die Schallenergie in ein vom Gehirn erfassbares Signal umwandelt. Die drei Bogengänge und der Vorhof, in dem sich die Vorhofsäckchen befinden, sind für die Bewegungsempfindung zuständig. (Fastl & Zwicker, 2007, S. 24 - 25; Wohlleben, 2009, S. 8)

In Abbildung 1 sind die obig erklärten Elemente des Gehörs schematisch dargestellt.

2 Das menschliche Gehör

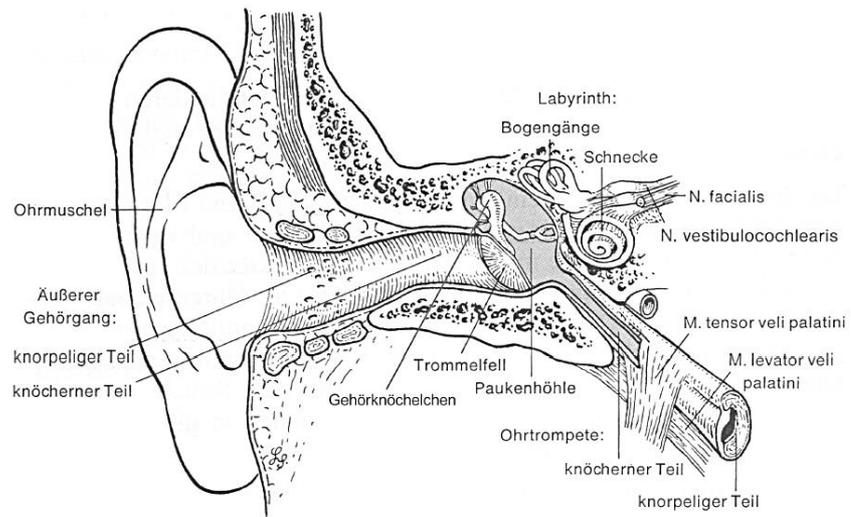


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Gehörs. (Wohlleben, 2009, S. 2)

3 Räumliches Hören

Das räumliche Hören spielt bei der Wahrnehmung von Kunstkopfaufnahmen eine wesentliche Rolle und wird daher in den folgenden Kapiteln näher behandelt.

3.1 Ebenen der Wahrnehmung

Die Ebenen der Wahrnehmung werden genutzt, um die Lokalisation von Hörereignissen zu ermöglichen. Hörereignisse sind vom Hörer subjektiv empfundene Schallereignisse.

Auf der Oberkante beider Gehörgänge des Kopfes befindet sich die interaurale Achse. Auf dieser Achse liegt genau zwischen den beiden Gehörgängen der Ursprung des Polarkoordinatensystems mit der Einteilung in die drei Ebenen (Abbildung 2). Die Horizontalebene verläuft horizontal auf Höhe der Unterkante der Augenhöhlen durch die interaurale Achse. Die Medianebene teilt den Kopf vertikal in zwei Hälften und ist rechtwinkelig zu der Horizontalebene positioniert. Die dritte Ebene wird Frontalebene genannt und trennt den Kopf ebenfalls vertikal in zwei Hälften, jedoch ist diese rechtwinkelig zu den anderen beiden Ebenen ausgerichtet. Auslenkungen auf der Horizontalebene werden mit dem entsprechenden Azimutwinkel φ und Auslenkungen auf der Medianebene mit dem entsprechenden Elevationswinkel δ angegeben. (Blauert & Braasch, 2008, S. 87–88)

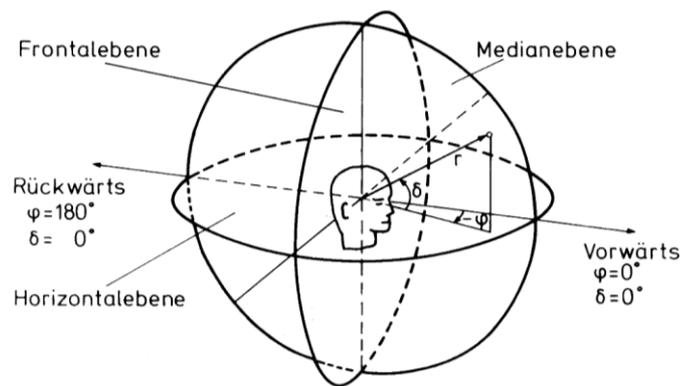


Abbildung 2: Das Polarkoordinatensystem mit Frontal-, Median- und Horizontalebene; r = Entfernung, φ = Azimutwinkel, δ = Elevationswinkel (Blauert & Braasch, 2008, S. 88)

3.2 Wahrnehmung einer Schallquelle

Die Analyse des räumlichen Hörens bei einer Schallquelle erfolgt in einem freien Schallfeld. In einem freien Schallfeld werden die reflektierten und gebeugten Schallanteile vernachlässigt und besteht daher nur aus dem Direktschallanteil des Schallfeldes. (Ahnert & Tennhardt, 2008, S. 182; Blauert & Braasch, 2008, S. 93)

3.2.1 Lokalisation auf der Medianebene

Auf der Medianebene werden Hörereignisrichtungen in die Sektoren vorne, oben und hinten eingeteilt.

Wenn Schall aus der Medianebene auf die Ohren trifft, sind beide Signale durch die Symmetrie des Kopfes beinahe identisch. Dadurch ist es möglich, die auf ein Ohr bezogenen (monauralen) Signalmerkmale der Hörereignisrichtung zuzuordnen.

In einem Experiment von Blauert aus 1969/1970 wurden Versuchspersonen mit Schmalbandsignalen, wie etwa Terzrauschen eines ist, aus verschiedenen Richtungen der Medianebene beschallt. Terzrauschen ist ein mit einem Terzfilter (Bandpassfilter) gefiltertes Rosa Rauschen, welches ein Rauschen ist, dessen Leistung um 3dB pro Oktave sinkt. Es wird Terzrauschen genannt, da der Frequenzbereich eine Terz umfasst. Die Testpersonen sollten dabei die Hörereignisrichtung auf einer vorne-oben-hinten Skala eintragen. Die Evaluierung ergab, dass die Hörereignisrichtung hauptsächlich von der

3 Räumliches Hören

Terzmittenfrequenz und nicht von der Schalleinfallrichtung abhängt. Demnach werden Schmalbandsignale unabhängig von der Schalleinfallrichtung je nach Terzmittenfrequenz von vorne (300 Hz, 3 kHz), oben (8 kHz) oder hinten (1 kHz, 10 kHz) wahrgenommen (Abbildung 3). Durch dieses Experiment wurden Frequenzbänder ermittelt, in denen eine individualspezifische Richtungsbestimmung (vorne, oben, hinten) erfolgte. Sie werden auch richtungsbestimmende Bänder genannt. (Blauert & Braasch, 2008, S. 94; Fastl & Zwicker, 2007, S. 310; Lazarus, 2007, S. 21, 29)

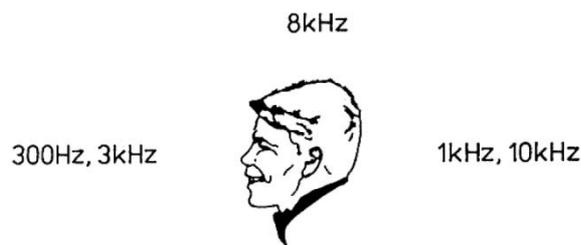


Abbildung 3: Schematische Darstellung der wahrgenommenen Richtungen auf der Medianebene bei Schmalbandsignalen mit unterschiedlichen Terzmittenfrequenzen. (Fastl & Zwicker, 2007, S. 310)

Im Gegensatz zur Schmalbandbeschallung tritt bei Breitbandsignalen, beispielsweise bei Sprache und Musik, die Wahrnehmung des Hörereignisses meist in der Schalleinfallrichtung auf. Bei Breitbandsignalen werden aufgrund der charakteristischen Filterwirkung der Außenohren bestimmte Spektralanteile verstärkt und andere abgeschwächt. Diese Anhebungen und Absenkungen entsprechen den Bändern der zugehörigen Hörereignisse in der jeweiligen Schalleinfallrichtung. Die stärksten Anteile der richtungsbestimmenden Bänder dominieren die Hörereignisrichtung. Hat das Hörereignis zum Beispiel einen hohen Frequenzanteil um 8 kHz, wird es leicht erhöht wahrgenommen (empfundener Elevationswinkel $\bar{\alpha} < 0^\circ$). Dieser Effekt wird auch Elevationseffekt genannt. (Blauert & Braasch, 2008, S. 94–95)

Die Filterwirkung des Außenohres wird in Kapitel 3.4 noch genauer beschrieben.

3.2.2 Lokalisation auf der Horizontalebene

Die Lokalisierung von Hörereignissen aus seitlicher Richtung, sprich auf der Horizontalebene, erfolgt durch Auswertung von Signalunterschieden zwischen den beiden Ohren. Die dafür herangezogenen interauralen Signalmerkmale sind die interaurale Pegel- und Zeitdifferenz. Tritt ein unterschiedlicher Schalldruckpegel zwischen beiden Ohren auf, so ergibt sich eine Pegeldifferenz ΔL . Diese Pegeldifferenz erzeugt im gesamten hörbaren Spektrum seitliche Hörereignisauslenkungen. Das bedeutet, wenn sich zum Beispiel eine Schallquelle links vom Hörer befindet, dann entstehen durch die Abschattung des Kopfes Pegeldifferenzen und mit dem rechten Ohr wird ein niedrigerer Schalldruckpegel als mit dem linken Ohr wahrgenommen. Kommt Schall zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den Ohren an, kommt es zu einer Laufzeitdifferenz Δt der vom Trommelfell erfassten Signale, welche auch Ohrsignale genannt werden. Bei Sinussignalen unterhalb von 1,6 kHz, können interaurale Zeitdifferenzen aus der Feinstruktur der Signalhüllkurven der Ohrsignale erfasst werden. Über diese Frequenz hinaus werden Phasen- und Gruppenlaufzeitdifferenz der Hüllkurven der Ohrsignale für die Lokalisation herangezogen.

Die interaurale Pegel- und Zeitdifferenz (Phasen- und Gruppenlaufzeitdifferenz) werden gemeinsam vom Gehirn ausgewertet, um die Hörereignissrichtung festzustellen. Diese können sich auch gegenseitig aufheben. Wenn sie im Widerspruch zueinander stehen, kann ein Hörereignis auch zerfallen und aus unterschiedlichen Richtungen wahrgenommen werden. (Blauert & Braasch, 2008, S. 95–98; Hauswirth, 2016, S. 1; Wohlleben, 2009, S. 8)

3.2.3 Im-Kopf Lokalisation

Bei einer Im-Kopf Lokalisation nimmt der Hörer das Hörereignis nicht in seiner Umgebung sondern im Kopf wahr. Meist tritt dieser Fall auf, wenn zwei Schallquellen den Hörer mit sehr ähnlichen oder gleichen Signalen bei sehr kurzer Entfernung zu den Ohren beschallen. Ein gutes Beispiel ist die Wiedergabe der Signale mit einem Kopfhörer. Durch Verwendung von geeigneten Entzerrfiltern kann dieser Fall jedoch vermieden werden. (Blauert & Braasch, 2008, S. 99)

3.3 Wahrnehmung mehrerer Schallquellen

Bei mehreren Schallquellen können sich grundsätzlich Schallfelder überlagern aber nicht deren zugehörigen Hörereignisse. Bei einer Schallquelle im geschlossenen Raum spricht man wegen der Reflexionen an den Wänden auch von einer Mehrschallquellen-Situation. Solche Schallquellen nennt man auch Spiegelschallquellen. Man unterscheidet zwischen drei verschiedenen Begebenheiten bei mehreren Schallquellen. (Blauert & Braasch, 2008, S. 99–100)

3.3.1 Summenlokalisierung

Zwei Schallquellen strahlen in einem Raum sehr ähnliche oder identische Signale ab. Beide Schallquellen sind auf den Hörer gerichtet und gleich weit von ihm entfernt. Für den Hörer entsteht eine gemeinsame Hörereignisrichtung, die von den Pegel- und Laufzeitdifferenzen der Schallquellensignale abhängt. Je nach Pegel- oder Laufzeitdifferenz zwischen den Signalen verschiebt sich die Hörereignisrichtung nach links oder rechts. Die Summenlokalisierung erfolgt unschärfer als bei Einzelschallquellen. Das bedeutet, dass die Hörereignisse bei Einzelschallquellen genauer lokalisiert werden können als bei der Summenlokalisierung. (Blauert & Braasch, 2008, S. 101)

3.3.2 Präzedenzeffekt

Die Anordnung der zwei Schallquellen entspricht der Anordnung in Kapitel 3.3.1. Der Präzedenzeffekt tritt dann auf, wenn eines der Signale um mehr als 1ms zeitverzögert den Hörer erreicht. Der Hörer nimmt die Hörereignisrichtung aus der Richtung der zuerst eintreffenden Wellenfront wahr. (Blauert & Braasch, 2008, S. 103)

3.3.3 Echo

Bei den später eintreffenden Wellenfronten kann ein räumlich getrenntes Hörereignis entstehen, wenn die Verzögerungszeit einen pegel- und signalabhängigen Grenzwert überschreitet. Die Grenze dieser Verzögerungszeit wird Echoschwelle genannt und kann sich zwischen 1ms und 100ms befinden. (Blauert & Braasch, 2008, S. 103)

„Bei Sprache mittlerer Sprechgeschwindigkeit kann bei 10 dB Pegelminderung zwischen erster Wellenfront (Primärschall) und verzögerter

3 Räumliches Hören

Wellenfront (Rückwurf) mit 50 ms, für Musik mit 80 ms gerechnet werden.“
(Blauert & Braasch, 2008, S. 103)

3.4 HRTF

Auf dem Weg zum Trommelfell wird das Spektrum des Schalls durch die Form und Position des Torsos, Kopfes und vor allem des Außenohres, wie in den Kapiteln 2.1.1 und 3.2.2 beschrieben, verändert. Der menschliche Körper wirkt als Hindernis im Schallfeld. Das Verhältnis der Schallwellenlänge zu dessen Größe beeinflusst die Beugung des Schalls und die betroffenen Frequenzbereiche. In Tabelle 1 sind die Teile des menschlichen Körpers in Bezug auf die einwirkenden Frequenzbereiche dargestellt. Im hochfrequenten Bereich verändert die Ohrmuschel den Schall richtungsabhängig durch Streuung, Beugung, Resonanz und Interferenz (Abbildung 4). Das Trommelfell bildet mit dem Außenohr ein Resonanzsystem und verfügt über eine frequenzabhängige Richtcharakteristik. Dieses verstärkt Eigenfrequenzen in den Bereichen von 3 kHz (Gehörgang), 5 kHz (Resonanz am Eingang des Ohrkanals), 9 kHz, 11 kHz und 13 kHz. (Wohlleben, 2009, S. 7)

Tabelle 1. Größe der Körperpartien im Zusammenhang mit den einwirkenden Frequenzbereichen. (Wohlleben, 2009, S. 7)

Teil des Körpers	Größe	Einwirkender Frequenzbereich
Kopf	18,5 cm	$f > 500\text{Hz}$
Ohrmuschel	6 cm	$f > 1,5\text{ kHz}$
Gehörgang	2,5 cm	$f > 3\text{ kHz}$

Die Veränderungen betreffen Zeit- und Pegeldifferenzen (Kapitel 3.2.2) einzelner Spektralanteile der Ohrsignale. Sie werden mit den HRTF, Head-Related Transfer Functions, oder auch Außenohr-Übertragungsfunktionen genannt, beschrieben (Abbildung 4). Da die Außenohrform bei keinem Mensch gleich ist, sind die HRTF für jeden Menschen individuell. (Blauert & Braasch, 2008, S. 90; Weinzierl, 2008, S. 586; Wohlleben, 2009, S. 6)

Eine Übertragungsfunktion beschreibt mathematisch die Änderungen, die ein Eingangssignal in einem System, in diesem Fall der Weg des Schalls vom Ursprung bis zum Trommelfell, bis zum Ausgangssignal erfährt. Das bedeutet, dass das Eingangssignal, welches in diesem Fall von der Schallquelle ausgeht, wie oben beschrieben, vom Körper des Hörers verändert wird, und auf das

3 Räumliches Hören

Trommelfell trifft. Das Trommelfell stellt hierbei das Ausgangssignal dar.
(Unbehauen, 2002, S. 199)

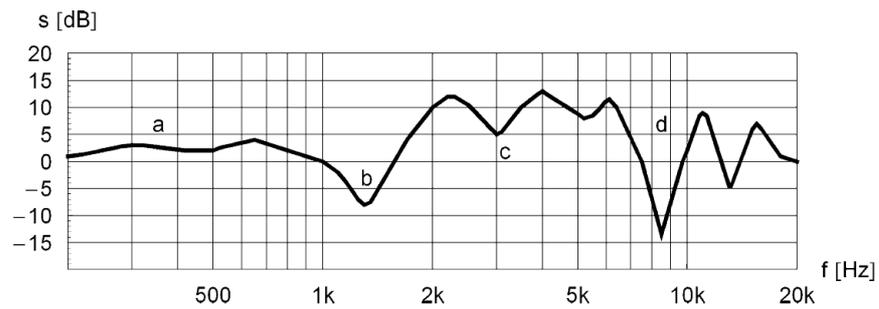


Abbildung 4: Eine typische HRTF, wenn frontal beschallt wird. A: tieffrequenter Bereich, b: Schulterreflexion, c: $\lambda/4$ - Resonanz des Ohrkanals, d: Einfluss der Ohrmuschel, nach (Daniel et al. 2007)(Schneider, 2008, S. 359)

4 Der Kunstkopf

4.1 Was ist ein Kunstkopf?

Ein Kunstkopf besteht aus einer Kopf- und Außenohrnachbildung des Menschen. Das Trommelfell wird bei beiden Ohren durch ein Mikrofon, einen Druckempfänger, ersetzt. Der Kunstkopf wird zur binauralen Aufnahme, welche den Schalldruck, der beim natürlichen Hören am Trommelfell auftritt aufzeichnet, verwendet. (Schneider, 2008, S. 359; Weinzierl, 2008, S. 586)

4.1.1 Funktion eines Kunstkopfes

Der Unterschied zwischen Aufnahmen mit einem Kunstkopf und anderen Stereoverfahren besteht in der Existenz der Außenohren, des Kopfes und des Torsos. Diese entzerren das aufgenommene Schallsignal mit der HRTF, die in Kapitel 3.4 bereits ausgearbeitet wurde. (Schneider, 2008, S. 359)

4.1.1.1 Entstehung des naturgetreuen Höreindrucks

Bei der Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen über Kopfhörer entsteht ein naturgetreuer Höreindruck, als würde man sich am Aufnahmeort befinden, wenn die HRTF des Kunstkopfes der des Hörers entsprechen. Dies ist möglich, wenn vor allem die Nachbildung des Außenohres am Kunstkopf der Form des Außenohres des Hörers gleicht. Da diese Voraussetzung für die Wiedergabe die Verwendung einer individuellen Außenohrnachbildung für jeden Hörer vorsieht, müssten für jeden Hörer kostspielige Ohrnachbildungen erstellt werden. Dies stellt allerdings je nach Höreranzahl einen großen Aufwand dar. Ein guter Lösungsansatz ist es, eine Person zu finden, dessen Kopf- und Außenohrform einen guten Höreindruck für möglichst viele Hörer bietet. Ein solcher Lösungsansatz verspricht zumindest einem Großteil der Hörer eine realere Wahrnehmung der Aufnahme. Ohne diese Lösung kommt es bei der Mehrheit der Hörer zu einer oft starken Verfälschung des Höreindrucks. (Genuit u. a., 2007, S. 3, 2007, S. 8)

4.1.2 Wiedergabe über Kopfhörer

Für eine korrekte Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen werden diese über Kopfhörer wiedergegeben. Sie leiten die Signale direkt an das Trommelfell weiter, ohne dass der Schall vorher den Abhörraum des Hörers passieren muss. Somit werden zusätzliche Störfaktoren, wie zum Beispiel Reflexionen im Raum und die Position und Form von Torso und Kopf des Hörers, die einen natürlichen Höreindruck beeinflussen, umgangen. Da der Kopfhörer am Außenohr anliegt, passiert das wiedergegebene binaurale Signal nochmals ein Außenohr, wodurch das Signal erneut gefiltert wird. In Kapitel 4.2 wird auf die Maßnahmen eingegangen, diesem Vorgang entgegenzusteuern.

4.1.3 Unterschiede zum menschlichen Gehör

Ein großer Nachteil bei Kunstköpfen ist, dass sich diese meistens in einer fixen Aufnahme-Position befinden. Der Mensch im Vergleich nutzt aber gerade die Möglichkeit der Bewegung des Kopfes zum Erhalten von zusätzlichen Informationen. Diese Art der Kopfbewegung wird Peilbewegung genannt. Peilbewegungen können Aufschluss geben, wo das Hörereignis, zum Beispiel vorne oder hinten, stattfindet. Bei statischen Kunstkopfaufnahmen ist keine Peilbewegung möglich, wodurch es zu einer Vorne-Hinten-Vertauschung kommen kann. Diese Vertauschung tritt auf, wenn der eintreffende Schall aus mehreren Einfallsrichtungen die gleiche Laufzeit- und Pegeldifferenz aufweist. In solch einer Situation kann das Gehör in statischer Kopfposition keine eindeutige Richtungslokalisation durchführen. (Slavik & Weinzierl, 2008, S. 674–676)

4.2 Entzerrung

Bei einer ordnungsgemäßen Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen soll ein Hörereignis entstehen, als ob sich der Hörer direkt bei dem eigentlichen Schallereignis befindet. Um das zu gewährleisten, müssen die aufgenommenen Signale des Kunstkopfes mit den Ohrsignalen des Hörers übereinstimmen. Dadurch, dass der Kopfhörer sich nicht direkt an der Kunstkopf-Mikrofonposition befinden kann, durchläuft das Signal am Ohr des Hörers, wie in 4.1.2 beschrieben erneut den Eingang des Ohrkanals und ändert das Schallfeld. Dieser Vorgang, sowie auch zusätzliche Übertragungseigenschaften der Kopfhörer können durch eine vorangehende Entzerrung entfernt beziehungsweise verringert werden. (Hauswirth, 2016, S. 4)

4.2.1 Freifeldentzerrung

Um einen Freifeldentzerrungsfilter zu realisieren werden abwechselnd der Kunstkopf und ein Messmikrofon mit einem Rauschen im Freifeld von vorne beschallt. Das Spektrum des Messmikrofons wird danach von dem des Kunstkopfes abgezogen und ergibt nach einer Invertierung den Filter (Abbildung 5). Wird der Kunstkopf in der Praxis nicht im Freifeld von vorne beschallt und ist freifeldentzerrt, kommt es zu einer Klangfarbenänderung, was zu einem verminderten Hörerlebnis des Hörers führt. (Hauswirth, 2016, S. 6; Schneider, 2008, S. 359)

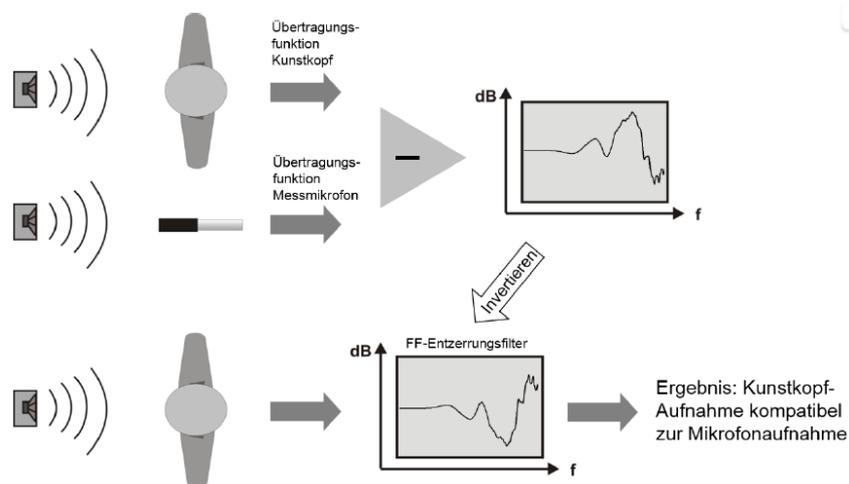


Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung der Realisierung eines Freifeldentzerrungsfilters. (Hauswirth, 2016, S. 6)

4.2.2 Diffusfeldentzerrung

Für die Realisierung eines Diffusfeldentzerrungsfilters werden wiederum der Kunstkopf und ein Messmikrofon im Diffusfeld aus allen Richtungen mit einem Rauschen beschallt. Die Spektren werden hierbei wieder subtrahiert und das Ergebnis invertiert, um die Filterkurve zu erhalten. (Hauswirth, 2016, S. 6)

4.2.3 Entzerrung außerhalb der Frei- und Diffusfeldbedingungen

In der realen Anwendung kommt es oft vor, dass die Bedingungen für eine Kunstkopfaufnahme mit Freifeld- oder Diffusfeldentzerrung nicht gegeben sind. Viele Kunstkopfhersteller ziehen es aber vor, ihre Kunstköpfe mit Diffusfeldentzerrung herzustellen, wie zum Beispiel Neumann, da sie hauptsächlich im Diffusfeld Anwendung finden. Falls keiner der beiden Fälle eintritt, haben manche Hersteller eine weitere Entzerrungsmöglichkeit verfügbar gemacht. Die Firma Head acoustics bietet unter anderem eine auf

mathematischen Berechnungen basierende Independent-Direction(ID)-Entzerrung an. (Hauswirth, 2016, S. 5–6; Schneider, 2008, S. 359)

„Die ID-Entzerrung filtert nur die durch Resonanzen verursachten, richtungsunabhängigen Anteile der Übertragungsfunktion aus dem Kunstkopfsignal heraus.“ (Hauswirth, 2016, S. 6)

4.3 Einsatzmöglichkeiten

Kunstköpfe werden in der akustischen Messtechnik in vielen unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Sie können zum Beispiel für Messungen der Raumakustik, von Kopfhörern, Lärm oder auch von Geräuschkulissen in Fahrzeugen verwendet werden. Neben der Messtechnik finden Kunstköpfe auch in Hörspielaufnahmen, in der Dokumentation von Naturaufnahmen und Konzerten, sowie auch als Einspielkontrolle in Theatern oder Sälen Verwendung. (Neumann, o. J., S. 4)

4.3.1 Häufig verwendete Kunstköpfe

Im professionellen Bereich werden unter anderem Kunstköpfe von den Firmen Neumann und Head Acoustics verwendet. Diese unterscheiden sich wesentlich in den Leistungsmerkmalen.

4.3.1.1 Neumann

Die Firma Neumann setzt seit dem KU81 auf eine Diffusfeldentzerrung, welche eine Lautsprecherwiedergabe mit geringeren Klangfarbefehlern ermöglicht. Das aktuellste Modell ist der KU100 (Abbildung 6), welches vorwiegend für Sprach- und Musikaufnahmen eingesetzt wird. (Weinzierl, 2008, S. 587)

Der KU100 verfügt neben der Diffusfeldentzerrung auch über einen einstellbaren Hochpassfilter und über eine schaltbare 10dB-Dämpfung. (Neumann, o. J., S. 3)



Abbildung 6: Der KU100 von Neumann mit Querschnitt und Ansicht des Anschlussfeldes.(Neumann, o. J.)

4.3.1.2 Head Acoustics

Die Kunstköpfe von Head Acoustics werden vorrangig als Messsystem im Bereich Raumakustik oder akustischem Produktdesign verwendet. Die Unterschiede zu dem KU100 liegen darin, dass bei den Produkten von Head Acoustics Kopf und Torso mithilfe von mathematischen Funktionen geformt sind. Weiters besitzen Kunden die Möglichkeit zwischen Freifeld-, Diffusfeld- und benutzerspezifischer Entzerrung auszuwählen, welches die Anpassung an unterschiedlichste akustische Verhältnisse ermöglicht. (Weinzierl, 2008, S. 587)

Eines der aktuellen Modelle ist der HMS IV.1 (Abbildung 7).



Abbildung 7: Bild des HMV IV.1 mit beiliegender Bluetooth Fernsteuerung und Bluetooth RS232 Adapter.(Head Acoustics, 2014)

Neben den oben genannten Firmen sind auch noch die Kunstköpfe der Firmen Brüel & Kjær und G.R.A.S. (Abbildung 8) zu erwähnen. Brüel & Kjær setzen auf eine stilisierte Kopf-Torso Modellierung statt einer mathematisch berechneten und die KEMAR-Serie von G.R.A.S. bevorzugen eine detailgetreue Nachbildung mit der Möglichkeit die Außenohrmodelle auszuwechseln. (Weinzierl, 2008, S. 587)



Abbildung 8: links: Kunstkopf der KEMAR-Serie von G.R.A.S. („Kemar“, o. J.), rechts: Kunstkopf TYPE-4128C von Brüel & Kjær („TYPE 4128-C HATS - Brüel & Kjær Sound & Vibration“, o. J.)

4.4 Ambisonics

Als Vergleichsaufnahme für den Hörtest wurde von Masterstudenten Ambisonicsaufnahmen, welche mit einem Oktava MK-4012 (Abbildung 9) aufgenommen wurden, zur Verfügung gestellt.

„Das Soundfield-Mikrofon basiert auf einer mathematischen Theorie der Schallfeldabtastung auf einer kugelsymmetrischen Oberfläche (Gerzon 1975).“ (Weinzierl, 2008, S. 591)

Aufnahmen, bei denen man das Ambisonics-Verfahren anwenden kann, werden mit einem Soundfield-Mikrofon erstellt. Es ist dem MS-Verfahren ähnlich, wird aber auf drei Raumdimensionen erweitert. Im Vergleich zum regulären MS-Verfahren liefert das Soundfield-Mikrofon ebenfalls einen Druckanteil (*W*-Signal), jedoch statt einem Gradientenanteil drei, nämlich in *X*-, *Y*- und *Z*-Richtung. In *X*-Richtung wird das vorne-hinten Signal, in *Y*-Richtung das links-rechts Signal und in *Z*-Richtung das oben-unten Signal aufgezeichnet. Es besteht aus vier Mikrofonkapseln mit einer breiten Nierencharakteristik, welche in einem Tetraeder angeordnet sind. Das Ausgangssignal wird als A-Format bezeichnet. Dieses besteht aus vier Teilsignalen, Left Front (LF), Right Front (RF), Left Back (LB) und Right Back (RB). Mittels Summen- und Differenzbildung werden diese Signale in das B-Format umgewandelt. Dies kann man mittels eines Matrizierungscontrollers bewerkstelligen. Ein solcher Controller erlaubt es oft zusätzlich die Gewichtung und Phasenlage, sowie eine Drehung der Richtcharakteristik vorzunehmen. (Weinzierl, 2008, S. 591–592)

4.4.1 Mathematische Beschreibung der Umwandlung

Die Matrizierung erfolgt durch Addierung und Subtrahierung der einzelnen Signale, zum Beispiel mit einem nachgeschalteten Controller. Je nach Anordnung der Mikrofonkapseln werden die Signale unterschiedlich matriziert. Diese Aufgabe kann auch mit separaten Plugins in einem DAW durchgeführt werden. Folgende Matrizierung von A-Format auf B-Format gilt bei einer Standardanordnung:

$$W = LF + LB + RF + RB$$

$$X = LF - LB + RF - RB$$

$$Y = LF + LB - RF - RB$$

$$Z = LF - LB - RF + RB$$

(Weinzierl, 2008, S. 593)

4.4.2 Verarbeitung des Ambisonicsrecordings in ein binaurales Signal

Um die Ambisonicsaufnahme in ein binaurales Signal umzuwandeln, verwendete man die kostenlos verfügbaren Plugins ambiX v.0.2.7 – Ambisonic plug-in suite, von Matthias Kronlachner, und das Ambisonics Toolkit (ATK) für das DAW-Reaper.



Abbildung 9: Ein Bild des Oktava MK-4012 4-D A-Format Mikrofons, welches für die Vergleichsaufnahmen verwendet wurde. („MK-4012 4-D Ambisonic A-format Mikrophon“, o. J.)

Das Ausgangsformat von Ambisonicsaufnahmen ist, wie im vorigen Kapitel erklärt, das A-Format, welches für die binaurale Verwendung in das B-Format konvertiert werden musste. Dafür wurden alle vier Signale mit der Freeware Software Audacity in ein wav-File interleaved. Dabei musste auf die korrekte Reihenfolge der Signale geachtet werden, damit die Konvertierung korrekt funktionierte. Diese Reihenfolge war von der Platzierung des Mikrofons während der Aufnahme abhängig. Bei korrekter Aufstellung (Abbildung 10) ergab sich eine Reihenfolge von Out 1, Out 2, Out 3, Out 4. Danach wurde zu dem DAW-Reaper gewechselt und es kam eine Reihe von Plugins aus den zwei, oben genannten Pluginsammlungen zum Einsatz, auf die im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird.

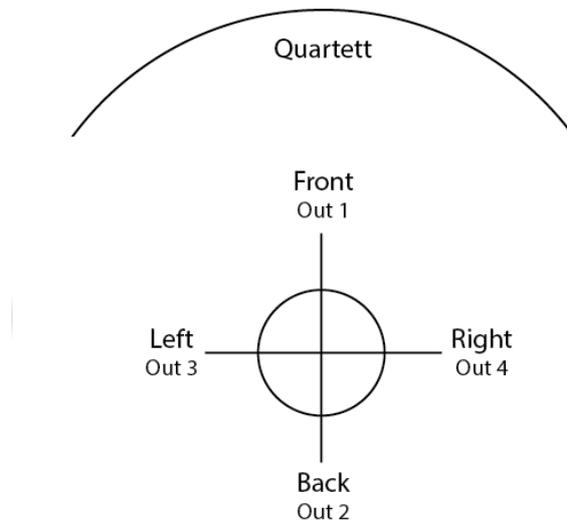


Abbildung 10: Die korrekte Aufstellung des Oktava MK-4012 mit den zugeordneten Outputs der Mikrofonkapseln.

4.4.3 Pluginkette

Zuerst wird das wav-File mit dem „ATK FOA Encode AtoB“ Plugin (Abbildung 11) in das B-Format umgewandelt. Hierbei kann man zwischen unterschiedlichen Orientierungen des Ambisonics Mikrofons und einer Gewichtung wählen. Die Orientierung des Oktavas ist Front & Back UP (F BU BLD BRD), da bei Standardaufstellung die Front- und Back-Kapseln nach oben gerichtet sind. Als Gewichtung wurde Cardioid gewählt, da das Oktava MK-4012 aus vier Mikrofonkapseln besteht, die jeweils eine Cardioid Richtcharakteristik besitzen. Wird die Gewichtung geändert, findet eine Änderung des Pegels statt.

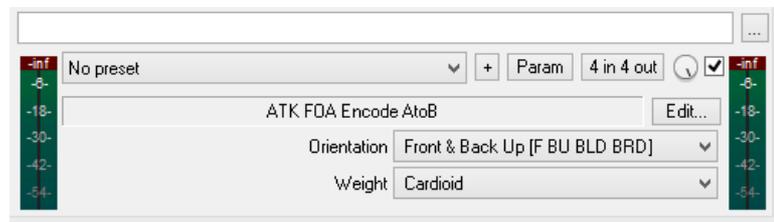


Abbildung 11: GUI des AtoB Plugins des Ambisonics Toolkits (ATK) mit den vorgenommenen Einstellungen.

Für die weitere Verarbeitung musste das B-Format in das AmbiX Format umgesetzt werden, da die ambiX – plug-in suite mit diesem Austauschformat arbeitet. Das hier wählbare „Target format“ (Abbildung 12) spielt für die weiteren Plugins keine Rolle, da die ambiX – plug-in suite beide Formate unterstützt.

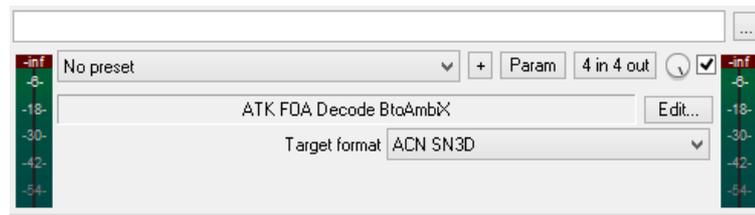


Abbildung 12: GUI des BtoAmbiX Plugins des Ambisonics Toolkits (ATK).

Nach dem Umwandeln in das Ambix-Format verwendete man das Plugin „ambix_encoder_i4_o3“ der ambiX plug-in-suite (Abbildung 13). Das „i4“ des Pluginnamens beschreibt die Anzahl der eingehenden Signale. Da das Oktava MK-4012 vier Signale ausgibt, wurde ein encoder-plugin mit vier Eingängen gewählt. Das „o3“ des Pluginnamens bedeutet „3. Ordnung“. Das heißt, dass 2^4 , also 16 Richtungsanteile aus den vier eingehenden Signalen berechnet werden. Dementsprechend entstanden 16 Ausgangskanäle. Der Ambix-Encoder ist ein panning Plugin, welches es ermöglichte, die Signale im Raum zu manipulieren. Mit dem „azimuth“ Regler konnte der Azimuthwinkel, also die Position auf der Horizontalebene und mit dem „elevation“ Regler der Elevationswinkel, also die Position auf der Medianebene der vier Eingänge eingestellt werden (Kapitel 3.1). Diese Einstellungen können auch grafisch durch bewegen der gelben Kugeln (Abbildung 13) vorgenommen werden. Der „size“ Regler ermöglichte es, die Größe der Signale zu ändern und der „multiple source width“ Regler ließ eine Modifizierung der empfundenen Breite der Eingänge zu. Die GUI-Elemente im violetten Rahmen wurden nicht verwendet.

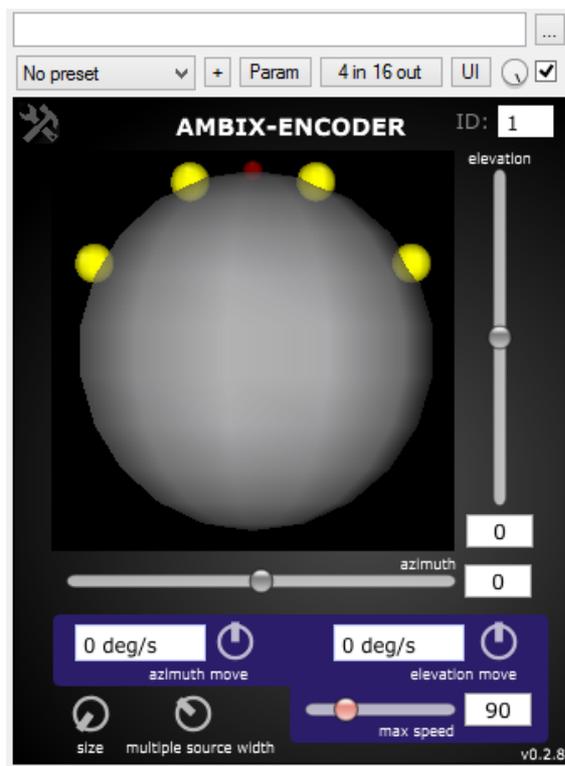


Abbildung 13: Das GUI des Ambix-Encoders dritter Ordnung mit vier Eingängen und den Einstellungsmöglichkeiten „size“, „multiple source width“, „azimuth“ und „elevation“.

Um die 16 Signale binaural verfügbar zu machen wurde das Plugin „ambix_binaural_o3“ (Abbildung 14) verwendet. Dieses ermöglichte es zwischen verschiedenen Presets zu wählen. Diese Presets erzeugen eine unterschiedliche Anzahl von virtuellen Lautsprechern in beliebiger Anordnung. Hier wählte man das Preset „quader-o3“, welches acht virtuelle Lautsprecher in einer Quaderanordnung erzeugte und für Signale dritter Ordnung ausgelegt war. Zusätzlich ermöglichte das Plugin Impulsantworten zu laden und auch den Lautstärkepegel anzupassen. Zum Schluss wandelte es die auf acht virtuelle Lautsprecher aufgeteilten 16 Kanäle in zwei Kanäle um, was erlaubt die binaurale Aufnahme mit Kopfhörer wiederzugeben.

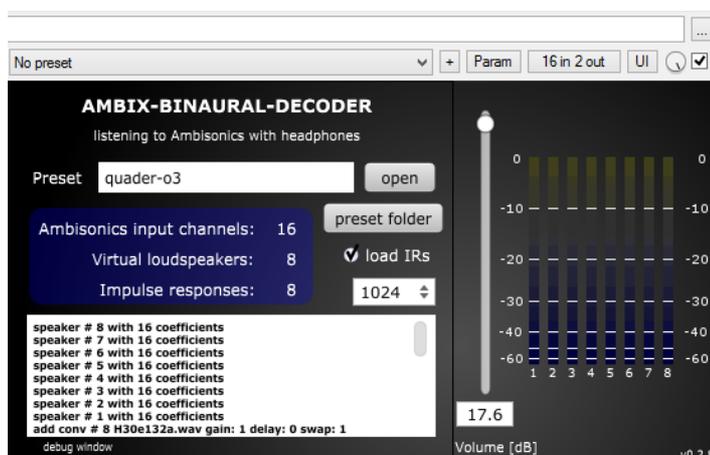


Abbildung 14: Das GUI des Ambix-Binaural-Decoders mit einer Übersicht der Input Channel und dem verwendeten Decodierungs-Presets.

Komplikationen beim ersten Verarbeitungsversuch

Beim ersten Versuch wurden die vier Signale der Aufnahme nach in der bereits beschriebenen Standardreihenfolge mit Audacity als wav interleaved. Die Pluginkette wurde wie oben bereits erläutert angewendet, jedoch entsprach das Ergebnis nicht der Original-Aufnahmesituation. Die Aufstellung des Streichquartetts bestand wie es üblich ist aus zwei Violinen, einer Bratsche und einem Violoncello. Diese wurden auch so, von links nach rechts platziert. Beim Anhören der verarbeiteten Ambisonicsaufnahme war die erste Violine jedoch rechts zu hören und die empfundene Position des Quartetts war nicht wie erwünscht vor dem Hörer. Daher versuchte man mit den Plugins „ambix_mirror_o3“ und „ambix_rotator_z_o3“ die originale Position und Wahrnehmung durch Spiegelung und Drehung der Signale wieder herzustellen. Als dies keinen Erfolg mit sich brachte, war der nächste Schritt das Überprüfen der korrekten Reihenfolge der vier interleaved Signale. Demnach wurden die Signale „out 1“ und „out 2“ miteinander verglichen. Dies ergab, dass das Signal von „out 1“, welches bei Standardaufstellung direkt auf das Streichquartett gerichtet ist, einen geringeren Pegel als das von „out 2“ aufwies. Die Mikrofonkapsel von „out 2“ ist bei Standardaufstellung komplett von dem Quartett abgewendet, daher sollte der obig genannte Fall nicht vorkommen können. Danach wurde die Signale von „out 3“ und „out 4“ verglichen. Das Resultat war, dass die erste Violine auf dem Signal von „out 4“ stärker als auf dem von „out 3“ abgebildet war. Die Schlussfolgerung war, dass das Oktava MK-4012 bei der Aufnahme wohl um 180° verdreht aufgestellt worden war. Daher war die Lösung die vier Signale in einer anderen Reihenfolge in ein wav-File zu verschachteln, nämlich vorne mit hinten und links mit rechts vertauscht (Abbildung 15). Die

4 Der Kunstkopf

Reihenfolge „out 2, out 1, out 4, out 3“ ergab dann in der Pluginkette das gewünschte räumliche Ergebnis.

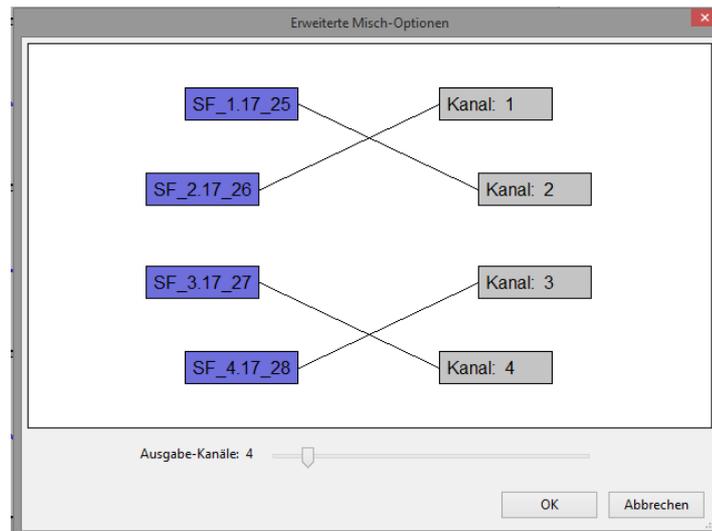


Abbildung 15: „Erweiterte Misch-Optionen“ – Export Ansicht von Audacity mit bereits korrekt vertauschten Signalen.

5 Der FH – Kunstkopf

5.1 Konzept

Um einen Überblick zu bekommen, wie ein Kunstkopf aufgebaut ist, wurden in dieser Arbeit das Datenblatt und Bilder des früher häufig verwendeten Neumann KU80 recherchiert. Ebenfalls sind Treffen mit dem ehemaligen Chefmaskenbildner des Burgtheaters, Herbert Zehetner, abgehalten worden. Das folgende Aufbaukonzept ist das Resultat der Kunstkopf-Recherchen und dieser Treffen.

5.1.1 Limitierung des Konzepts

Die grundsätzliche Limitierung für den Bau des Kunstkopfes liegt bei dem niedrig angesetzten Budget von 700€. Eine weitere Limitierung besteht im Rahmen des Aufwandes für die Bachelorarbeit. Dementsprechend wird auf zusätzliche Schaltungen, wie sie sich beispielsweise im Neumann KU100 befinden, verzichtet. Ebenfalls wird in dieser Arbeit von einer Entzerrung des Mikrofons und einer Entzerrung des Abhörkopfhörers abgesehen.

5.1.2 Aufbau des Neumann KU80

Der Aufbau des Neumann KU80, ein 80er Jahre Vorgänger des Neumann KU100, hat das Konzept des FH – Kunstkopfs maßgeblich inspiriert. Der Querschnitt des KU80 (Abbildung 16) zeigt, dass zwei Neumann KM83i Kondensatormikrofone senkrecht im Kunstkopf platziert sind. Diese werden von unten durch zwei XLR Kabel angeschlossen. Die Mikrofone sind mit jeweils einem dreiseitigen Prisma verbunden, auf dem sich eine Ohrennachbildung befindet. Die Prismen deuten an, dass die Ohrennachbildungen austauschbar sind. Zwischen den Mikrofonen befindet sich eine Gewindestange und in der Mitte des Kopfes eine Gewindehülse, mit denen der Kunstkopf von außen zusammengeschaubt werden kann. Ebenfalls verfügt der KU80 über ein Winkelstück mit Gewinde, das zwischen den Kopfhälften platziert werden kann, um eine hängende Befestigung zu ermöglichen. (Kürer, Plenge, & Wilkens, 1975, S. 2)



Abbildung 16: Der Querschnitt des KU80 Kunstkopfes von Neumann mit Blick auf die Mikrofone und die Ohrblöcke. („NEUMANN KU80 i Vintage Kunstkopf Kondensator Stereo Mikrofon KU-80 #ohne“, o. J.)

5.1.3 Aufbaukonzept

Der Kunstkopf soll aus einem Kunststoff Deko-Kopf gebaut werden und wie der KU80 aufgeschnitten werden. Danach wird er mit PU-Schaum ausgefüllt. Teile des ausgehärteten PU-Schaums sollen herausgeschnitten werden, um eine korrekte Platzierung des Mikrofons und der Ohren ermöglichen zu können. In der Vorderseite sollen Gewindestangen eingefügt werden, um das Zusammenfügen beider Kopfhälften zu ermöglichen. Als Mikrofon wird ein Stereo-Kondensatormikrofon verwendet. Die Mikrofonkapseln werden von dem T-Stück getrennt und mit Kabeln verlängert. Von zwei StudentenkollegInnen werden Ohrenabdrücke aus Silikon gegossen, welche auswechselbar sein müssen. Die Ohren sollen von innen verschraubt oder mit Gegendruck, zum Beispiel durch Schaumstoff, an die Kopfwand gepresst werden. Ein Adapter soll die Mikrofonkapseln mit den Gehörgängen verbinden und den richtigen Abstand zwischen Gehörgang und Mikrofonmembran herstellen.

5.2 Bau des Kunstkopfes

5.2.1 Das Mikrofon

Auf Empfehlung von FH-Prof. Andreas Büchele wurde das ORTF Mikrofon S502 von Superlux für den Kunstkopf verwendet. Dieses wurde, um in den Deko-Kopf

5 Der FH – Kunstkopf

zu passen mit Unterstützung des AV Studioteknikers Krzysztof Ludwinski, Department Medien und Digitale Technologien der FH-St.Pölten, modifiziert.

Beide Mikrofonkapseln wurden von dem T-Stück des Gehäuses, in dem sich der Vorverstärker befindet, abgeschraubt. Mit jeweils einem 15 cm langen, einadrigen, abgeschirmten Kabel wurden die Mikrofonkabel wieder mit dem Gehäuse verbunden. Da bei den Mikrofonkapseln die Masse über das Metallgehäuse geleitet wird, können diese nicht gelötet werden. Zur Abhilfe wurde auf die Abschirmung ein Ringkabelschuh gecrimpt. Dieser wurde auf das Gewinde der Mikrofonkapseln geschraubt und bildete die Masseverbindung. Die Ader des verlängerten Kabels wurde mit dem Kabel der Mikrofonkapsel, welche das Nutzsignal leitet, verlötet und mit einem passenden Schrumpfschlauch isoliert. Das andere Ende des Kabels wurde im Vorverstärker angelötet und die Abschirmung an der Gehäuseverschraubung fixiert. Somit wurde die Masse des Gehäuses mit den Mikrofonkapseln (Abbildung 17) verbunden.



Abbildung 17: Die Mikrofonkapsel mit bereits angelöteter Verlängerung.

Bei Testaufnahmen trat allerdings öfters ein Brummen auf, welches durch eine unzureichende Masseverbindung erzeugt wurde. Daraufhin wurden zusätzlich Kupfer-Abschirmschläuche mit 2 cm Durchmesser über die Verbindungskabel gestreift und bei dem T-Stück und den Mikrofonkapseln mit Isolierband behelfsmäßig fixiert (Abbildung 18). Nach weiteren Tests trat kein Brummen mehr auf.



Abbildung 18: Das Mikrofon mit dem Kupfer-Abschirmschlauch.

5.2.2 Ohr – Mikrofonadapter

Damit eine zuverlässige Verbindung zwischen den Gehörgängen und den Mikrofonkapseln hergestellt und die Austauschbarkeit der Ohren und des Mikrofons gewährleistet werden konnte, wurde ein Mikrofonadapter in Maya 2016 modelliert (Abbildung 19) und mit 100% Infill 3D-gedruckt. In die kapselseitige Öffnung beider Adapter, wurde zusätzlich noch ein Dichtungsring mit 1 cm Durchmesser geklebt (Abbildung 20). Dieser Übergang schließt die Verbindung zwischen Adapter und Kapseln und ermöglicht es, dass der Schall nur in einem 1 cm Durchmesser (Trommelfelldurchmesser) des Gehörganges auf die Mikrofonkapseln trifft.

Der Adapter misst gehörgangsseitig einen Außendurchmesser von 8mm und einen Innendurchmesser von 6mm. Der Innendurchmesser erweitert sich ab der halben Länge konusförmig auf 1cm. Mikrofonseitig umschließt der Adapter die Kapsel und schließt mit dem Dichtungsring ab.

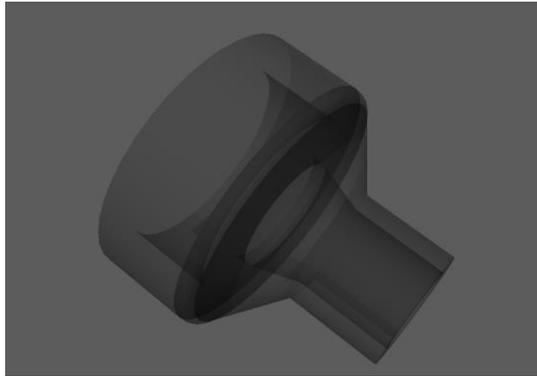


Abbildung 19: 3D-Modell des Ohr – Mikrofon Adapters in Maya.

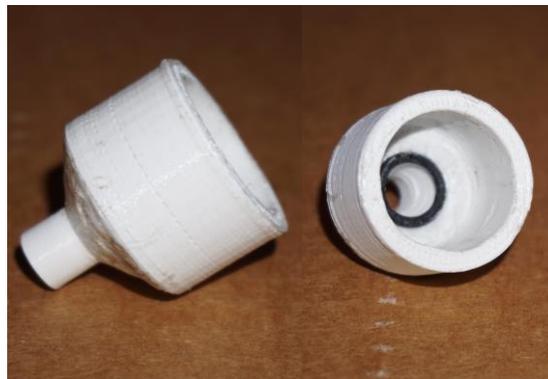


Abbildung 20: Der gedruckte Adapter mit Seitenansicht und Innenansicht auf den Dichtungsring.

5.2.3 Die Ohren

Die Ohrenformen wurden zwei StudienkollegInnen abgenommen. Die Ohrabdrücke wurden mit zwei-Komponentensilikon von Herbert Zehetner und der Maskenbildnerin Gaby Grünwald angefertigt. Vor dem Auftragen des Silikons, wurde eine Latexhaube über die Haare gestrifen und beim Haaransatz mit Hautkleber fixiert, um eine glatte Oberfläche für das Silikon zu erreichen. Ein kleiner Wattebausch wurde als Abstandhalter in den Gehörgang eingeführt. Somit konnte das Silikon nicht zu tief in den Gehörgang fließen und das Trommelfell nicht verletzt werden. Danach wurde das Silikon schichtweise aufgetragen und mit Gips eine Stützform aufgebaut. Nach der Trocknungszeit von circa 15 Minuten konnte der Abdruck abgenommen werden (Abbildung 21).



*Abbildung 21: links: Zwischenstand beim Aufbringen des Silikons
mitte: Anbringen der Stützform aus Gips
rechts: fertiger Form des Ohrenabdrucks*

Mit Knetsilikon wurde ein 2 cm hoher Steg am Rand der Abdruckform angebracht und der Gehörgang mit einem 6 mm Gummischlauch für das Füllen mit Silikon verlängert. Danach wurde das Silikon eingefüllt. Nach dem Trocknen wurde der Schlauch entfernt und durch den 2 cm hohen Steg ergab sich eine Gehörgangslänge von ca. 2 cm. Nach dem Herauslösen des Silikons aus den Ohrenformen, waren die Silikonohren zur Verwendung bereit (Abbildung 22).



Abbildung 22: Die zwei fertiggegossenen Silikonohr-Paare.

5.2.4 Der Kopf

Kopfform

Für eine passende Kopfform wurde das Internet nach Schaufensterköpfen durchsucht, wobei es wichtig war, dass dessen Maße denen eines durchschnittlichen Menschen glichen. Bei der Firma „E&E Collection GmbH“ aus Frankfurt wurden drei gleiche, schwarze Deko-Köpfe aus Kunststoff bestellt, welche diese Voraussetzung erfüllten. Es wurden mehrere Köpfe bestellt, um Reserven zu haben, falls ein Kopf während des Baus beschädigt werden würde.

Bau

Der Deko-Kopf war im Inneren hohl. Die Dicke des Kunststoffes variierte je nach Stelle zwischen 3 mm und 7 mm. Der Kopf wurde mit einem Stanley-Messer der Schweißnaht entlang komplett aufgeschnitten (Abbildung 23).



Abbildung 23: Der an der Schweißnaht aufgeschnittene Deko-Kopf.

Als Fixierung der beiden Kopfseiten kamen ähnlich wie bei dem KU80 vier Gewindestangen zum Einsatz. Damit sich die Stangen durch die Zugkraft nicht herauslösen könnten, wurde eine Zugentlastung gebaut. Sie bestand aus einer M6 Muttermutter, einer gebogenen Unterlegscheibe mit 3 cm Durchmesser und einer M6 Sechskantmutter, welche an einem Ende jeder Gewindestange in beschriebener Reihenfolge montiert wurde. Somit entstand eine Zugentlastung (Abbildung 24), welche die einwirkende Zugkraft auf das Füllmaterial übertrug.



Abbildung 24: Die Gewindestangen mit Blick auf die Zugentlastung.

Als Füllmaterial verwendete man zwei-Komponenten PU-Schaum, da dieser gut abdichtete und nach dem Aushärten leicht zu bearbeiten war. Die Gewindestangen wurden wie folgt im Kopf platziert und danach schrittweise mit PU-Schaum und Draht befestigt: eine auf Stirnhöhe, eine mittig im Hals und zwei jeweils links und rechts im unteren Drittel des Torsos. Danach füllte man den Rest dieser Kopfseite mit PU-Schaum auf (Abbildung 25).



Abbildung 25: Die gefüllte Vorderseite des Kopfes inklusive Gewindestangen.

In die Rückseite des Deko-Kopfes wurden Löcher für die Gewindestangen gebohrt. Die Stangen richtete man an der Vorderseite des Kopfes passend aus, um später das problemlose Zusammenfügen beider Kopfteile zu bewerkstelligen. Vor dem Füllen mit PU-Schaum wurden an der Kopfrückseite Kunststoffrohre mit 1 cm Durchmesser an die zuvor gebohrten Löcher mit Heißkleber geklebt, wodurch Führungskanäle für die Gewindestangen entstanden.

Um Platz für die Silikonohren zu schaffen entfernte man auf beiden Seiten des Kopfes Teile des Schaums und die am Deko-Kopf angedeuteten Ohren. Danach

passte man das Mikrofon in den Schaum der Vorderseite des Kopfes ein. In die Rückseite des Kopfes wurde noch ein Loch für die Kabelbuchse des Mikrofons gebohrt.

Nach der Aufnahme des Quartetts löste sich der PU-Schaum durch schlechte Vermengung der zwei Komponenten aus der Vorderseite des Kunstkopfes. Bevor der Teil des Kopfes wieder gefüllt wurde, formte man aus Karton eine Ausnehmung für die Silikonblöcke der Ohren, welche man mit Heißkleber am Kunststoff des Kopfteiles klebte (Abbildung 26).



Abbildung 26: Die Vorderseite des Kopfes mit der Führung aus Karton.

Die Gewindestangen wurden erneut platziert und mit Draht fixiert. Diesmal verwendete man zum Füllen Brunnenschaum, da sich dieser besser mit dem Kunststoff des Kopfes verband. Die Ausnehmungen für das Mikrofongehäuse und die Mikrofonkapseln wurden wieder hergestellt. Zusätzlich wurden Kabelkanäle für die Kabel des Mikrofons in den Schaum eingepasst und mit Montagekleber befestigt. An dem Punkt, wo sich beide Kabel wieder trafen, wurde der Kabelkanal mit einem Deckel verschlossen. Somit war das Mikrofon ausreichend fixiert, um nicht herauszufallen.

Um Beschädigungen des Schaumes zu verhindern, entfernte man an der Rückseite des Kopfes circa 0,5 cm des Schaumes und füllte den Höhenunterschied mit Silikon aus. Die Vorderseite des Kunstkopfes wurde ebenso mit Montagekleber ausgefüllt, da dieser eine geringere Trocknungszeit hatte und eine härtere Oberfläche lieferte. Er bot auch zusätzlich Halt am Kunststoff, welches das Herauslösen des PU-Schaums verringerte (Abbildung 27).



*Abbildung 27: links: Die Vorderseite mit Blick auf die in Montagekleber eingebetteten Kabelkanäle
rechts: Die Rückseite mit bereits angebrachtem Silikon*

5.2.5 Fixierung der Ohren am Kopf

Vor der Fixierung der Ohren, musste ein nahtloser Übergang zwischen der Kopföffnung und den Silikonohren hergestellt werden. Hierbei wurden sie an der jeweiligen Öffnung des Kopfes in korrekter Lage positioniert und die Öffnung am Ohr angezeichnet. Von dieser Markierung aus wurde 4 mm Silikon mit dem Skalpell entfernt (Abbildung 28), was die Ohren von innen nahtlos und in korrekter Position in die Öffnung versenken ließ.



Abbildung 28: Das fertig gegossene Silikonohr mit bereits circa 4mm entferntem Silikon rund um die Ohrmuschel.

Nach der Positionierung wurden kleine Schaumstoffblöcke in den Kopf zwischen Ohr und Füllmaterial geklemmt, damit genügend Druck auf das Ohr wirkte, um es in der vorgegebenen Position zu halten (Abbildung 29).



Abbildung 29: Die Fixierung des Silikonohrs mit Schaumstoff.

5.2.6 Materialliste

Das meiste Material wurde bei der Firma Hagebaumarkt und der Firma Conrad erworben. Schaumstoff, sowie der Brunnenschaum und die Kabelkanäle wurden selbst zur Verfügung gestellt. Die Kostenliste ist der Arbeit im Anhang beigelegt.

5.3 Handhabung des FH-Kunstkopfs

Für die korrekte Handhabung des FH-Kunstkopfs ist es wichtig mehrere Punkte beim Zusammenbau und beim Auswechseln von Komponenten zu beachten.

Wechseln der Ohren

Um die Silikonohren auszutauschen, entfernt man zuerst den Kunststoffadapter der Mikrofonkapsel aus den Gehörgängen der Silikonohren. Danach löst man die Schaumstoffblöcke und kann so die Silikonohren problemlos herausnehmen. Für das Einfügen der Silikonohren platziert man diese zuerst an der Ohrausnehmung des Kunststoffkopfes, sodass sich ein so gut wie nahtloser Übergang zwischen Kunststoff und Silikon ergibt. Dann setzt man die Schaumstoffblöcke am oberen und unteren Rand und in der Mitte der Silikonohren so ein, dass die Ohren an die Außenseite gepresst werden. Die Silikonohren sollten sich danach nicht mehr bewegen lassen. Nun muss nur noch der Adapter in den Gehörgang der jeweiligen Ohren eingefügt werden. Es ist einfacher, den Adapter mitsamt der Mikrofonkapsel im Gehörgang zu platzieren, statt die Mikrofonkapsel nachträglich mit dem Adapter zusammenzufügen.

Wechseln des Mikrofons

Will man das Mikrofon aus Wartungsgründen oder Ähnlichem austauschen, entfernt man ebenfalls die Adapter mitsamt den Mikrofonkapseln aus den Gehörgängen. Im Anschluss entfernt man die Abdeckung des Kabelkanals. Falls sich dieser nicht entfernen lässt, kann man diesen so weit auf einer Seite öffnen, dass man die Kabel gut ausfädeln kann. Nachfolgend entnimmt man den anderen zwei Kabelkanälen die Kabel und kann so das Mikrofon warten beziehungsweise austauschen.

Das Einbauen des Mikrofons erfolgt gleich wie der Ausbau. Allerdings ist es wichtig, zuerst die Mikrofonkapsel des rechten Ohres zu platzieren und danach die zweite Mikrofonkapsel darauf zu legen. Danach muss einfach wieder der Kabelkanal mit dem Deckel verschlossen und die Adapter in die Gehörgänge eingesetzt werden.

Zusammenfügen beider Kopfteile

Sind Ohren und Mikrofon ausreichend fixiert, stellt man beide Seiten des Kopfes auf eine waagrechte Oberfläche. Nun führt man die oberen und unteren Gewindestangen gerade mit den korrespondierenden Kunststoff-Führungsrohren zusammen. Man bemerkt dabei, dass die Gewindestange auf Halshöhe nicht exakt der Höhe des dafür gedachten Führungsrohres entspricht. Diese muss an

der Spitze nur etwas nach oben gedrückt und danach eingefädelt werden. Danach führt man beide Seiten näher aneinander. Jedoch muss acht gegeben werden, dass beide Silikonblöcke der Ohren in die Ausnehmungen der Kopfrückseite zeigen und die Rückseite nicht blockieren. Kurz bevor die zwei Kopfhälften aneinander liegen, kontrolliert man, ob die Lage der Anschlussbuchse des Mikrofongehäuses mit der entsprechenden Öffnung der Rückseite übereinstimmt. Wenn beide Seiten zusammengefügt sind, stehen nun die Gewindestangen auf der Rückseite des Kopfes heraus. Um den Kunstkopf zu verschrauben, setzt man zuerst die Karosseriescheiben mit 3 cm Durchmesser und dann die Karosseriescheiben mit 2 cm Durchmesser auf die Gewindestangen. Zum Abschluss schraubt man die vier M6 Flügelmuttern auf die Gewindestangen und zieht diese abwechselnd nach, bis bei allen Flügelmuttern ein leichter Widerstand merkbar ist. Nun ist der Kunstkopf einsatzbereit (Abbildung 30).



Abbildung 30: Der zusammengesetzte und einsatzbereite Kunstkopf.

6 Test des Kunstkopfs

Um den FH – Kunstkopf testen zu können, wurde je eine Aufnahme von einem Streichquartett mit dem FH-Kunstkopf und mit dem Oktava MK-4012 4-D gemacht. Diese zwei Aufnahmen werden als Hörtest für Probanden verwendet.

Alle verwendeten Audio-, Projekt- und Auswertungsdaten sind auf dem beigelegten Datenträger dieser Arbeit zu finden.

6.1 Recording

Für die Hörtests ergab sich die Möglichkeit bei einem Projekt des Masterstudiengangs, Kunstkopfaufnahmen durchzuführen. Neben dem Kunstkopf wurden dort Aufnahmen mit unterschiedlichsten Stereophonie-Methoden, unter anderem A-B, MS und auch Ambisonics, von einem Streichquartett gemacht. Bei dem Testrecording handelt es sich um einen Ausschnitt des zweiten Satzes des „Quintenquartetts“ aus Joseph Haydns „Erdödy-Quartette“.

Für das Recording wurde der Kunstkopf in circa 5 m Entfernung vor dem Quartett in Sitzhöhe platziert. Vor dem Kunstkopf fanden die anderen Stereophonie-Mikrofone Platz (Abbildung 31). Das Oktava MK-4012 befand sich circa 3 m von dem Quartett entfernt. Aufgenommen wurde im für Tonaufnahmen adaptierten Videostudio der FH-St.Pölten mit einem Zoom-H6 ohne jegliche Anwendung von internen Plugins, wie zum Beispiel einen Hochpass oder einem Kompressor.



Abbildung 31: Aufnahmeraum des Quartetts mit Sicht auf den Kunstkopf, andere Aufnahmemethoden und die Platzierungen der Musiker.

6.2 Testreihe mit Probanden

6.2.1 Vorbereiten des Hörtests

Bei dem Hörtest sollte den Probanden ein Ausschnitt der Ambisonics und der Kunstkopfaufnahme vorgespielt werden. Es wurden vier unterschiedliche Versionen des gleichen Quartett-Ausschnitts vorbereitet. Dabei handelte es sich um eine unbearbeitete Kunstkopfaufnahme, eine Kunstkopfaufnahme mit Frequenzganganpassung, einer Ambisonicsaufnahme mit schmaler Schallquelle und einer mit breiter Schallquelle. Für die Frequenzganganpassung wurde in Reaper das Plugin 4-Band EQ verwendet. Hierbei hob man die Frequenzen im Bereich von 2 kHz um 24 dB und die Höhen rund um 5 kHz um 15 dB an. Für den Hörtest wurden alle Hörbeispiele in ProTools auf -6 dB normalisiert. Um die zu bewertenden Kriterien zu identifizieren, wurde der Hörtest der Masterthesis von Markku Hietala als Vorlage verwendet und in einigen Bereichen erweitert.

Die Probanden sollten die gehörten Beispiele auf einer Skala von eins bis fünf bewerten (Abbildung 32). Die hierbei bewerteten Kriterien sind die empfundene Tiefe und Breite der Schallquelle, sowie der Raumklang und die Natürlichkeit des Klanges. (Hietala, 2007, S. 43)



*Abbildung 32: Ein Beispiel der Bewertung der empfundenen Breite des Hörtests.
(Hietala, 2007, S. 44)*

Die oben genannten Kriterien und die Art der Bewertung wurden in dieser Arbeit übernommen und erweitert. Zusätzlich sollte bewertet werden, ob die Aufnahme eher „im Kopf“ oder außerhalb und auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen wird. Eine weitere Fragestellung war die Bewertung der Positionen der Instrumente. Diese Bewertungen werden danach in Beziehung zueinander gebracht und ausgewertet. Im Anhang B befindet sich der Hörtest.

6.2.2 Durchführung des Hörtests

Der Hörtest wurde mit 10 Studenten der FH-St.Pölten durchgeführt. Der Test erfolgte im Audiolabor der FH-St.Pölten mit AKG K240 Kopfhörern, um etwaige Verfälschungen durch unterschiedliche Frequenzgänge von Kopfhörern möglichst zu vermeiden. Vor dem Beginnen des Tests wurden den Testhörern Solo-Musikbeispiele vorgespielt, um den Klang der im Streichquartett vorkommenden Instrumente festzustellen. Danach wurde der Hörtest verbal eingeleitet und die Testhörer konnten sich mit dem Fragebogen vertraut machen. Anschließend konnten die Probanden die vier Beispiele in iTunes beliebig oft durchhören, vergleichen und den Fragebogen bewerten. Den Probanden war nicht bekannt, welche Beispiele mit welchem Mikrofon aufgezeichnet wurden. Die Beispiele wurden mit den Buchstaben A bis D gekennzeichnet (Tabelle 2). Ebenfalls wurde der musikalische Schulungsgrad der Probanden erfasst.

Tabelle 2. Zuordnung der Hörbeispiele zu den Buchstaben im Hörtest.

Beispielnummer	Hörbeispiel
A	Unbehandelter Kunstkopf
B	Ambisonics mit schmaler Breite
C	Kunstkopf mit Frequenzganganpassung
D	Ambisonics mit größerer Breite

6.2.3 Evaluierung der Testergebnisse

Für die Evaluierung des Tests wurden die Ambisonicsaufnahmen als Ausgangspunkt für eine Bewertung des Kunstkopfes herangezogen. Hierbei stellte man eine Relation zwischen der Bewertung der Ambisonicsbeispiele und der Kunstkopfbeispiele her. Durch diese Vergleiche war es möglich die Qualität beziehungsweise die Eigenschaften des Kunstkopfes, bezogen auf die Quartettaufnahme, einzuschätzen.

Die Auswertung des Fragebogens erfolgte durch eine Häufigkeitsfeststellung mit der Statistik Software SPSS von IBM. Die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse sind im Anhang C zu finden. Danach wurden die Häufigkeiten nach den einzelnen Kriterien in Excel in zusammenfassenden Liniendiagrammen verarbeitet.

6.2.3.1 Musikalischer Schulungsgrad

Mehr als die Hälfte der Testhörer besaßen einen sehr geringen Grad an musikalischer Schulung, jedoch waren zwei der Testhörer mittelmäßig geschult und zwei besser geschult (Abbildung 33).



Abbildung 33: Die Darstellung des musikalischen Schulungsgrades der Testhörer in einem Liniendiagramm.

6.2.3.2 Evaluierung der wahrgenommenen Breite

Tabelle 3. Auswertung der wahrgenommenen Breite von Abbildung 34.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„weniger breit“ bis „mittig“ mit Tendenz zu „mittig“
B	„weniger schmal“ bis „weniger breit“ mit Tendenz zu „weniger breit“
C	„mittig“
D	„weniger breit“ bis „eher breit“ mit Tendenz zu „weniger breit“

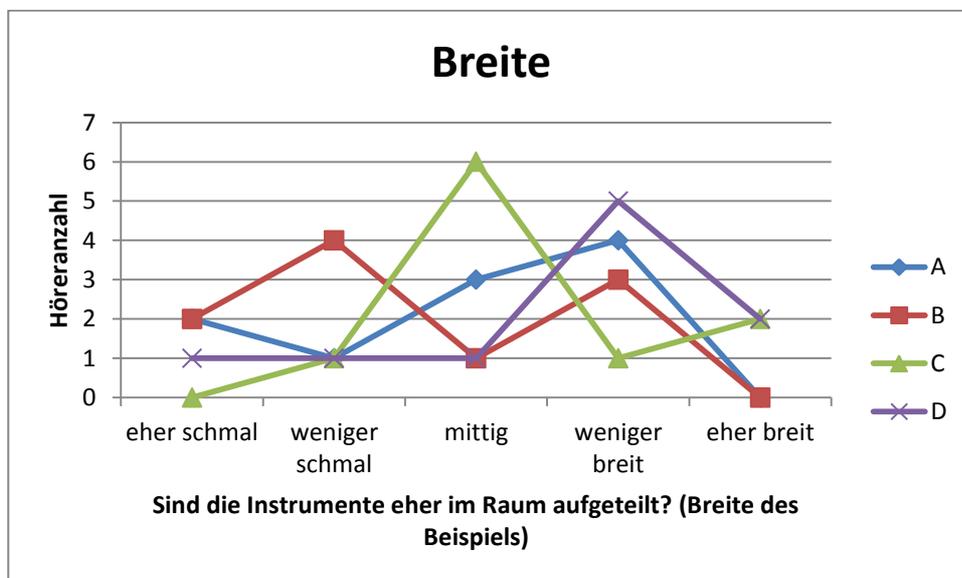


Abbildung 34: Die Darstellung der wahrgenommenen Breite der Hörbeispiele in einem Liniendiagramm.

Die Auswertung aus Tabelle 3 besagt, dass Hörbeispiel D am breitesten wahrgenommen wurde. B wurde am schmalsten aufgefasst. Diese Bewertungen spiegeln die voreingestellte Breite der beiden Aufnahmen wider. Hörbeispiel C wurde breiter als A gedeutet, was positiv für die Frequenzanpassung von C spricht.

6.2.3.3 Evaluierung der wahrgenommenen Tiefe

Tabelle 4. Auswertung der wahrgenommenen Tiefe von Abbildung 35.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„mittig“ bis „eher tief“ mit Tendenz zu „eher tief“
B	„mittig“ bis „eher flach“ mit Tendenz zu „eher flach“
C	„weniger flach“ bis „weniger tief“ mit leichter Tendenz zu „weniger tief“
D	„eher flach“ bis „weniger flach“ mit starker Tendenz zu „eher flach“

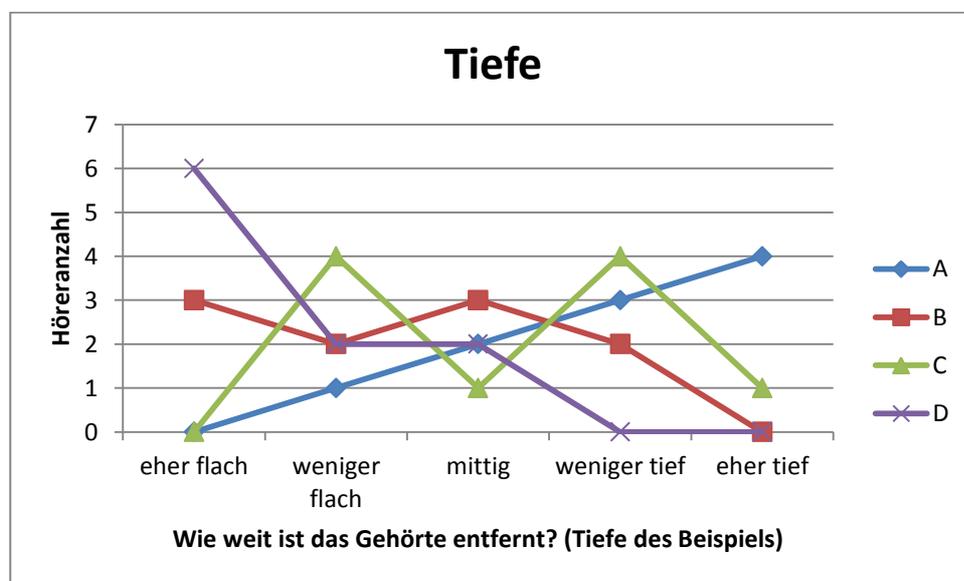


Abbildung 35: Die Darstellung der wahrgenommenen Tiefe der Hörbeispiele in einem Liniendiagramm.

Nach Hörbeispiel D wurde B am flachsten wahrgenommen (Tabelle 4). Die größte Tiefe wurde bei Hörbeispiel A festgestellt. C liegt punkto Tiefe im mittleren Bereich, was von den verstärkten Höhen herleitbar ist. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass weniger Höhenanteile eines Signals als tiefer eingeschätzt werden.

6.2.3.4 Evaluierung der Räumlichkeit

Tabelle 5. Auswertung der wahrgenommenen Räumlichkeit von Abbildung 36.

Hörbeispiel	Auswertung
A	Zwischen „eher räumlich“ und „mittig“ mit Tendenz zu „eher räumlich“
B	„weniger trocken“ bis „weniger räumlich“ mit starker Tendenz zu „weniger trocken“
C	„mittig“ bis „eher räumlich“ mit Tendenz zu „mittig“
D	„mittig“

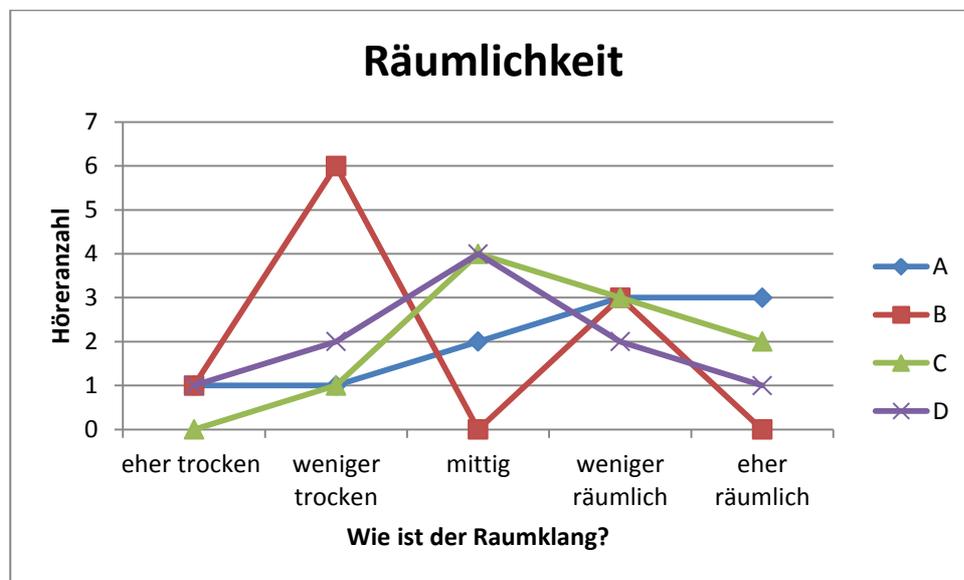


Abbildung 36: Die Darstellung der wahrgenommenen Räumlichkeit in einem Liniendiagramm.

Laut Auswertung in Tabelle 5 wurde Hörbeispiel B tendenziell als „weniger trocken“ und D als „mittig“ bewertet. Dies wird durch die schmale Breite von B und die größere Breite von D begründet. Hörbeispiel A wurde am räumlichsten empfunden, direkt danach folgte C, welches mittelmäßig räumlich wahrgenommen wurde. Dass C schlechter als A bewertet wurde, beruht darauf, dass die Frequenzanpassung von C die Höhen verstärkte und bei räumlichem Empfinden durch fehlende Höhen ein größerer Raum angedeutet wird.

6.2.3.5 Evaluierung der Natürlichkeit

Tabelle 6. Auswertung der wahrgenommenen Natürlichkeit von Abbildung 37.

Hörbeispiel	Auswertung
A	gleichmäßige Aufteilung zwischen „eher unecht“ und „weniger natürlich“ mit leichter Tendenz zu „weniger unecht“
B	„weniger unecht“ bis „weniger natürlich“ mit leichter Tendenz zu „mittig“
C	„weniger unecht“ bis „weniger natürlich“ mit starker Tendenz zu „weniger unecht“
D	„weniger natürlich“ bis „eher natürlich“ mit Tendenz zu „eher natürlich“

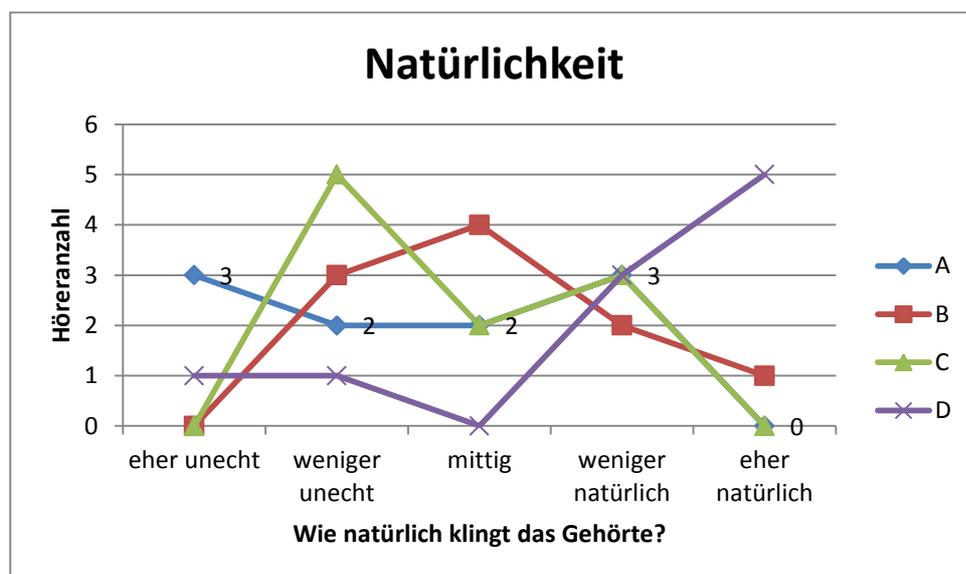


Abbildung 37: Die Darstellung der wahrgenommenen Natürlichkeit in einem Liniendiagramm.

Durch Tabelle 6 kann man schlussfolgern, dass Hörbeispiel D am natürlichsten wahrgenommen wurde. Mittig natürlich wurde das Hörbeispiel B beschrieben. Hörbeispiel A und C wurden schlechter bewertet, wobei A natürlicher als C empfunden wurde. Die Aufteilung bei A und C ist jedoch sehr nahe beieinander, was eine ähnliche Natürlichkeit annehmen lässt.

6.2.3.6 Evaluierung der Wahrnehmung Im-Kopf/außerhalb

Tabelle 7. Auswertung der Wahrnehmung Im-Kopf oder außerhalb von Abbildung 38.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„mittig“ bis „eher außerhalb“ mit leichter Tendenz zu „eher außerhalb“
B	„weniger Im-Kopf“
C	„mittig“ bis „weniger außerhalb“ mit Tendenz zu „mittig“
D	Gleichmäßige Aufteilung mit Tendenz zu „weniger außerhalb“

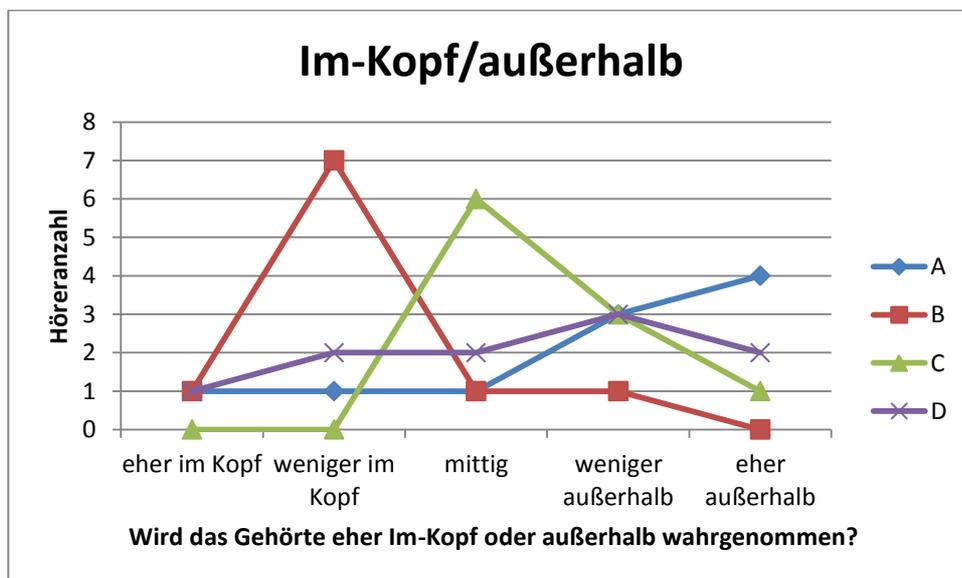


Abbildung 38: Die Darstellung in einem Liniendiagramm, ob das Gehörte Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen wurde.

Tabelle 7 sagt aus, dass Hörbeispiel B hauptsächlich „weniger Im-Kopf“ erkannt wurde und Hörbeispiel D zu einer „weniger außerhalb“ Wahrnehmung führte. Dies beruht auf der schmalen Breite bei B und der großen Breite bei D. Vergleicht man die Hörbeispiele A und C bemerkt man eine bessere Wahrnehmung mit einer Tendenz zu „eher außerhalb“ bei A. Dies bedeutet, dass die Frequenzganganpassung die „mittige“ Wahrnehmung von C begünstigte.

6.2.3.7 Evaluierung der Wahrnehmung auf Stirn-/Nasenhöhe

Tabelle 8. Auswertung der Wahrnehmung auf Stirn- oder Nasenhöhe von Abbildung 39.

Hörbeispiel	Auswertung
A	Zwischen „weniger Stirnhöhe“ und „weniger Nasenhöhe“
B	„weniger Stirnhöhe“ bis „weniger Nasenhöhe“ mit leichter Tendenz zu „weniger Nasenhöhe“
C	„weniger Stirnhöhe“ bis „weniger Nasenhöhe“ mit leichter Tendenz zu „weniger Nasenhöhe“
D	„mittig“ bis „weniger Nasenhöhe“ mit Tendenz zu „mittig“

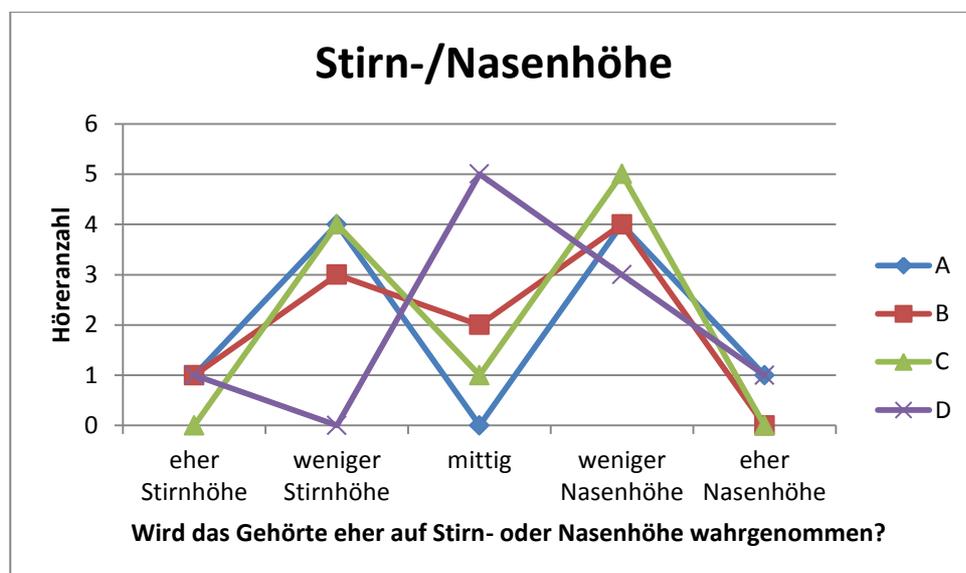


Abbildung 39: Die Darstellung in einem Liniendiagramm, ob eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen wurde.

Grundsätzlich zeigt Tabelle 8, dass die Hörbeispiele A bis C sehr ähnlich mit einer Tendenzrichtung zu „weniger Nasenhöhe“ wahrgenommen wurden. Nur Hörbeispiel D wurde tendenziell als „mittig“ eingestuft. Hörbeispiel C weist im Vergleich zu A durch die Frequenzganganpassung eine leichte Tendenz zu „weniger Nasenhöhe“ auf.

6.2.3.8 Evaluierung der wahrgenommenen Position der Instrumente

Tabelle 9. Auswertung der wahrgenommenen Position der 1. Violine von Abbildung 40.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„eher links“ bis „weniger links“ mit Tendenz zu „weniger links“
B	„weniger links“ bis „mittig“ mit Tendenz zu „mittig“
C	„eher links“ bis „weniger links“ mit Tendenz zu „eher links“
D	„eher links“

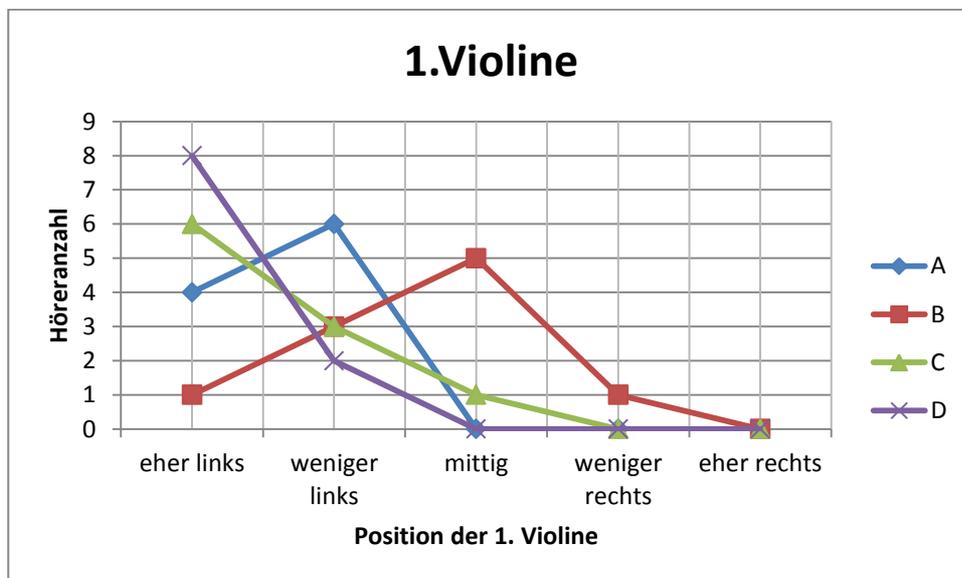


Abbildung 40: Die Darstellung der wahrgenommenen Position der 1. Violine in einem Liniendiagramm.

6 Test des Kunstkopfs

Tabelle 10. Auswertung der wahrgenommenen Position der 2. Violine von Abbildung 41.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„weniger links“
B	„weniger links“ bis „mittig“ mit starker Tendenz zu „mittig“
C	„weniger links“ bis „mittig“ mit Tendenz zu „weniger links“
D	„eher links“ bis „mittig“ mit Tendenz zu „eher links“

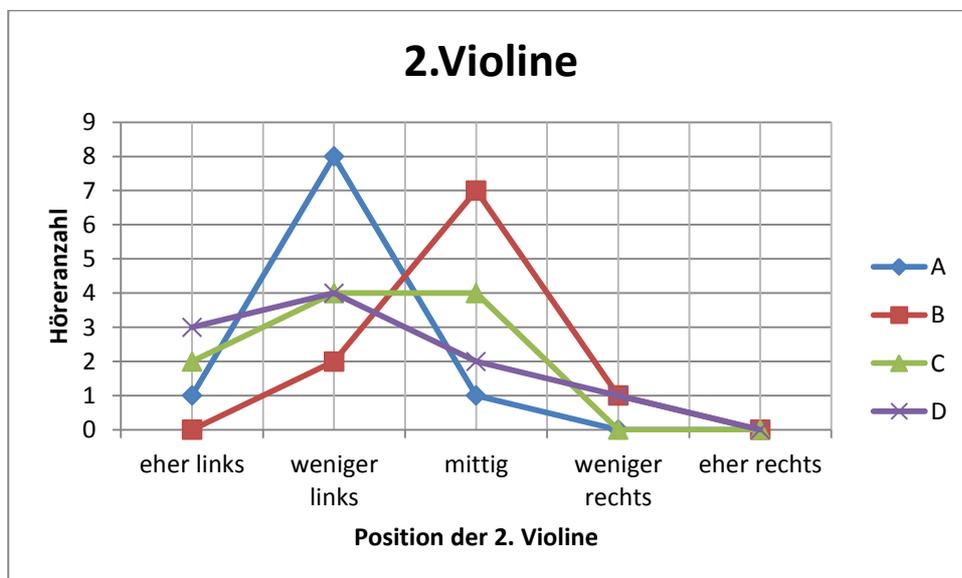


Abbildung 41: Die Darstellung der wahrgenommenen Position der 2. Violine in einem Liniendiagramm.

Tabelle 11. Auswertung der wahrgenommenen Position der Bratsche von Abbildung 42.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„mittig“
B	„mittig“ bis „weniger rechts“ mit starker Tendenz zu „mittig“
C	„mittig“ bis „weniger rechts“ mit Tendenz zu „mittig“
D	„mittig“ bis „weniger rechts“ mit Tendenz zu „mittig“

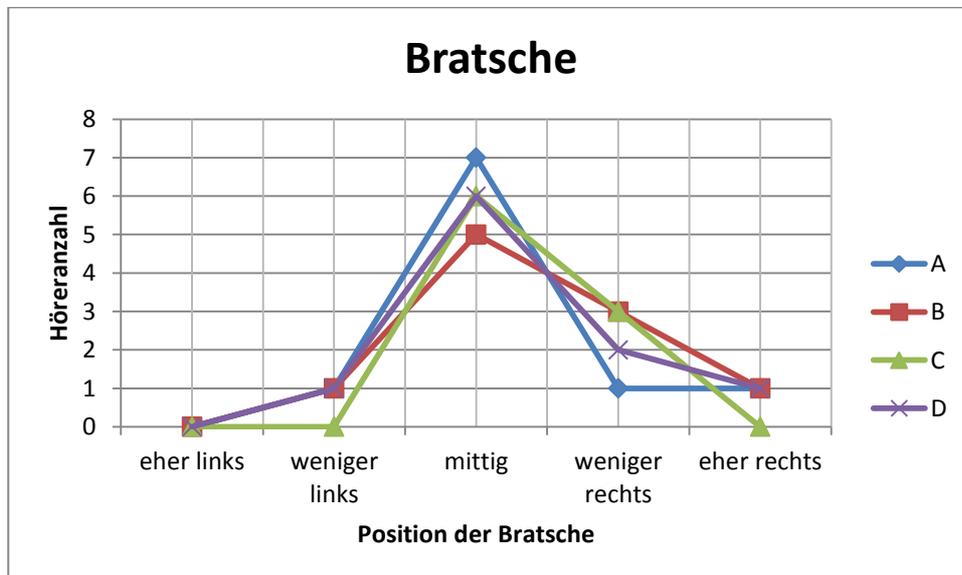


Abbildung 42: Die Darstellung der wahrgenommenen Position der Bratsche in einem Liniendiagramm.

Tabelle 12. Auswertung der wahrgenommenen Position des Violoncellos von Abbildung 43.

Hörbeispiel	Auswertung
A	„mittig“ bis „eher rechts“ mit leichter Tendenz zu „weniger rechts“
B	Zwischen „mittig“ und „eher rechts“
C	„mittig“ bis „weniger rechts“ mit Tendenz zu „weniger rechts“
D	„mittig“ bis „eher rechts“ mit starker Tendenz zu „weniger rechts“

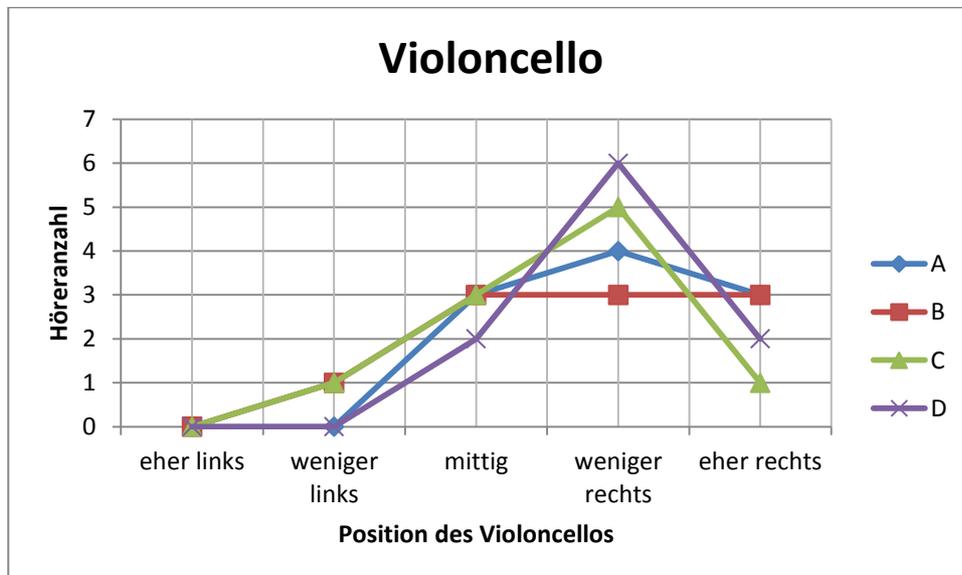


Abbildung 43: Die Darstellung der wahrgenommenen Position des Violoncellos in einem Liniendiagramm.

Für eine gemeinsame Schlussfolgerung in Bezug auf die Instrumentenpositionen wurden Tabelle 9, Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 mit Vergleichen der jeweiligen Hörbeispiele zusammengefasst. Die Positionierung der Instrumente wurde grundsätzlich wie die tatsächliche Aufstellung des Streichquartetts wahrgenommen. Bei Hörbeispiel C wurden die Instrumente sehr mittig empfunden, was auf die schmale Breite des Beispiels zurückzuführen ist. Die Instrumente in Hörbeispiel D hingegen wurden gut aufgeteilt wahrgenommen, was aus der größeren Breite der Aufnahme resultiert. Die Frequenzganganpassung in Hörbeispiel C ergibt im Vergleich zum Hörbeispiel A nur eine geringe Schärfung der Positionserkennung bei den am weitesten außen befindlichen Instrumenten.

6.2.3.9 Allgemeine Schlussfolgerung in Bezug auf den Kunstkopfes

Breite und Tiefe

Die Breite der Kunstkopfaufnahmen befindet sich zwischen beiden Ambisonicsversionen. Die Frequenzganganpassung wirkte sich in einer Erhöhung der Breite aus. In der Tiefe erzielte der Kunstkopf bessere Bewertungen als die Ambisonicsbeispiele, wobei das unbearbeitete Kunstkopfbeispiel als tiefer empfunden wurde.

Räumlichkeit und Natürlichkeit

Die Hörbeispiele des Kunstkopfes wurden im Vergleich zu den Ambisonicsaufnahmen räumlicher empfunden. Ohne Frequenzganganpassung erzielte man ein besseres Ergebnis. Die Natürlichkeit der Aufnahmen wurde unechter als die Ambisonicsaufnahmen bewertet. Der Grund dafür könnte die größere Entfernung des Kunstkopfes zum Streichquartett sein.

Im-Kopf oder außerhalb des Kopfs & Stirn- oder Nasenhöhe

Die Kunstkopfaufnahmen wurden eher außerhalb des Kopfes wahrgenommen. Die Frequenzganganpassung beeinträchtigte dies negativ. Das Quartett wurde zwischen Stirn- und Nasenhöhe wahrgenommen, wobei die Frequenzganganpassung die Wahrnehmung Richtung Nasenhöhe verbesserte. Ein Elevationseffekt ist auf jeden Fall gegeben.

Positionierung der Instrumente

Die Aufstellung der Instrumente konnte gut festgestellt werden. Hier ermöglichte die Frequenzganganpassung eine genauere Feststellung der Positionen der 1. Violine und des Violoncellos.

7 Fazit

Für den Kunstkopf sind die spektralen Änderungen durch den menschlichen Körper, vorallem des Außenohres (HRTF) in Bezug auf das räumliche Hören relevant. In Betrachtung der Ergebnisse des Hörtests kann bestätigt werden, dass mit dem FH-Kunstkopf eine räumliche binaurale Aufnahme möglich ist. Für zukünftige Aufnahmen sollte der Kunstkopf nahe an die aufzunehmenden Schallquellen positioniert werden, um einen Verlust der Höhenanteile zu verringern. Danach kann abgewogen werden, ob eine Frequenzganganpassung notwendig ist.

7.1 Verbesserungsmöglichkeiten des FH-Kunstkopfes

Diese Version des Kunstkopfes ist eine Basisversion, um sich einen ersten Einblick in binaurales Hören verschaffen zu können. Eine der wichtigsten Verbesserungsmöglichkeiten wäre die Entzerrung. Hier wäre es interessant, zwischen Diffusfeldentzerrung und Freifeldentzerrung wechseln oder eventuell sogar eigene Entzerrungsmethoden anzuwenden. Eine weitere Verbesserung wäre das Einbauen eines Gewindes, um eine Fixierung auf einem Stativ oder zusätzlichem Torso zu ermöglichen.

7.2 Zukünftige Möglichkeiten fortführender wissenschaftlicher Arbeiten

Auf Basis dieser Arbeit können sich weitere Arbeiten mit dem Feststellen der Eigenschaften des Kunstkopfs, wie etwa Frequenzgangmessung und der Genauigkeit der Lokalisation beschäftigen. Ebenfalls wären die Entzerrung des Kunstkopfs und eines Abhörkopfhörers, sowie die Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen mittels Lautsprecher weitere Möglichkeiten.

Literaturverzeichnis

- Ahnert, W., & Tennhardt, H.-P. (2008). Raumakustik. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (S. 181–266). Berlin: Springer.
- Blauert, J., & Braasch, J. (2008). Räumliches Hören. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (S. 87–121). Berlin: Springer.
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). *Psychoacoustics: facts and models* (3rd. ed). Berlin ; New York: Springer.
- Genuit, K., Fastl, H., Daniel, P., Grabsch, H.-P., Niederdränk, T., Schmitz, A., ... Zollner, M. (2007). Kunstkopftechnik - Eine Bestandsaufnahme. *Acta Acustica*, 93(1), 58.
- Hauswirth, I. (2016, März). Binaural Messen, Auswerten und Wiedergeben. Abgerufen von https://www.head-acoustics.de/downloads/de/application_notes/Entzerrung_d.pdf
- Head Acoustics (Hrsg.). (2014, Dezember). Head Acoustics HMS_IV_1_e. Abgerufen von https://www.head-acoustics.de/downloads/eng/hms_IV/D1501_HMS_IV_1_e.pdf
- Hietala, M. (2007). *Perceived differences in recordings produced with four 5.0 surround microphone techniques*. Abgerufen von <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/22758>
- Kemar. (o. J.). Abgerufen 11. Juli 2017, von <http://kemar.us/#>
- Kürer, R., Plenge, G., & Wilkens, H. (1975, Oktober). Kunstkopf zur Elektroakustischen Aufzeichnung Räumlicher Schallfelder. (Neumann, Hrsg.). Abgerufen von <https://www.neumann.com/download.php?download=cata0055.PDF>

F

- Lazarus, H. (Hrsg.). (2007). *Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation: mit 117 Tabellen*. Berlin: Springer.
- MK-4012 4-D Ambisonic A-format Mikrofon. (o. J.). Abgerufen von <http://www.oktava-shop.com/Kleinmembran-und-Mittelmembran-Kondensatormikrofone/MK-012-01-Oktava-12.html>
- Neumann (Hrsg.). (o. J.). *Der Kunstkopf - Theorie und Praxis*. Abgerufen von <https://www.neumann.com/download.php?download=docu0010.PDF>
- NEUMANN KU80 i Vintage Kunstkopf Kondensator Stereo Mikrofon KU-80 #ohne. (o. J.). Abgerufen 11. Juli 2017, von https://www.madooma.com/shop/neumann/NEUMANN_KU80_i_Vintage_Kunstkopf_Kondensator_Stereo_Mikrofon_KU-80_ohne.html
- Schneider, M. (2008). Mikrofone. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (S. 313–419). Berlin: Springer.
- Slavik, K. M., & Weinzierl, S. (2008). Wiedergabeverfahren. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (S. 609–686). Berlin: Springer.
- TYPE 4128-C HATS - Brüel & Kjær Sound & Vibration. (o. J.). Abgerufen 11. Juli 2017, von <https://www.bksv.com/en/products/transducers/ear-simulators/head-and-torso/hats-type-4128c>
- Unbehauen, R. (2002). *Systemtheorie 1: Allgemeine Grundlagen, Signale und lineare Systeme im Zeit- und Frequenzbereich*. Walter de Gruyter.
- Weinzierl, S. (2008). Aufnahmeverfahren. In S. Weinzierl (Hrsg.), *Handbuch der Audiotechnik* (S. 551–605). Berlin: Springer.
- Weinzierl, S., & Verband Deutscher Tonmeister (Hrsg.). (2008). *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin: Springer.

Wohlleben, J. (2009, Juli 20). *Richtwirkung von HdO-Hörgeräten am Kunstkopf mit unterschiedlichen Ohrmuschelgrößen, Directionality of BTE-hearing aids worn by a dummy with different ear sizes.* Universität Würzburg, Medizinische Fakultät. Abgerufen von <https://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docId/2974>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Gehörs. (Wohlleben, 2009, S. 2)	4
Abbildung 2: Das Polarkoordinatensystem mit Frontal-, Median- und Horizontalebene; r = Entfernung, φ = Azimuthwinkel, δ = Elevationswinkel (Blauert & Braasch, 2008, S. 88)	6
Abbildung 3: Schematische Darstellung der wahrgenommenen Richtungen auf der Medianebene bei Schmalbandsignalen mit unterschiedlichen Terzmittenfrequenzen.(Fastl & Zwicker, 2007, S. 310)	7
Abbildung 4: Eine typische HRTF, wenn frontal beschallt wird. A: tieffrequenter Bereich, b: Schulterreflexion, c: $\lambda/4$ - Resonanz des Ohrkanals, d:Einfluss der Ohrmuschel, nach (Daniel et al. 2007)(Schneider, 2008, S. 359)	12
Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung der Realisierung eines Freifeldentzerrungsfilters. (Hauswirth, 2016, S. 6)	15
Abbildung 6: Der KU100 von Neumann mit Querschnitt und Ansicht des Anschlussfeldes.(Neumann, o. J.)	17
Abbildung 7: Bild des HMV IV.1 mit beiliegender Bluetooth Fernsteuerung und Bluetooth RS232 Adapter.(Head Acoustics, 2014).....	18
Abbildung 8: links: Kunstkopf der KEMAR-Serie von G.R.A.S. („Kemar“, o. J.), rechts: Kunstkopf TYPE-4128C von Brüel & Kjær(„TYPE 4128-C HATS - Brüel & Kjær Sound & Vibration“, o. J.).....	18
Abbildung 9: Ein Bild des Oktava MK-4012 4-D A-Format Mikrofons, welches für die Vergleichsaufnahmen verwendet wurde.(„MK-4012 4-D Ambisonic A-format Mikrophon“, o. J.).....	20
Abbildung 10: Die korrekte Aufstellung des Oktava MK-4012 mit den zugeordneten Outputs der Mikrophonkapseln.....	21
Abbildung 11: GUI des AtoB Plugins des Ambisonics Toolkits (ATK) mit den vorgenommenen Einstellungen.....	21
Abbildung 12: GUI des BtoAmbiX Plugins des Ambisonics Toolkits (ATK).....	22

Abbildung 13: Das GUI des Ambix-Encoders dritter Ordnung mit vier Eingängen und den Einstellungsmöglichkeiten „size“, „multiple source width“, „azimuth“ und „elevation“.....	23
Abbildung 14: Das GUI des Ambix-Binaural-Decoders mit einer Übersicht der Input Channel und dem verwendeten Decodierungs-Presets.	24
Abbildung 15: „Erweiterte Misch-Optionen“ – Export Ansicht von Audacity mit bereits korrekt vertauschten Signalen.....	25
Abbildung 16: Der Querschnitt des KU80 Kunstkopfes von Neumann mit Blick auf die Mikrofone und die Ohrblöcke.(„NEUMANN KU80 i Vintage Kunstkopf Kondensator Stereo Mikrofon KU-80 #ohne“, o. J.).....	27
Abbildung 17: Die Mikrofonkapsel mit bereits angelöteter Verlängerung.....	28
Abbildung 18: Das Mikrofon mit dem Kupfer-Abschirmschlauch.	29
Abbildung 19: 3D-Modell des Ohr – Mikrofon Adapters in Maya.	30
Abbildung 20: Der gedruckte Adapter mit Seitenansicht und Innenansicht auf den Dichtungsring.....	30
Abbildung 21: links: Zwischenstand beim Aufbringen des Silikons mitte: Anbringen der Stützform aus Gips rechts: fertiger Form des Ohrenabdrucks	31
Abbildung 22: Die zwei fertiggegossenen Silikonohr-Paare.	31
Abbildung 23: Der an der Schweißnaht aufgeschnittene Deko-Kopf.	32
Abbildung 24: Die Gewindestangen mit Blick auf die Zugentlastung.	33
Abbildung 25: Die gefüllte Vorderseite des Kopfes inklusive Gewindestangen. .	33
Abbildung 26: Die Vorderseite des Kopfes mit der Führung aus Karton.....	34
Abbildung 27: links: Die Vorderseite mit Blick auf die in Montagekleber eingebetteten Kabelkanäle rechts: Die Rückseite mit bereits angebrachtem Silikon.....	35
Abbildung 28: Das fertig gegossene Silikonohr mit bereits circa 4mm entferntem Silikon rund um die Ohrmuschel.	36
Abbildung 29: Die Fixierung des Silikonohrs mit Schaumstoff.....	36
Abbildung 30: Der zusammengesetzte und einsatzbereite Kunstkopf.	38
Abbildung 31: Aufnahmebereich des Quartetts mit Sicht auf den Kunstkopf, andere Aufnahmemethoden und die Platzierungen der Musiker.....	40

Abbildung 32: Ein Beispiel der Bewertung der empfundenen Breite des Hörtests. (Hietala, 2007, S. 44).....	41
Abbildung 33: Die Darstellung des musikalischen Schulungsgrades der Testhörer in einem Liniendiagramm.....	43
Abbildung 34: Die Darstellung der wahrgenommenen Breite der Hörbeispiele in einem Liniendiagramm.	44
Abbildung 35: Die Darstellung der wahrgenommenen Tiefe der Hörbeispiele in einem Liniendiagramm.	45
Abbildung 36: Die Darstellung der wahrgenommenen Räumlichkeit in einem Liniendiagramm.	46
Abbildung 37: Die Darstellung der wahrgenommenen Natürlichkeit in einem Liniendiagramm.	47
Abbildung 38: Die Darstellung in einem Liniendiagramm, ob das Gehörte Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen wurde.	48
Abbildung 39: Die Darstellung in einem Liniendiagramm, ob eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen wurde.	49
Abbildung 40: Die Darstellung der wahrgenommenen Position der 1.Violine in einem Liniendiagramm.	50
Abbildung 41: Die Darstellung der wahrgenommenen Position der 2.Violine in einem Liniendiagramm.	51
Abbildung 42: Die Darstellung der wahrgenommenen Position der Bratsche in einem Liniendiagramm.	52
Abbildung 43: Die Darstellung der wahrgenommenen Position des Violoncellos in einem Liniendiagramm.	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Größe der Körperpartien im Zusammenhang mit den einwirkenden Frequenzbereichen. (Wohlleben, 2009, S. 7).....	11
Tabelle 2. Zuordnung der Hörbeispiele zu den Buchstaben im Hörtest.....	42
Tabelle 3. Auswertung der wahrgenommenen Breite von Abbildung 34.	44
Tabelle 4. Auswertung der wahrgenommenen Tiefe von Abbildung 35.....	45
Tabelle 5. Auswertung der wahrgenommenen Räumlichkeit von Abbildung 36.	46
Tabelle 6. Auswertung der wahrgenommenen Natürlichkeit von Abbildung 37.	47
Tabelle 7. Auswertung der Wahrnehmung Im-Kopf oder außerhalb von Abbildung 38.	48
Tabelle 8. Auswertung der Wahrnehmung auf Stirn- oder Nasenhöhe von Abbildung 39.....	49
Tabelle 9. Auswertung der wahrgenommenen Position der 1. Violine von Abbildung 40.....	50
Tabelle 10. Auswertung der wahrgenommenen Position der 2. Violine von Abbildung 41.....	51
Tabelle 11. Auswertung der wahrgenommenen Position der Bratsche von Abbildung 42.....	52
Tabelle 12. Auswertung der wahrgenommenen Position des Violoncellos von Abbildung 43.....	53

Anhang

A. Kostenliste

Kostenstelle **11091**, Andreas Büchele – Bedarf Audiolabor

Zweck: Bachelorarbeit „Kunstkopf“, Manuel Mader

Datum 11.05.2017

Conrad, Rechnung **01**/9529478218

Artikelbezeichnung	Nettopreis	MWSt	Bruttopreis
KU-Abschirmgeflecht CU 1020 Verzinkt	5,16	1,03	6,19
Transportkosten	4,96	0,99	5,95
=====			
Bruttoumsatz 01			12,14

E&E Collection GmbH, Rechnung **02**/40353

Artikelbezeichnung	Nettopreis	MWSt	Bruttopreis
3x männlicher Schaufenster Dekokopf in schwarz	42,00	7,98	49,98
Versandkosten	12,50	2,50	15,00
=====			
Bruttoumsatz 02			64,98

Perfect in Make-up, Rechnung **03**/010417

Artikelbezeichnung	Nettopreis	MWSt	Bruttopreis
Abdrücke für 2 Paar Ohren	300,00	60,00	360,00
Artikel 5	xxx	xx	xxx
Artikel 6	xxx	xx	xxx
=====			
Bruttoumsatz 03			360,00

NOCH NICHT BEZAHLT

**BITTE ÜBERWEISEN AN FIRMA PERFECT IN MAKE-UP:
BAWAG ,**

BIC BAWAATWW

IBAN AT701400004010420933

Baumarkt Nadlinger Handelsges.m.b.H., Rechnung **04**/B0115856

Artikelbezeichnung	Nettopreis	MWSt	Bruttopreis
Rundrohr Kunststoff weiß	1,49	0,30	1,79
Gewindestange A2 M6 rostfrei	6,24	1,25	7,49
Alufolie 30m (zum Abschirmen)	2,91	0,58	3,49
2K PU-Schaum 400ml	6,66	1,33	7,99
4x EM Flügelmuttern M6 verzinkt	1,30	0,26	1,56
4x EM Karosseriescheiben 6,4x20	0,60	0,12	0,72
4x EM Karosseriescheiben 10,5x30	0,97	0,19	1,16
4x EM Hutmuttern M6 verzinkt	1,60	0,32	1,92
4x EM Sechskantmuttern DIN 934 M6	0,63	0,13	0,76

=====
Bruttoumsatz **04** 26,88

Retourware ist aus dieser Rechnung bereits herausgerechnet (Retourrechnung liegt bei)

Baumarkt Nadlinger Handelsges.m.b.H., Rechnung **05**/A0052233

Artikelbezeichnung	Nettopreis	MWSt	Bruttopreis
2x Fuellen und Daemmen Genius Gun (PU-Schaum)	11,65	2,33	13,98

=====
Bruttoumsatz **05** 13,98

=====
Zusammen Bruttoumsatz **01 + 02 + 03 + 04 + 05** 477,98

Bruttoumsatz 03 Noch nicht bezahlt - BITTE ÜBERWEISEN AN FIRMA PERFECT IN MAKE-UP:
BAWAG ,

BIC BAWAATWW

IBAN AT701400004010420933

=====
Zusammen Bruttoumsatz **01 + 02 exkl. 03 + 04 + 05** 117,98

B. Hörtest mit Fragebogen

Im folgendem Hörtest wirst du vier Beispiele desselben Ausschnittes des zweiten Satzes des „Quintenquartetts“ aus Joseph Haydns „Erdödy-Quartette“ hören. Es wird von einem Streichquartett gespielt. Die Besetzung besteht aus zwei Violinen, einer Bratsche und einem Violoncello. Die Sitzordnung von links nach rechts ist: 1. Violine, 2. Violine, Bratsche, Violoncello. Vor dem Beginn des Tests wird durch Klangbeispiele der Klang der einzelnen Instrumente verdeutlicht.

Schließe bitte vor dem Hören die Augen und bringe dich in eine angenehme Sitzposition. Du kannst die Ausschnitte beliebig oft anhören und miteinander vergleichen. Im Fragebogen sind die Beispiele mit den Buchstaben A bis D gekennzeichnet. Bitte Kreise/Kreuze die jeweilige für dich zutreffende Nummer an.

Die zu bewertenden Fragen sind:

1. Bist du musikalisch geschult?
2. Sind die Instrumente eher im Raum aufgeteilt? (Breite des Beispiels)
3. Wie weit ist das Gehörte entfernt? (Tiefe des Beispiels)
4. Wie ist der Raumklang?
5. Wie natürlich klingt das Gehörte?
6. Wahrnehmung Im-Kopf / Außerhalb
7. Wahrnehmung Stirn-/Nasenhöhe
8. Wie sind die Instrumente aufgeteilt?

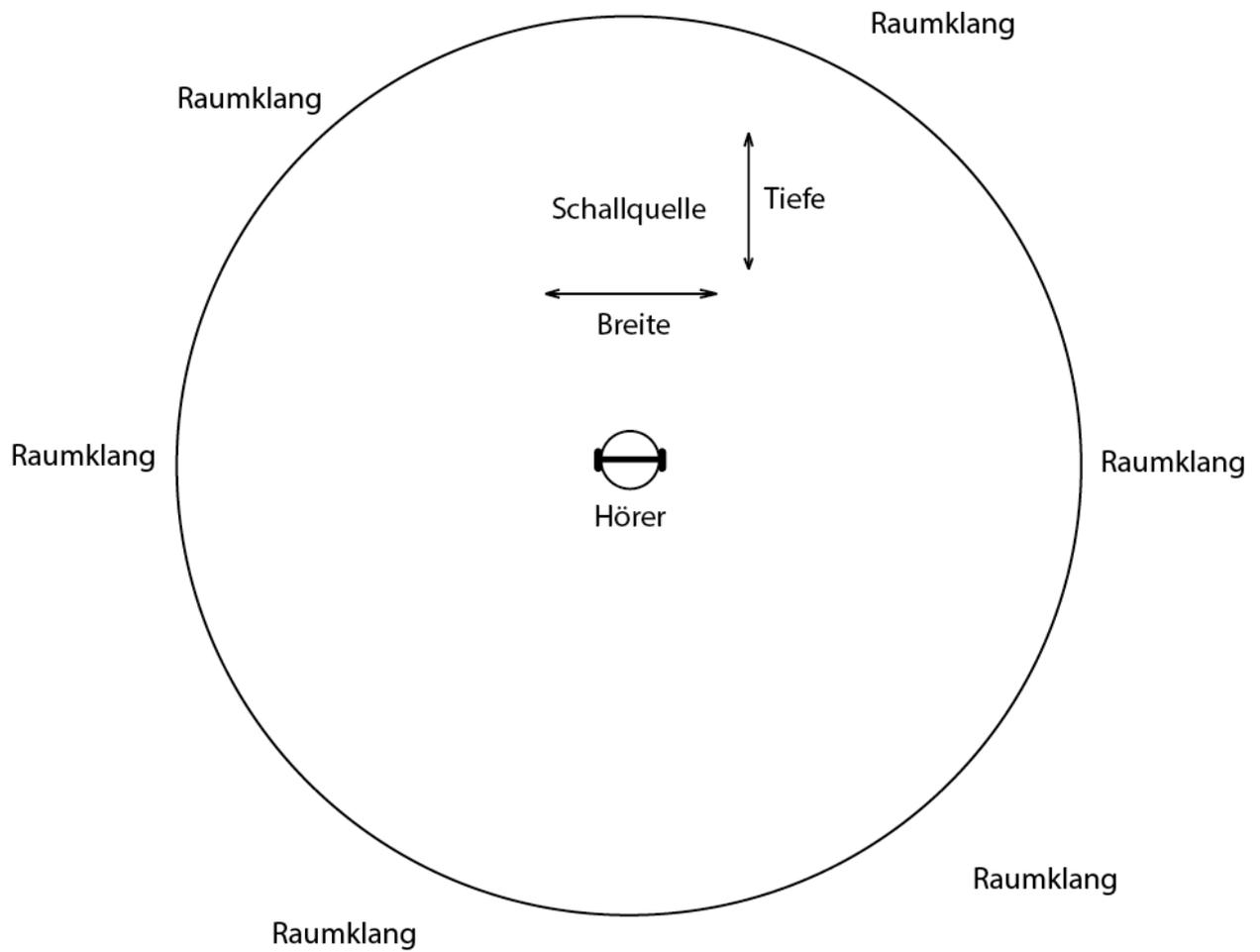
Die folgenden Bilder zeigen Streichquartette und eine bildliche Darstellung der meisten Kriterien.



Streichquartett (vonlinks nach rechts): 1.Violine, 2. Violine, Bratsche, Violoncello



Ein Streichquartett in zuvor genannter Sitzordnung



1. Bist du musikalisch geschult?

	eher ungeschult			eher geschult	
Schulungsgrad	1	2	3	4	5

2. Sind die Instrumente nahe beieinander? (Breite des Beispiels)

	eher schmal (nahe beieinander)			eher breit (breiter aufgeteilt)	
A	1	2	3	4	5
B	1	2	3	4	5
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	5

3. Ist das Gehörte näher oder weiter weg? (Tiefe des Beispiels)

	eher flach			eher tief	
A	1	2	3	4	5
B	1	2	3	4	5
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	5

4. Wie räumlich klingen die Beispiele?

	eher trocken			eher räumlich	
A	1	2	3	4	5
B	1	2	3	4	5
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	5

5. Wie natürlich klingen die Beispiele?

	eher unecht			eher natürlich	
A	1	2	3	4	5
B	1	2	3	4	5
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	5

6. Wird das Gehörte eher Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen?

	eher im Kopf			eher außerhalb	
A	1	2	3	4	5
B	1	2	3	4	5
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	5

7. Wird das Gehörte eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen?

	eher Stirnhöhe			eher Nasenhöhe	
A	1	2	3	4	5
B	1	2	3	4	5
C	1	2	3	4	5
D	1	2	3	4	5

8. Befinden sich die Instrumente eher links/rechts von dir?

	eher links			eher rechts	
A					
1. Violine	1	2	3	4	5
2. Violine	1	2	3	4	5
Bratsche	1	2	3	4	5
Violoncello	1	2	3	4	5
B					
1. Violine	1	2	3	4	5
2. Violine	1	2	3	4	5
Bratsche	1	2	3	4	5
Violoncello	1	2	3	4	5
C					
1. Violine	1	2	3	4	5
2. Violine	1	2	3	4	5
Bratsche	1	2	3	4	5
Violoncello	1	2	3	4	5
D					
1. Violine	1	2	3	4	5
2. Violine	1	2	3	4	5
Bratsche	1	2	3	4	5
Violoncello	1	2	3	4	5

C. Häufigkeitsanalyse

1. Häufigkeitstabellen des Hörbeispiels A

Bist du musikalisch geschult?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig 1,00	3	30,0	30,0	30,0
2,00	3	30,0	30,0	60,0
3,00	2	20,0	20,0	80,0
4,00	2	20,0	20,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Sind die Instrumente eher im Raum aufgeteilt? (Breite des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher schmal (nahe beieinander)	2	20,0	20,0	20,0
weniger schmal	1	10,0	10,0	30,0
mittig	3	30,0	30,0	60,0
weniger breit	4	40,0	40,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Ist das Gehörte näher oder weiter weg? (Tiefe des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger flach	1	10,0	10,0	10,0
mittig	2	20,0	20,0	30,0
weniger tief	3	30,0	30,0	60,0
eher tief (weiter weg)	4	40,0	40,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wie ist die Räumlichkeit des Gehörten?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher trocken	1	10,0	10,0	10,0
weniger trocken	1	10,0	10,0	20,0
mittig	2	20,0	20,0	40,0
weniger räumlich	3	30,0	30,0	70,0
eher räumlich	3	30,0	30,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wie natürlich klingen die Beispiele?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher unecht	3	30,0	30,0	30,0
weniger unecht	2	20,0	20,0	50,0
mittig	2	20,0	20,0	70,0
weniger natürlich	3	30,0	30,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher im Kopf	1	10,0	10,0	10,0
weniger im Kopf	1	10,0	10,0	20,0
mittig	1	10,0	10,0	30,0
weniger außerhalb	3	30,0	30,0	60,0
eher außerhalb	4	40,0	40,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher Stirnhöhe	1	10,0	10,0	10,0
weniger Stirnhöhe	4	40,0	40,0	50,0
weniger Nasenhöhe	4	40,0	40,0	90,0
eher Nasenhöhe	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die 1. Violine eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher links	4	40,0	40,0	40,0
weniger links	6	60,0	60,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die 2. Violine eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher links	1	10,0	10,0	10,0
weniger links	8	80,0	80,0	90,0
mittig	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die Bratsche eher links/rechts von dir?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weniger links	1	10,0	10,0	10,0
	mittig	7	70,0	70,0	80,0
	weniger rechts	1	10,0	10,0	90,0
	eher rechts	1	10,0	10,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich das Cello eher links/rechts von dir?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	mittig	3	30,0	30,0	30,0
	weniger rechts	4	40,0	40,0	70,0
	eher rechts	3	30,0	30,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

2. Häufigkeitstabellen des Hörbeispiels B

Bist du musikalisch geschult?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher ungeschult	3	30,0	30,0	30,0
weniger ungeschult	3	30,0	30,0	60,0
mittelmäßig geschult	2	20,0	20,0	80,0
weniger geschult	2	20,0	20,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Sind die Instrumente eher im Raum aufgeteilt? (Breite des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher schmal (nahe beieinander)	2	20,0	20,0	20,0
weniger schmal	4	40,0	40,0	60,0
mittig	1	10,0	10,0	70,0
weniger breit	3	30,0	30,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Ist das Gehörte näher oder weiter weg? (Tiefe des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher flach (näher)	3	30,0	30,0	30,0
weniger flach	2	20,0	20,0	50,0
mittig	3	30,0	30,0	80,0
weniger tief	2	20,0	20,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wie ist die Räumlichkeit des Gehörten?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher trocken	1	10,0	10,0	10,0
weniger trocken	6	60,0	60,0	70,0
weniger räumlich	3	30,0	30,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wie natürlich klingen die Beispiele?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger unecht	3	30,0	30,0	30,0
mittig	4	40,0	40,0	70,0
weniger natürlich	2	20,0	20,0	90,0
eher natürlich	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher im Kopf	1	10,0	10,0	10,0
weniger im Kopf	7	70,0	70,0	80,0
mittig	1	10,0	10,0	90,0
weniger außerhalb	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher Stirnhöhe	1	10,0	10,0	10,0
weniger Stirnhöhe	3	30,0	30,0	40,0
mittig	2	20,0	20,0	60,0
weniger Nasenhöhe	4	40,0	40,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die 1. Violine eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher links	1	10,0	10,0	10,0
weniger links	3	30,0	30,0	40,0
mittig	5	50,0	50,0	90,0
weniger rechts	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die 2. Violine eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger links	2	20,0	20,0	20,0
mittig	7	70,0	70,0	90,0
weniger rechts	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die Bratsche eher links/rechts von dir?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weniger links	1	10,0	10,0	10,0
	mittig	5	50,0	50,0	60,0
	weniger rechts	3	30,0	30,0	90,0
	eher rechts	1	10,0	10,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich das Cello eher links/rechts von dir?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weniger links	1	10,0	10,0	10,0
	mittig	3	30,0	30,0	40,0
	weniger rechts	3	30,0	30,0	70,0
	eher rechts	3	30,0	30,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

3. Häufigkeitstabellen des Hörbeispiels C

Sind die Instrumente eher im Raum aufgeteilt? (Breite des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger schmal	1	10,0	10,0	10,0
mittig	6	60,0	60,0	70,0
weniger breit	1	10,0	10,0	80,0
eher breit (breiter aufgeteilt)	2	20,0	20,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Ist das Gehörte näher oder weiter weg? (Tiefe des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger flach	4	40,0	40,0	40,0
mittig	1	10,0	10,0	50,0
weniger tief	4	40,0	40,0	90,0
eher tief (weiter weg)	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Wie ist die Räumlichkeit des Gehörten?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weniger trocken	1	10,0	10,0	10,0
	mittig	4	40,0	40,0	50,0
	weniger räumlich	3	30,0	30,0	80,0
	eher räumlich	2	20,0	20,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Wie natürlich klingen die Beispiele?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weniger unecht	5	50,0	50,0	50,0
	mittig	2	20,0	20,0	70,0
	weniger natürlich	3	30,0	30,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	mittig	6	60,0	60,0	60,0
	weniger außerhalb	3	30,0	30,0	90,0
	eher außerhalb	1	10,0	10,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	weniger Stirnhöhe	4	40,0	40,0	40,0
	mittig	1	10,0	10,0	50,0
	weniger Nasenhöhe	5	50,0	50,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die 1. Violine eher links/rechts von dir?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	eher links	6	60,0	60,0	60,0
	weniger links	3	30,0	30,0	90,0
	mittig	1	10,0	10,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die 2. Violine eher links/rechts von dir?

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	eher links	2	20,0	20,0	20,0
	weniger links	4	40,0	40,0	60,0
	mittig	4	40,0	40,0	100,0
	Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich die Bratsche eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig mittig	6	60,0	60,0	60,0
weniger rechts	4	40,0	40,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

Befindet sich das Cello eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger links	1	10,0	10,0	10,0
mittig	3	30,0	30,0	40,0
weniger rechts	5	50,0	50,0	90,0
eher rechts	1	10,0	10,0	100,0
Gesamt	10	100,0	100,0	

4. Häufigkeitstabellen des Hörbeispiels D

Sind die Instrumente eher im Raum aufgeteilt? (Breite des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher schmal (nahe beieinander)	1	11,1	11,1	11,1
weniger schmal	1	11,1	11,1	22,2
mittig	1	11,1	11,1	33,3
weniger breit	4	44,4	44,4	77,8
eher breit (breiter aufgeteilt)	2	22,2	22,2	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Ist das Gehörte näher oder weiter weg? (Tiefe des Beispiels)

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher flach (nähe)	6	66,7	66,7	66,7
weniger flach	1	11,1	11,1	77,8
mittig	2	22,2	22,2	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Wie ist die Räumlichkeit des Gehörten?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher trocken	1	11,1	11,1	11,1
weniger trocken	1	11,1	11,1	22,2
mittig	4	44,4	44,4	66,7
weniger räumlich	2	22,2	22,2	88,9
eher räumlich	1	11,1	11,1	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Wie natürlich klingen die Beispiele

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher unecht	1	11,1	11,1	11,1
weniger unecht	1	11,1	11,1	22,2
weniger natürlich	3	33,3	33,3	55,6
eher natürlich	4	44,4	44,4	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher Im-Kopf oder außerhalb wahrgenommen?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher im Kopf	1	11,1	11,1	11,1
weniger im Kopf	2	22,2	22,2	33,3
mittig	2	22,2	22,2	55,6
weniger außerhalb	3	33,3	33,3	88,9
eher außerhalb	1	11,1	11,1	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Wird das Gehörte eher auf Stirn- oder Nasenhöhe wahrgenommen?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher Stirnhöhe	1	11,1	11,1	11,1
mittig	4	44,4	44,4	55,6
weniger Nasenhöhe	3	33,3	33,3	88,9
eher Nasenhöhe	1	11,1	11,1	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Befindet sich die 1. Violine eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher links	7	77,8	77,8	77,8
weniger links	2	22,2	22,2	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Befindet sich die 2. Violine eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig eher links	3	33,3	33,3	33,3
weniger links	4	44,4	44,4	77,8
mittig	1	11,1	11,1	88,9
weniger rechts	1	11,1	11,1	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Befindet sich die Bratsche eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig weniger links	1	11,1	11,1	11,1
mittig	6	66,7	66,7	77,8
weniger rechts	1	11,1	11,1	88,9
eher rechts	1	11,1	11,1	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	

Befindet sich das Cello eher links/rechts von dir?

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig mittig	2	22,2	22,2	22,2
weniger rechts	5	55,6	55,6	77,8
eher rechts	2	22,2	22,2	100,0
Gesamt	9	100,0	100,0	