

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohren-  
krankheiten, plastische und ästhetische Operationen  
der Universität Würzburg

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. Rudolf Hagen

**Spektral reduzierte  
Musikwahrnehmung Normalhörender:  
Unveränderte, sechs- und zwölfband-  
rauschvokodierte Signale der  
Mu.S.I.C. - Testbatterie im Vergleich**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
vorgelegt von

Johannes Plank

aus Ingolstadt

Würzburg, April 2010



Referent: Prof. Dr. med. Joachim Müller  
Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke  
Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung:

Der Promovend ist Zahnarzt



Meinen Eltern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Sprache und Musik . . . . .	1
1.2	Spektrale Reduktion . . . . .	2
1.3	Der Mu.S.I.C. - Test . . . . .	2
1.4	Zielsetzung . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Versuchsplanung und Methodik, Technik</b>	<b>5</b>
2.1	Auswahl der Probanden . . . . .	5
2.1.1	Probandenalter . . . . .	5
2.1.2	Hörstatus der Probanden . . . . .	5
2.1.3	Probandengeschlecht . . . . .	5
2.1.4	Bildungsstand der Probanden . . . . .	5
2.1.5	Probandendatenbank . . . . .	6
2.2	Beschreibung des Mu.S.I.C. - Tests . . . . .	6
2.2.1	Beschreibung des rhythmuszentrierten Tests . . . . .	7
2.2.2	Beschreibung der tonhöhenzentrierten Tests . . . . .	7
2.2.3	Beschreibung der emotionszentrierten Tests . . . . .	8
2.2.4	Beschreibung der komplexitätsbezogenen Tests . . . . .	8
2.2.5	Beschreibung des Identifizierungstests . . . . .	9
2.2.6	Probandeninstruktion der Teiltests . . . . .	9
2.2.7	Demonstrationsstücke . . . . .	9
2.2.8	Teststrukturen . . . . .	10
2.3	Spektrale Reduktion der Stimuli . . . . .	11
2.4	Gleichheit des Schalldruckpegels . . . . .	12
2.5	Struktur des Experiments . . . . .	12
2.5.1	Konditionenreihenfolge und Anzahl der Probanden . . . . .	12
2.5.2	Testreihenfolge . . . . .	12
2.5.3	Einflussfaktoren . . . . .	13
2.6	Experimentelle Durchführung . . . . .	14
2.7	Technik . . . . .	15
2.7.1	Computer . . . . .	15
2.7.2	Kopfhörerauswahl . . . . .	15
2.7.3	Audiometer . . . . .	15
2.7.4	Versuchsaufbau zur Ermittlung des Schalldruckpegels . . . . .	16
2.8	Beschreibung des MUMU-Fragebogens . . . . .	16

<b>3 Ergebnisse</b>	<b>19</b>
3.1 Statistische Auswertung . . . . .	19
3.2 Auswertung Rhythmustest . . . . .	20
3.3 Auswertung Tonhöhentest . . . . .	21
3.4 Auswertung Melodietest . . . . .	22
3.5 Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung . . . . .	24
3.6 Auswertung Dissonanztest . . . . .	33
3.7 Auswertung des Tests zur Bestimmung der Instrumentenanzahl . . . . .	39
3.8 Auswertung Akkordvergleich . . . . .	42
3.9 Auswertung Instrumentenerkennungstest . . . . .	43
3.10 Auswertung MUMU-Fragebogen . . . . .	46
<b>4 Diskussion</b>	<b>49</b>
4.1 Diskussion Rhythmustest . . . . .	49
4.2 Diskussion Tonhöhentest . . . . .	49
4.3 Diskussion Melodietest . . . . .	51
4.4 Diskussion Test zur emotionalen Beurteilung . . . . .	52
4.5 Diskussion Dissonanztest . . . . .	53
4.6 Diskussion Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl . . . . .	53
4.7 Diskussion Akkordvergleich . . . . .	54
4.8 Diskussion Instrumentenerkennungstest . . . . .	55
<b>5 Ausblick</b>	<b>57</b>
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>59</b>
<b>A Allgemeine Probandeninstruktion</b>	<b>61</b>
<b>B Tonhöhentest (Instrumente)</b>	<b>63</b>
<b>C Test zur emotionalen Beurteilung</b>	<b>65</b>
<b>D Klavierakkord L25</b>	<b>67</b>
<b>E Dissonanztest: Tabelle zur pythagoräischen Konsonanztheorie</b>	<b>71</b>
<b>F Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl (Vertauschungsmatrix)</b>	<b>73</b>
<b>G Instrumentenerkennungstest (Vertauschungsmatrix)</b>	<b>75</b>



<b>H</b>	<b>Auswertung des MUMU-Fragebogens: Diagramme</b>	<b>77</b>
<b>I</b>	<b>Tonaudiogramme der Probanden</b>	<b>93</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>
	<b>Danksagung</b>	
	<b>Lebenslauf</b>	



# 1 Einleitung

## 1.1 Sprache und Musik

Die Sprache scheint für den Menschen das primär Bedeutenste alles Hörbaren zu sein, sie stellt die wichtigste Kommunikationsform (Feldmann und Kumpf (1988)) des Menschen dar. Dennoch gibt es viele andere akustische Ereignisse, zum Beispiel Umweltgeräusche und Musik, die im Leben Hörender eine große Rolle spielen. Gerade Musik hat dabei einen hohen kulturellen und gesellschaftlichen Stellenwert. Technische Hilfsmittel wie Cochleaimplantate verursachen nachgewiesenermaßen (Looi et al. (2008); McDermott (2004); Veekmans et al. (2009)) ein mehr oder weniger stark verändertes Musikverständnis. Nach einer Cochleaimplantation verändern sich laut Lassaletta et al. (2007) die Musikhörgewohnheiten und der Einfluss der Musik auf die Lebensqualität. Studien zur Musikwahrnehmung durch CI-Träger untersuchen oft die Verarbeitung von Tonhöhe, Klangfarbe und Rhythmus. Die Mehrzahl dieser Studien, wie etwa Gfeller et al. (2005) und McDermott (2005) belegen, dass die Musikwahrnehmung bei CI-Trägern deutlich schlechter ist als bei Normalhörenden. Dieses verminderte Musikverständnis steht im deutlichen Widerspruch zu den Erkenntnissen, die Shannon et al. (1995) zum Sprachverständnis Normalhörender nach Rauschbandvokodierung erlangte. Er konnte nachweisen, dass für ein gutes Sprachverständnis wenige Frequenzbänder ausreichen. Die Funktionsweise eines Rauschbandvokoders ist in Kapitel 2.3 (Spektrale Reduktion der Stimuli, S. 11) erklärt. Zu entsprechenden Ergebnissen kommen auch Fishman et al. (1997) und Dorman und Loizou (1997), die Untersuchungen zum Sprachverständnis mit CI-Trägern machten.

Besonders gute Ergebnisse im Sprachverständnis werden seit der Einführung der CIS-Kodierungsstrategie („Continuous Interleaved Sampling“) bei modernen Implantatsystemen erzielt. Diese Methode wurde von Wilson et al. (1991) entwickelt und fand ab 1994 erste Verwendung in Cochleaimplantaten. Die vor dieser Entwicklung erfolgversprechendste Kodierungsstrategie aktivierte alle Elektroden in der Cochlea gleichzeitig mit Analogsignalen („compressed analogue“), wodurch es zu starken Wechselwirkungen zwischen den Informationskanälen kam („Übersprechen“). Bei der CIS-Kodierungsstrategie sind die Stimulationspulse einzelner Elektroden nur kurz und nie zeitgleich aktiv, woraus eine verbesserte Trennbarkeit resultiert. Diese Entwicklung darf als Quantensprung der CI-Forschung angesehen werden.

### 1.2 Spektrale Reduktion

Derzeit gibt es für die unterschiedlichen Grade der Schwerhörigkeit verschiedene Therapien. So können als Hilfsmittel konventionelle Hörgeräte, Mittelohrimplantate, Cochleaimplantate oder Hirnstammimplantate angeboten werden. Bei hochgradig bis vollständig ertaubten Personen, die auch bei bestmöglicher Versorgung mit Hörgeräten wenig oder gar keinen Nutzen durch akustische Verstärkung erzielen, ist die Versorgung mit einem Cochleaimplantat angezeigt (u. a. [MED-EL Medical Electronics](#)). Cochleaimplantate bieten aber nur spektral reduzierte Signale, bestenfalls so viele Frequenzbänder, wie Elektroden in der Cochlea aktiv sind. Die begrenzte Anzahl der Elektroden bedingt eine reduzierte spektrale Auflösung, veränderte Höreindrücke und eine veränderte Musikwahrnehmung. Die verminderte spektrale Auflösung wurde zur Untersuchung normalhörender Probanden bereits von [Green et al. \(2002\)](#), [Başkent und Shannon \(2003\)](#) und [Laneau et al. \(2006\)](#) mittels Rauschbandvokodierung simuliert. Die oben genannten Untersuchungen beziehen sich alle auf das Sprachverständnis nach spektraler Reduktion. Bis jetzt gibt es noch keine Studien, die das Musikverständnis nach spektraler Reduktion mittels Rauschbandvokoder untersuchen.

Dabei erweist sich die Methode der Rauschbandvokodierung als vorteilhaft, da man so eine normalhörende, homogene Testgruppe untersuchen kann. Unerwünschte probandenbedingte Nebeneffekte, die sich beispielsweise bei CI-Trägern wegen unterschiedlichem Alter und Hörstatus, Vorerkrankungen und Medikationen ergeben, können so eliminiert werden. Eine homogene Gruppe erlaubt die gezielte Untersuchung des Einflusses spektraler Reduktion.

Die Mechanismen des Musikhörens mittels Cochleaimplantat oder nach spektraler Reduktion sind bis dato noch nicht ausreichend geklärt und verstanden. Zur Klärung dieser Fragestellung ist es wichtig zu wissen, wie sich spektrale Reduktion auf das Musikverständnis auswirkt. Moderne Implantatsysteme haben einen Elektrodenträger mit 12 Einzelelektroden. Als erste Untersuchungsvariante bietet sich also eine Simulation mit 12 Rauschbändern an. Um stärkere spektrale Reduktion zu simulieren, wird die Bandzahl halbiert und das Musikverständnis mit 6 Frequenzbändern untersucht.

### 1.3 Der Mu.S.I.C. - Test

Der Mu.S.I.C. - Test ist in Kapitel [2.2 \(Beschreibung des Mu.S.I.C. - Tests, S. 6\)](#) eingehend beschrieben. Er erlaubt die Untersuchung verschiedener Aspekte des Musikhörens und Musikverstehens und wurde daher als experimentelle Grundlage der vorliegenden Arbeit gewählt. Der Test eignet sich in besonderem Maße, um diese Aspekte auch nach spektraler Reduktion mittels Rauschbandvokoder zu untersuchen.

Der Mu.S.I.C. - Test wurde im März 2005 auf dem „10th Symposium on Cochlear Implants in Children“ in Dallas, Texas erstmals offiziell vorgestellt. Die Un-

tersuchungen, die bis zu diesem Zeitpunkt mit dem Mu.S.I.C. - Test gemacht wurden, sind dem Konferenzband [Dallas \(2005\)](#) zu entnehmen. Die wichtigsten Untersuchungen werden im folgenden kurz beschrieben:

Die erste Studie „The Mu.S.I.C. - Test: Results for normal hearing people“ unter der Leitung von H&D Fitzgerald Ltd. ([Fitzgerald, 2005](#)) sammelte die Daten von 70 Normalhörenden, die zwischen 8 und 80 Jahren alt waren. Die Ergebnisse der Studie sollten als Referenzdaten dienen.

In einer Studie „The Mu.S.I.C. - Test: Results of a Pilot Study“ der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie der TU München ([Brockmeier, 2005](#)) wurden 15 CI-Träger und 15 normalhörende Probanden untersucht, wobei alle Normalhörenden und 13 CI-Träger die Untersuchung in einer Sitzung beenden konnten. Die Testdauer für Normalhörende betrug ca. 50 Minuten, die der CI-Träger war mit ca. 70 Minuten etwas länger. Es stellte sich heraus, dass die CI-Träger in allen Teiltests mit Ausnahme des Rhythmustests deutlich schlechtere Ergebnisse erzielten als die normalhörenden Probanden. Weiterhin wurde festgestellt, dass sich der Mu.S.I.C. - Test zur Untersuchung von CI-Trägern, unilateral und bilateral, und EAS-Trägern ab dem 6. Lebensjahr eignet.

In einer weiteren Studie „Comparison of music perception in bilateral and unilateral implant users“ unter der Leitung von [Veekmans \(2005\)](#) wurde die Musikwahrnehmung bei bilateralen CI-Trägern mit Normalhörenden und unilateral implantierten Probanden mit dem Mu.S.I.C. - Test verglichen. Unterstützend wurde der MUMU-Fragebogen, der auch in der vorliegenden Arbeit Verwendung findet, hinzugezogen, um die musikalischen Vorkenntnisse und die Hörgewohnheiten aller Probanden erfassen zu können. Dieser ist in Kapitel [2.8 \(Beschreibung des MUMU-Fragebogens, S. 16\)](#) ausführlich beschrieben. Die bilateral implantierte Probandengruppe hörte den Mu.S.I.C. - Test sowohl bilateral als auch unilateral, erst das erstimplantierte und dann das zweitimplantierte Ohr. Die Ergebnisse der bilateral implantierten Patienten wurden mit denen der unilateral implantierten und den Ergebnissen Normalhörender verglichen. So konnte erstmals gezeigt werden, dass die bilaterale Implantation zu einer Bereicherung der musikalischen Wahrnehmungsfähigkeit bei Cochleaimplantatnutzern beiträgt.

Der Mu.S.I.C. - Test ist zudem seit 2005 an der HNO-Universitätsklinik Würzburg zur klinischen Untersuchung der Musikwahrnehmung von unilateralen und bilateralen CI-Trägern im Einsatz. Die hierbei erhobenen Daten sollen in zukünftig folgenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen Verwendung finden.

## 1.4 Zielsetzung

Diese Dissertationsarbeit soll erste grundsätzliche Erkenntnisse zum Musikverständnis nach spektraler Reduktion liefern. So sollen die Faktoren dargestellt und verstanden werden, welche die Musikwahrnehmung nach spektraler Reduktion hauptsächlich beeinflussen. Weiterhin soll geklärt werden, ob sich das Musikverständnis der Probanden durch zunehmende spektrale Reduktion wei-

## 1 Einleitung

ter verschlechtert. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Faktoren gelegt, bei denen bereits bei verminderter spektraler Reduktion eine signifikante Verschlechterung des Musikverständnisses zu beobachten war. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse über die spektrale Reduktion mittels Rauschbandvokoder sollen mit den bereits vorhandenen Erkenntnissen zum Musikverständnis von CI-Trägern und Hörgeräteträgern verglichen werden.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollen als Vergleichsbasis für Nachfolgearbeiten weitere Verwendung finden. Einige Vorschläge für mögliche weitere Untersuchungen werden in Kapitel 5 ([Ausblick](#), S. 57) aufgeführt.

Langfristiges Ziel ist die Entwicklung von geeigneten Kodierungsstrategien für Musik, die eine verbesserte Wahrnehmung von CI- und Hörgeräteträgern ermöglicht. Die Überlegung, die bereits von [Leal et al. \(2003\)](#) formuliert wurde, geht hin zu speziellen Konfigurationen des Sprachprozessors auf einen „Musikmodus“, mit individuell angepassten und entsprechend veränderten Einstellungen zur besseren Musikwahrnehmung.

## **2 Versuchsplanung und Methodik, Technik**

### **2.1 Auswahl der Probanden**

#### **2.1.1 Probandenalter**

Es wurden 24 normalhörende Erwachsene im Alter zwischen 20 und 31 Jahren ausgewählt. Das Alter wurde bewusst so festgelegt, um eine Gleichheit des Hörstatus annehmen zu können.

#### **2.1.2 Hörstatus der Probanden**

Der Hörstatus der Probanden wurde vor der Versuchsdurchführung überprüft. Hierzu wurde von jedem Probanden ein Tonaudiogramm gemessen, um die Normalhörigkeit sicherzustellen. Als Normalhörigkeit wurde eine Hörschwelle bis zu 20 dB zwischen 125 Hz und 4 kHz definiert. Die Tonaudiogramme wurden bei allen Probanden in einer Audiometrikabine der HNO-Klinik der Universität Würzburg erstellt, in der unter gleichen Bedingungen die Patienten im Routinebetrieb untersucht werden. Alle Probanden der Hauptgruppe bezeichneten sich selbst als normalhörend, was anhand der Tonaudiogramme in Anhang I ([Tonaudiogramme der Probanden](#), S. 93) bestätigt wurde. Alle getesteten Personen konnten am Experiment als Probanden teilnehmen.

#### **2.1.3 Probandengeschlecht**

Der eventuelle Einfluss des Geschlechts wurde außer acht gelassen; es herrscht innerhalb der Hauptgruppe keine Gleichverteilung. Es wurden 9 weibliche Probandinnen und 15 männliche Probanden getestet.

#### **2.1.4 Bildungsstand der Probanden**

Um die Hauptgruppe möglichst homogen zu halten, wurde ein bestimmtes Bildungsniveau vorausgesetzt. Alle Probanden der Hauptgruppe waren Abiturienten, was auf einen überdurchschnittlichen Bildungsstand hoffen läßt. So konnte erwartet werden, dass die gestellten Aufgaben verstanden wurden. Das Kennen der im Test verwendeten Instrumente wurde vorausgesetzt. Der musikalische Bildungsstand wurde mit dem MUMU-Fragebogen erhoben (s. Abschnitt [2.8, Beschreibung des MUMU-Fragebogens](#), S. 16).

### 2.1.5 Probandendatenbank

Zur Erfassung der Probandendaten wurde das im Mu.S.I.C. - Test vorhandene Patientenregister verwendet. Mit diesem Register wurden die Probandendaten erfasst und gespeichert. Vor jeder Messung musste der Name, Vorname, das Geburtsdatum und das Geschlecht in die vorgesehenen Felder eingetragen werden. Die erfassten Daten wurden über eine Chiffre anonymisiert. Ohne Angabe dieser Daten ließ sich das Experiment nicht starten.

## 2.2 Beschreibung des Mu.S.I.C. - Tests

Als experimentelle Plattform diente eine modifizierte Variante des Mu.S.I.C. - Tests. Dieser wurde von H&D Fitzgerald Ltd. entwickelt und zur Verfügung gestellt. Er lag als „Beta test version“ mit Copyright © 2004 vor. Es wurde eine modifizierte Version des Mu.S.I.C. - Tests erstellt, durch die es möglich war, die vorgegebene Fragestellung zu beantworten. Zum einen sollten im Experiment verschiedene Hörkonditionen verglichen werden, die unterschiedliche spektrale Auflösungen hatten. Zum anderen sollte Gleichheit des Schalldruckpegels bei allen Musikstücken herrschen. Die Musikstücke werden im Mu.S.I.C. - Test in dem von H&D Fitzgerald Ltd. entwickelten .wvx-Format verwendet. Um die Musikstücke wie gewünscht verändern zu können, mußten diese erst in das kompatible .wav-Format gewandelt werden. Nun wurden sie wie in Abschnitt 2.3 ([Spektrale Reduktion der Stimuli](#), S. 11) beschrieben modifiziert. In Abschnitt 2.4 ([Gleichheit des Schalldruckpegels](#), S. 12) ist die Anpassung des Schalldruckpegels beschrieben.

Der Mu.S.I.C. - Test hat acht Teiltests, die jeweils einen bestimmten Teilaspekt der Musikwahrnehmung beleuchten. Die acht Teiltests sind:

1. Rhythmustest
2. Tonhöhentest
3. Instrumentenerkennungstest
4. Test zur emotionalen Beurteilung
5. Melodietest
6. Dissonanztest
7. Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl
8. Akkordvergleich

Die hier genannte Reihenfolge wurde bei der Testdurchführung eingehalten. Methodisch verwandte Tests werden aus Übersichtsgründen nacheinander beschrieben:

1. rhythmuszentrierter Test: Rhythmustest
2. tonhöhenzentrierte Tests: Tonhöhentest, Melodietest
3. emotionalzentrierte Tests: Test zur emotionalen Beurteilung, Dissonanztest



4. komplexitätsbezogene Tests: Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl, Akkordvergleich
5. Identifizierungstest: Instrumentenerkennungstest

### 2.2.1 Beschreibung des rhythmuszentrierten Tests

#### Der Rhythmustest

Der Rhythmustest überprüft die Fähigkeit des Probanden die grobe Zeitstruktur eines Trommelspiels, Aktionsdauer und Trommelpausen zu erkennen. Der Proband hört zwei kurze, durch eine Pause getrennte Musikstücke, die auf einer Trommel gespielt werden. Die Aufgabe des Probanden besteht darin anzugeben, ob der Rhythmus der Musikstücke gleich oder unterschiedlich ist. Insgesamt hört der Proband in einer Hörkondition 15 verschiedene Paarungen, die er bezüglich ihrer Rhythmusgleichheit beurteilen soll.

### 2.2.2 Beschreibung der tonhöhenzentrierten Tests

#### Der Tonhöhentest

Der Tonhöhentest überprüft, welcher Tonhöhenunterschied gerade noch erkannt wird. Der Proband hört dazu zwei durch eine Pause getrennte Töne. Der Proband beurteilt, ob der zweite Ton im Vergleich zum ersten Ton höher oder tiefer ist. Die Töne sind jeweils paarweise angebotene Klaviertöne, Geigentöne oder Sinustöne. Diese werden initial mit einem Abstand von 12 Vierteltonen bzw. einer halben Oktave angeboten. Der Test verhält sich adaptiv, d. h. je mehr richtige Antworten der Proband gibt, desto geringer wird der Abstand zwischen den Tonhöhen. Der kleinstmögliche Unterschied ist dabei der Vierteltonabstand. Die Schritte zur Veränderung des Tonhöhenunterschiedes sind dabei nicht konstant immer ein Viertelton, sondern sie verkleinern sich im fortlaufenden Test nach einer 6-3-2-1-1-1-...Vierteltonreihe. So wird im 2down-1up Verfahren (Levitt, 1971) die Schwelle ermittelt, bei der gerade noch ein Tönhöhenunterschied erkannt wird. Als Zeichen gesicherter Unterscheidungsfähigkeit führt die 8. Richtungsänderung von leichter zu schwieriger bzw. umgekehrt zum Abschluß des Tests. Der Test gilt auch dann als abgeschlossen, wenn der kleinstmögliche Tonhöhenunterschied zweimal nacheinander erkannt wird.

#### Der Melodietest

Der Melodietest überprüft, ob verschiedene Tonhöhen innerhalb eines rhythmusgleichen Musikstückes wahrgenommen werden können. Der Proband hört zwei durch eine Pause getrennte Musikstücke. Eines der Musikstücke hat immer dieselbe Tonlage, beim anderen Musikstück ändert sie sich. Der Proband gibt an,

ob das erste oder das zweite Musikstück wechselnde Tonlagen hat. Der Test verhält sich adaptiv, d. h. je mehr richtige Antworten der Proband gibt, desto weniger verändert sich die Tonlage im tonhöhenvariablen Musikstück.

### 2.2.3 Beschreibung der emotionszentrierten Tests

#### Der Test zur emotionalen Beurteilung

Der Test zur emotionalen Beurteilung verlangt eine Einteilung bezüglich der durch ein Musikstück vermittelten Emotion. Der Proband hört 32 kurze Musikstücke, die er auf einer Skala von 1 bis 10 bewerten soll. Die Bewertung bezieht sich auf das emotionale Empfinden beim Hören der Musikstücke. Die 1 soll hierbei für die traurigste, die 10 für die fröhlichste Empfindung verwendet werden. Es gibt mehrere verschiedene Grundthemen, die in unterschiedlichen Tonlagen und mit einer unterschiedlichen Anzahl von Instrumenten gespielt werden.

#### Der Dissonanztest

Der Dissonanztest verlangt eine Beurteilung verschiedener Klänge bezüglich ihrer Harmonie. Der Proband hört Klänge, die auf einem Klavier gespielt werden. Diese Klänge sollen auf einer Skala von 1 bis 10 bewertet werden. Die 1 soll für extrem dissonant, die 10 für extrem konsonant Harmonieempfindung stehen. Insgesamt hört der Proband in einer Hörkondition 15 verschiedene Klänge, die er bewerten soll. Die angebotenen Klänge sind Zwei-, Drei- und Vierklänge. Der Konsonanzgrad geht von 1.41 (Oktave) bis 37.95 (Tritonus). Die Berechnung des Konsonanzgrades erfolgt nach der pythagoräischen Konsonanztheorie.

### 2.2.4 Beschreibung der komplexitätsbezogenen Tests

#### Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl

Der Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl überprüft, wie viele Instrumente innerhalb eines Musikstückes unterschieden und erkannt werden. Zum Einstieg hört der Proband mehrfach ein Musikstück, das stets auf einem anderen Instrument gespielt wird. Folgende Instrumente kommen vor: Querflöte, Trompete, Trommel, Xylophon und Cello. Dann hört der Proband mehrfach das Musikstück, wobei die Anzahl der teilnehmenden Instrumente und deren Kombination variiert. Der Proband soll erkennen, wieviele und welche Instrumente beim sich fünfmal wiederholenden Musikstück jeweils mitwirken. Der Fragestellung entsprechend wird hierzu das Musikstück von einer unterschiedlichen Instrumentenanzahl und variablen Instrumentenkombination gespielt. Zur Beantwortung werden die erkannten Instrumente markiert und deren Anzahl angegeben.

## **Akkordvergleich**

Der Akkordvergleich überprüft die Unterscheidungsfähigkeit komplexerer Klänge. Der Proband hört zwei durch eine Pause getrennte Akkorde, die auf einem Klavier gespielt werden. Der Proband gibt an, ob die angebotenen Akkorde gleich oder unterschiedlich sind. Der Befragte hat die Möglichkeit, richtig oder falsch zu antworten. Es werden pro Hörkondition 12 zu beurteilende Akkordpaare angeboten.

### **2.2.5 Beschreibung des Identifizierungstests**

#### **Instrumentenerkennungstest**

Der Instrumentenerkennungstest überprüft, ob man verschiedene Instrumente erkennen kann. Dazu hört der Proband ein kurzes Musikstück, das auf einem einzigen Instrument gespielt wird. Der Proband soll angeben, welches Instrument er gehört hat. Er kann dazu aus zehn verschiedenen Instrumenten wählen. Folgende Instrumente stehen zur Auswahl:

Klavier, Xylophon, Querflöte, Geige, Kontrabass, Trompete, Horn, Tuba, Fagott und Gesang (Sopran).

Jedes Instrument kommt im Testverlauf dreimal vor, jeweils mit einer Tonleiter, dem stets gleichem Musikstück „Baba black sheep“ und einem für das jeweilige Instrument spezifischen Musikstück. Der Proband weiß, dass sich die Instrumente wiederholen können, er weiß nicht, wie oft diese sich wiederholen und ob jedes dargestellte Instrument vorkommt. Da bei diesem Test keine Demonstrationmöglichkeit besteht, ist hier die musikalische Vorbildung des Probanden ein entscheidender Faktor. Insgesamt hört der Proband in einer Hörkondition 30 Musikstücke, er hat immer alle Instrumente als Antwortmöglichkeit gegeben. Der Proband muß sich nicht das gesamte Musikstück anhören, er kann antworten, sobald er das Instrument sicher erkannt hat.

#### **2.2.6 Probandeninstruktion der Teiltests**

Allen Teiltests sind softwareintegrierte Probandeninstruktionen vorgeschaltet, die den Ablauf der darauffolgenden Tests näher beschreiben. Mit wenigen Worten werden die Fragestellung und die Antwortmöglichkeiten erklärt. Der Proband startet den Test selbstständig, nachdem er sich diese Zusatzinformation durchgelesen hat.

#### **2.2.7 Demonstrationsstücke**

Bei allen Teiltests mit Ausnahme des Instrumentenerkennungstests hat man die Möglichkeit, Demonstrationsstücke zur näheren Erläuterung zu hören. In diesen Stücken werden die folgenden Aufgaben beispielhaft erklärt und nach Mög-

lichkeit beantwortet. Dadurch soll die anfängliche Desorientierung bezüglich der Fragestellung verringert werden. Beim Rhythmustest, beim Tonhöhentest, beim Melodietest und beim Akkordvergleich werden je zwei Beispiele vorgespielt und die korrekten Antworten aufgezeigt. Beim Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl kann der Proband alle mitwirkenden Instrumente mehrmals anhören. Beim Test zur emotionalen Beurteilung und beim Dissonanztest werden Demonstrationstücke ohne Bewertungsmöglichkeit angeboten. Der Instrumentenerkennungstest bietet keine Demonstrationstücke, die Fragestellung erlaubt diese anfängliche Hilfestellung nicht.

### 2.2.8 Teststrukturen

#### 2 AFC Tests

Bei „two alternative forced choice“-Tests (2 AFC Tests) wählt der Proband aus zwei vorgegebenen Antwortmöglichkeiten die seiner Meinung nach richtige aus. Der Mu.S.I.C. - Test verwendet dieses Testverfahren beim Rhythmustest, beim Tonhöhentest, beim Melodietest und beim Akkordvergleich. Der Tonhöhentest und der Melodietest verhalten sich zudem noch adaptiv, d. h. richtige Antworten steigern das Schwierigkeitsniveau, falsche senken es.

#### Bewertende Tests

Bei bewertenden Tests ordnet der Proband die Musikstücke nach verschiedenen Gesichtspunkten in eine Skala ein. Dieses Verfahren wird beim Test zur emotionalen Beurteilung und beim Dissonanztest angewandt. Die Skala hat im vorliegenden Fall 10 Bewertungsstufen. In der Instruktion der Teiltests wird der Proband darauf hingewiesen, dass bei diesen Tests seine Meinung gefragt ist und er nichts falsch machen kann.

#### 1 aus 10-Test

Der Proband wählt eine von zehn möglichen Antwortmöglichkeiten aus. Dieses Testverfahren benutzt der Instrumentenerkennungstest.

#### 1 aus 5-Test

Der Proband wählt eine von fünf möglichen Antwortmöglichkeiten aus. Dieses Testverfahren nutzt der Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl.

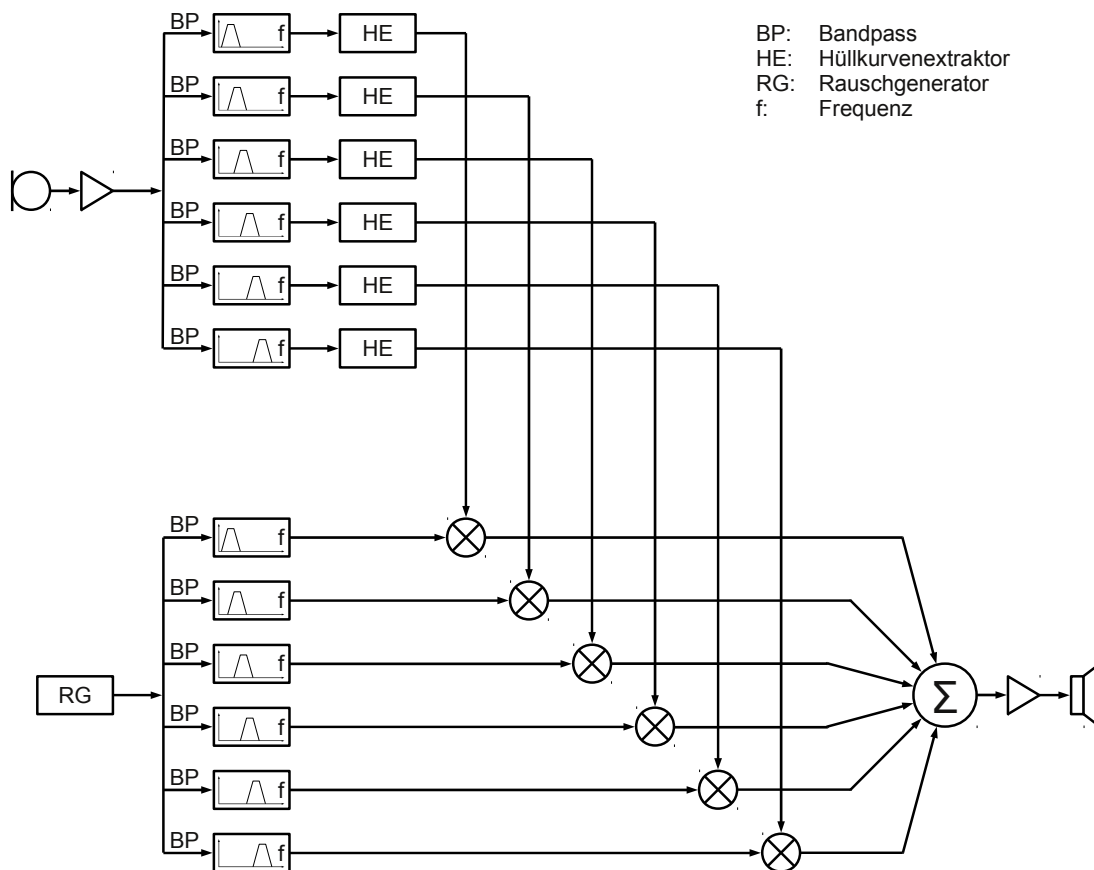


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des Rauschbandvokoders in der 6-BAND-Variante.

## 2.3 Spektrale Reduktion der Stimuli

Zur spektralen Reduktion wurden die Musiksignale mit einem Rauschbandvokoder in sechs- bzw. zwölfbandige Varianten umgerechnet. Im Rauschbandvokoder wurden aus dem Originalsignal mit Hilfe einer Bandpass-Filterbank und der Hilbertransformation die Hüllkurve des jeweiligen Frequenzbereichs extrahiert. Die Hüllkurve moduliert ein aus einem weißen Rauschen gewonnenes Bandrauschen, wobei dieses denselben Frequenzumfang des korrespondierenden Extraktionsbandes besitzt. Die sechs bzw. zwölf modulierten Bandrauschen wurden dann zusammengemischt und stellen die rauschbandvokodierte, spektral reduzierte Variante des Originals dar. Eine schematische Darstellung des Rauschbandvokoders ist in Abb. 2.1 gezeigt. Die in Anhang D ([Klavierakkord L25](#), S. 67) gezeigten Spektrogramme verdeutlichen, auf welche Weise der beispielgebende Akkord „L25“ verändert wird. Diese Spektrogramme sind sortiert nach zunehmender spektraler Reduktion. Es ergeben sich drei spektral unterschiedliche Varianten, die im folgenden so bezeichnet werden:

1. spektral nicht reduzierte Variante: Kondition A, ORIGINAL-Variante
2. spektral reduzierte Variante mit zwölf Rauschbändern: Kondition B, 12-BAND-Variante
3. spektral reduzierte Variante mit sechs Rauschbändern: Kondition C, 06-BAND-Variante

### 2.4 Gleichheit des Schalldruckpegels

In der Originalversion des Mu.S.I.C. - Test hatten die Musikstücke keinen einheitlichen Schalldruckpegel. Mit einem von Dipl.-Ing. S. Brill erstellten Matlab-Skript wurden alle Musikstücke unter Vermeidung von Clippen auf denselben Schalldruckpegel (SPL, A-, F-bewertet) gebracht. Zur Ermittlung des genauen Schalldruckpegels wurden die Demonstrationsstücke der Teiltests akustisch vermessen. Dies ist in Abschnitt [2.7.4 \(Versuchsaufbau zur Ermittlung des Schalldruckpegels, S. 16\)](#) genauer dargestellt. Der dabei ermittelte niedrigste Schalldruckpegel lag bei 60,0 dB, der maximal ermittelte bei 67,1 dB. Die Differenz zwischen beiden beträgt 7,1 dB.

### 2.5 Struktur des Experiments

#### 2.5.1 Konditionenreihenfolge und Anzahl der Probanden

Von höchster Priorität ist die Gleichbehandlung der drei Hörkonditionen. Um keine der angebotenen Konditionen zu bevorzugen oder zu benachteiligen, wurde deren Reihenfolge während der experimentellen Durchführung systematisch permutiert. Bei Permutation dreier Konditionen ergeben sich sechs mögliche Reihenfolgen. Für eine Gleichbehandlung der Konditionen stellt ein Vielfaches von sechs eine geeignete Probandenzahl dar. Es wurde eine Anzahl von 24 Probanden festgelegt, deren jeweilige Reihenfolge der Konditionen in [Tabelle 2.1](#) aufgeführt ist.

#### 2.5.2 Testreihenfolge

Die Reihenfolge der acht verschiedenen Teiltests wurde nicht permutiert, weil deren Durchwürfelung einerseits zur Beantwortung der Fragestellung keine Relevanz hatte und andererseits eine sehr große Probandenzahl erfordert hätte. Die dabei entstandene Ungleichbehandlung der Teiltests konnte dennoch akzeptiert werden, da die Teiltests immer den gleichen Einflüssen unterworfen waren.

Tabelle 2.1: Reihenfolge der Hörkonditionen mit Zuordnung zu den Probanden:  
 A = unverändertes Original, ORIGINAL-Variante; B = spektral reduzierte Hörkondition mit 12 Frequenzbändern, 12-BAND-Variante;  
 C = spektral reduzierte Hörkondition mit 6 Frequenzbändern, 06-BAND-Variante; JPH001 - JPH024 = Probanden der Hauptgruppe

ABC ⇒ JPH001	ABC ⇒ JPH013
ACB ⇒ JPH002	ACB ⇒ JPH014
BAC ⇒ JPH003	BAC ⇒ JPH015
BCA ⇒ JPH004	BCA ⇒ JPH016
CAB ⇒ JPH005	CAB ⇒ JPH017
CBA ⇒ JPH006	CBA ⇒ JPH018
ABC ⇒ JPH007	ABC ⇒ JPH019
ACB ⇒ JPH008	ACB ⇒ JPH020
BAC ⇒ JPH009	BAC ⇒ JPH021
BCA ⇒ JPH010	BCA ⇒ JPH022
CAB ⇒ JPH011	CAB ⇒ JPH023
CBA ⇒ JPH012	CBA ⇒ JPH024

### 2.5.3 Einflussfaktoren

#### Individueller Einfluss

Der Einfluss unterschiedlicher Individuen sollte so klein wie möglich gehalten werden. Zur Minimierung dieses Faktors wurde mit 24 Probanden eine geeignete Größe der Hauptgruppe gewählt. Zudem wurden in der Auswertung die Ergebnisse der Hauptgruppe möglichst als Mittelwerte oder Medianwerte beurteilt.

#### Allgemeine Einflussfaktoren

Mit der Permutation konnte die unerwünschte Gleichbehandlung der Konditionen vermieden werden. Auf diese Weise konnten auch auftretende Lerneffekte in der Hauptgruppe statistisch eliminiert werden. Ebenso wurde durch die Permutation der Hörkonditionen eine im Testverlauf auftretende Ermüdung und eventuell sinkende Motivation der Probanden kompensiert.

## 2.6 Experimentelle Durchführung

Vor dem Beginn des Experiments wurde, wie in Abschnitt 2.1.2 ([Hörstatus der Probanden](#), S. 5) beschrieben, jeder Proband auf Normalhörigkeit getestet. Die folgende experimentelle Durchführung fand ausschließlich in schallreduzierten Räumen der HNO-Klinik der Universität Würzburg statt. Während des Experiments befanden sich nur der Proband und der Versuchsleiter im Raum. Alle Probanden erhielten die gleichen Informationen über den Ablauf des Versuchs in Form einer schriftlichen Probandeninstruktion. Diese Anleitung sollte sicherstellen, dass der Ablauf des Experiments verständlich erklärt wurde. Hier wurde auch das schriftliche Einverständnis der Probanden zur Teilnahme verlangt. Es wurde darauf hingewiesen, dass die Teilnahme freiwillig ist und jederzeit die Möglichkeit des Abbruchs besteht. Der genaue Wortlaut der Instruktion findet sich in Anhang A ([Allgemeine Probandeninstruktion](#), S. 61).

Der in Abschnitt 2.8 ([Beschreibung des MUMU-Fragebogens](#), S. 16) erklärte MUMU-Fragebogen wurde ebenfalls vor dem Start des Versuchs zur Beantwortung vorgelegt. Der Versuchsleiter gab die Probandendaten ein und stellte die gewünschte Reihenfolge der Konditionen manuell ein. Die Probanden lasen sich die Probandeninstruktionen der Teiltests 2.2.6 sorgfältig durch und erhielten auch hier weiterführende mündliche Erklärungen, falls diese erwünscht waren. Vor dem erstmaligen Start eines Teiltests hörte der Proband die beiliegenden Demonstrationsstücke, die in Abschnitt 2.2.7 ([Demonstrationsstücke](#), S. 9) erklärt sind.

Jeder Proband der Hauptgruppe hörte alle acht in Abschnitt 2.2 ([Beschreibung des Mu.S.I.C. - Tests](#), S. 6) aufgeführten Teiltests in den drei verschiedenen Hörkonditionen.

Alle Probanden hatten jederzeit die Möglichkeit zu pausieren. Nach der Hälfte des Experiments wurde eine ca. 20 minütige Pause angeboten, die überwiegend in Anspruch genommen wurde. Außerdem wurden von manchen Probanden zusätzliche kleinere Pausen gefordert. Alle 24 Probanden beendeten das Experiment, es wurde kein Austauschproband benötigt. Wegen eines fehlerhaften Ergebnisses wurde folgender Teiltest wiederholt:

1. Melodietest in Kondition B bei Proband JPH010

Weiterhin trat bei der experimentellen Durchführung gelegentlich ein Softwareproblem auf, das einen Neustart des Mu.S.I.C. - Tests und eine Wiederholung des Teiltests in der jeweiligen Kondition nötig machte. Dies war der Fall bei den folgenden Probanden bzw. Teiltests:

1. Melodietest in Kondition C bei Proband JPH004
2. Melodietest in Kondition B bei Proband JPH005
3. Instrumentenerkennungstest in Kondition B bei Proband JPH006
4. Dissonanztest in Kondition B bei Proband JPH006
5. Instrumentenerkennungstest in Kondition C bei Proband JPH015



6. Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl in Kondition C bei Proband JPH015
7. Instrumentenerkennungstest in Kondition A bei Proband JPH016
8. Rhythmustest in Kondition A bei Proband JPH020
9. Melodietest in Kondition B bei Proband JPH020
10. Melodietest in Kondition B bei Proband JPH023

Die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Teilttest-Ergebnisse wurden verworfen und der Teilttest erneut durchgeführt. Der Einfluss dieses Softwarefehlers auf die Leistung der Probanden besteht in einer geringfügig längeren Gesamtttestdauer. Die Wiederholung der jeweiligen Einzelttests nimmt wenige Minuten in Anspruch und hat vermutlich nur geringen Einfluss auf die Ermüdung der Probanden und kann daher akzeptiert werden.

## 2.7 Technik

### 2.7.1 Computer

Bei dem verwendeten Computer handelte es sich um ein Notebook „T 2250 @ 1,73 GHz“ der Marke TOSHIBA. Der Computer lief unter dem Betriebssystem Windows XP, Media Center Edition, Version 2002 Service Pack 2. Wesentliche technische Daten sind: Prozessor Intel Centrino Duo 1,73 GHz, 1024 MB RAM, Festplattengröße 111 GB, DVD/CD-Rom-Laufwerk.

### Soundkarte

Die verwendete Soundkarte war eine „Conexant High Definition Audio Output“-Soundkarte, die im verwendeten Notebook als „Sound on Board“ vorlag.

### 2.7.2 Kopfhörerauswahl

Zur Präsentation der Musikstücke wurde ein Kopfhörer HD 570 der Marke Sennheiser verwendet. Dieser Kopfhörer eignet sich zur Wiedergabe digital erzeugter Signale. Es handelt sich um einen „High-Definition HiFi-Stereo“-Kopfhörer, der laut Hersteller ein ausgesprochen räumliches, transparentes Klangbild erzeugen soll. Die technischen Daten sind in Tabelle 2.2 aufgeführt.

### 2.7.3 Audiometer

Zur Erstellung der Tonaudiogramme wurde das Audiometer Westra CAD03/1 verwendet. Dieses Audiometer wird in der audiometrischen Praxis an der HNO-Univ.-Klinik Würzburg eingesetzt. Die technischen Daten sind der Gerätebeschreibung ([Westra CAD03/1](#)) entnommen. Es handelt sich um ein Reinton- und

Tabelle 2.2: Technische Daten des verwendeten Kopfhörers „Sennheiser HD 570“

Technische Daten (Angabe des Herstellers)	
Wandlerprinzip	dynamisch
Ankopplung ans Ohr	ohrumschließend, offen
Übertragungsbereich	18 - 22000 Hz
Kennschalldruckpegel (1 kHz, 1 V <sub>eff</sub> )	102 dB SPL
Klirrfaktor	< 0,2 %
Nennimpedanz	64 Ω
Gewicht (ohne Kabel)	ca. 210 g
Anschlußkabel	3 m Kupferkabel (OFC)
Anschlußstecker	3,5 mm Stereoklinke mit 6,3 mm Adapter

Sprachaudiometer nach IEC 645-1, das laut Hersteller einen hohen Bedienungs-komfort bietet und mit ausreichend hoher Genauigkeit misst. Die Frequenzen erstrecken sich über einen Bereich von 125 Hz bis 12 kHz mit einer Frequenz-genauigkeit von 1 %. Der Lautstärkepegel reicht von –20 dB bis +120 dB. Der Ton wird als gepulstes Signal dargeboten.

### 2.7.4 Versuchsaufbau zur Ermittlung des Schalldruckpegels

Beim Versuchsaufbau zur Ermittlung des Schalldruckpegels wurden folgende Geräte verwendet:

- Brüel&Kjær artificial ear Typ 4153 mit dem entsprechenden Kondensator-mikrophon Typ 4134
- Brüel&Kjær Schallpegelmesser Typ 2231
- Kopfhörer Sennheiser HD 570 (s. Abschnitt [2.7.2, Kopfhörerauswahl](#), S. 15)

Die Kalibrierung des Brüel&Kjær Schallpegelmessers Typ 2231 wurde mit dem Brüel&Kjær acustical Calibrator Typ 4231 bei einem Schalldruckpegel von 94 dB vorgenommen. Die Abbildung [2.2](#) zeigt eine Photographie des beschriebenen Ver-suchsaufbaus.

## 2.8 Beschreibung des MUMU-Fragebogens

Der MUMU (Muenchner Musik)-Fragebogen wurde von S. J. Brockmeier entwi-ckelt und zur Verwendung in der vorliegenden Arbeit freigegeben. Die Version 11.11.2004 © S. J. Brockmeier dient der Erfassung der Musikhörgewohnheiten

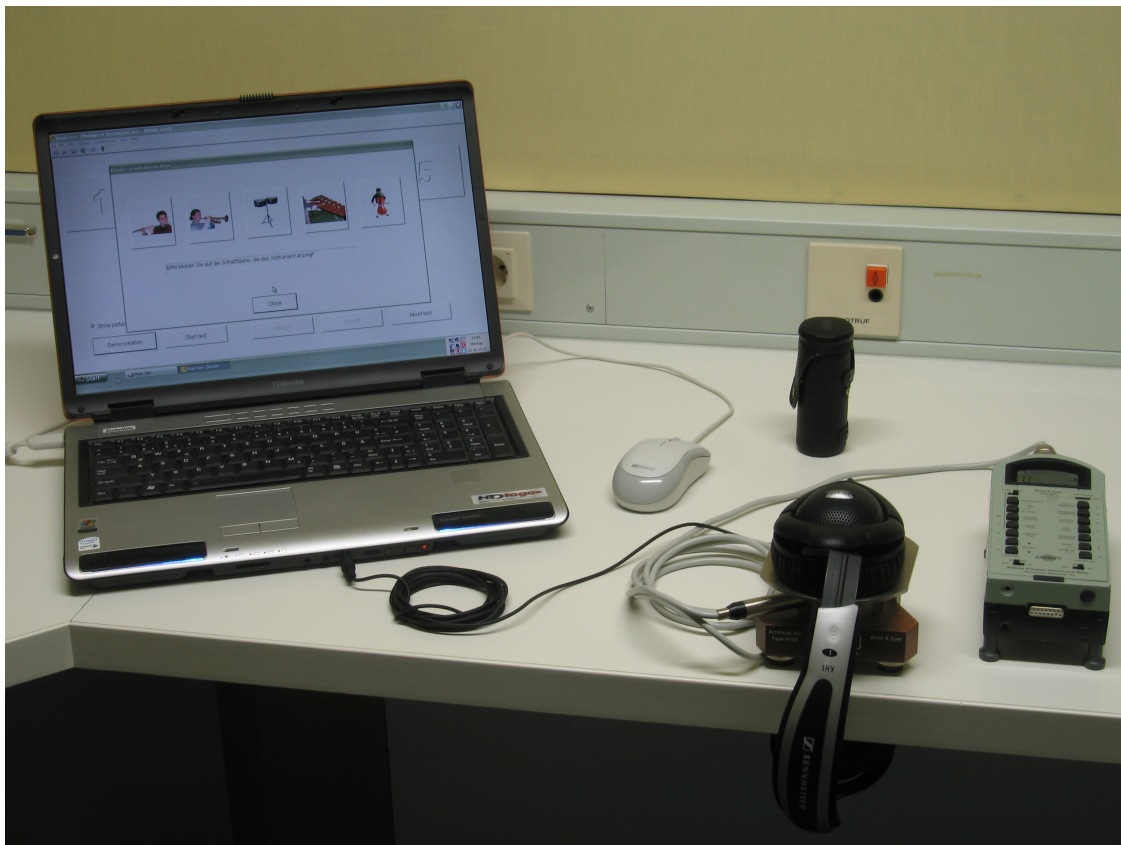


Abbildung 2.2: Messaufbau der Schalldruckpegelmessung in schallgedämpfter Kabine

Normalhörender. Der Fragebogen umfasst 18 Fragen, wodurch das musikalische Konsumverhalten und die musikalische Vorbildung von Testpersonen ermittelt wird. Die Fragen sind nach dem Multiple-Choice-Verfahren gestellt, es sind je nach Frage Einfach- oder Mehrfachnennungen möglich. Der MUMU-Fragebogen dient in der vorliegenden Arbeit ausschließlich dazu, die Gruppe der Testpersonen zu definieren. So hat die Beantwortung des Tests keine Relevanz bezüglich der Auswertung des Mu.S.I.C. - Tests.

Neun der Fragen erfassen die Gewohnheiten beim Hören von Musik (Fragen 1-5, 8-10, 13). Die Testperson gibt Auskunft über Häufigkeit, Dauer und Ort des Musikhörens, ob bewusst ohne Ablenkung oder im Hintergrund Musik gehört wird. Der Proband wird über seine Intention, Musik zu hören, befragt, und er gibt an, ob er Soloinstrumente oder Orchester bevorzugt. Es wird weiterhin erfragt, welche Musikrichtungen gehört werden, die angebotenen Musikrichtungen sollen zudem nach Genußempfindung beim Hören bewertet werden. Der Befragte sagt, ob er Solosänger oder Gruppen bevorzugt.

Acht der Fragen erfassen die musikalische Vorbildung (Fragen 6, 7, 11, 12, 14-17). Dazu gibt der Proband an, welche der aufgelisteten Instrumente er kennt

## *2 Versuchsplanung und Methodik, Technik*

und ob er diese mag. Es wird erfragt, ob die Testperson ein Instrument spielt oder als Kind spielte. Zudem kann angegeben werden, welches Instrument gespielt wird oder als Kind gespielt wurde. Die Testperson wird gefragt, ob sie singt, und wenn ja, wo und was sie singt. Der Befragte sagt, ob und wie lange er außerhalb der Schule Musikunterricht erhalten hat.

Die letzte Frage (18) befasst sich mit der Rolle, die die Musik im Leben der Testpersonen spielt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Statistische Auswertung

In der Durchführung des Experiments mit 24 Probanden in der Hauptgruppe wurden sehr viele Einzeldaten gesammelt. Diese Daten wurden zusammengefasst und einer statistischen Auswertung zugeführt. Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm *R* (The R Development Core Team, 2008). Die verwendeten statistischen Methoden sind in Sachs und Hedderich (2009) beschrieben. In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss spektraler Reduktion auf das Musikverständnis untersucht. Es kamen die drei bereits vorgestellten, spektral unterschiedlichen Hörkonditionen vor:

1. spektral nicht reduzierte Variante: Kondition A, ORIGINAL-Variante
2. spektral reduzierte Variante mit zwölf Rauschbändern: Kondition B, 12-BAND-Variante
3. spektral reduzierte Variante mit sechs Rauschbändern: Kondition C, 06-BAND-Variante

Die acht Teiltests des Mu.S.I.C. - Tests lieferten eine Vielzahl unterschiedlicher Daten. Um diese Daten zu verarbeiten, kamen jeweils unterschiedliche statistische Auswertungsmethoden und Darstellungsformen zur Anwendung:

Das Blasendiagramm eignet sich zur graphischen Darstellung von Punkten mit jeweils drei abhängigen Merkmalen in einer zweidimensionalen Fläche. Zwei der Merkmale werden wie in einem Streudiagramm aufgetragen, das dritte Merkmal wird durch den Durchmesser der Blase dargestellt. Ein Streudiagramm wiederum ist die graphische Darstellung von beobachteten Wertepaaren zweier statistischer Merkmale. Diese Wertepaare werden in ein Koordinatensystem eingetragen, wodurch sich eine Punktwolke ergibt.

Der Boxplot ist ein Diagramm, das geeignet ist, die Verteilung statistischer Daten graphisch darzustellen. Er fasst dabei verschiedene robuste Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammen. Ein Boxplot soll schnell einen Eindruck darüber vermitteln, sowohl in welchem Bereich die Daten liegen, als auch wie sich die Daten über diesen Bereich verteilen. Deshalb werden alle Werte der sogenannten Fünf-Punkte-Zusammenfassung, also der Median, die zwei Quartile und die beiden Extremwerte, dargestellt. Der Medianwert oder auch Zentralwert bezeichnet eine Grenze zwischen zwei Hälften, die zwei Quartile sind in dieser Arbeit definiert als (unteres) 0,25-Quartil bzw. (oberes) 0,75-Quartil. Die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren Quartil umfasst 50 % der Daten. Die beiden Extremwerte umfassen die anderen 50 % der Daten.

Tabelle 3.1: Rhythmustest: Mehrfeldertafel

Antwort	Hörkondition			$\Sigma$
	OR	12	06	
richtig	330	329	328	987
falsch	30	31	32	93
$\Sigma$	360	360	360	1080

Mehrfeldertafeln oder Kontingenztafeln (Kontingenztabellen) sind Kreuztafeln. Sie enthalten die absoluten oder relativen Häufigkeiten von Kombinationen bestimmter Merkmale. Kontingenz hat dabei die Bedeutung des gemeinsamen Auftretens von zwei oder mehr Merkmalen. Das bedeutet, es werden Häufigkeiten für mehrere, miteinander durch „und“ oder „sowie“ (Konjunktion) verknüpfte Merkmale dargestellt. Die statistische Auswertung einer Kontingenztafel erfolgt mit dem  $\text{Chi}^2$ -Test.

Das Balkendiagramm stellt die Datenreihen durch waagrecht liegende oder stehende Balken dar. Es eignet sich sehr gut zur Veranschaulichung von Rangfolgen.

Einzeltest: der Wilcoxon-Test: Der Wilcoxon-Rangsummentest (nach Frank Wilcoxon (1892–1965)) ist der gebräuchlichste nichtparametrische Test für das Lokationsproblem in der mathematischen Statistik und somit für den Vergleich der Mediane zweier unabhängiger Zufallsgrößen geeignet.

Häufigkeitstest:  $\text{Chi}^2$ -Test: Mit dem  $\text{Chi}^2$ -Test untersucht man Verteilungseigenschaften einer statistischen Grundgesamtheit. Es wird geprüft, ob zwei Merkmale stochastisch unabhängig sind.

## 3.2 Auswertung Rhythmustest

Die Beschreibung des Rhythmustests findet sich in Abschnitt 2.2.1 (Der Rhythmustest, S. 7). Bei diesem Test wurden insgesamt 1080 Urteile abgegeben, 360 Urteile für jede Hörkondition. Die genaue Verteilung der Urteile ist in der Tabelle 3.1 dargestellt. Auffällig hierbei ist, dass die Ergebnisse der unterschiedlichen Hörkonditionen sehr ähnlich sind. So sind 92 % der Antworten in der ORIGINAL-Variante und jeweils 91 % der Antworten in den beiden spektral reduzierten Varianten korrekt. Die Boxplotdarstellung der Ergebnisse 3.1 zeigt, inwiefern sich die abgegebenen Urteile ähnlich sind. Sowohl die Gesamtlage als auch die Streuung der Urteile sprechen dafür, dass die drei Hörkonditionen in Bezug auf die Rhythmusbeurteilung gleichwertig sind. Auch die Überprüfung des Signifikanzniveaus 3.2 zeigt keinen deutlichen Unterschied bezüglich der drei Hörkonditionen. Die im  $\text{Chi}^2$ -Test ermittelten p-Werte sprechen für die Gleichwertigkeit der drei Hörkonditionen bezüglich der Rhythmuswahrnehmung.

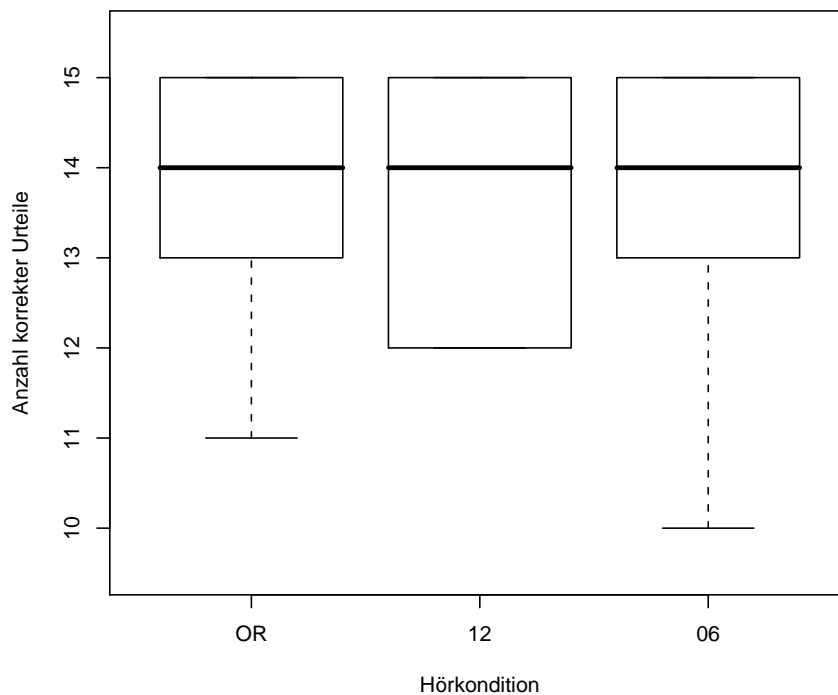


Abbildung 3.1: Rhythmus: Urteile in Abhängigkeit von der Hörkondition

Tabelle 3.2: Rhythmustest: Vergleich der Hörkonditionen mit dem Chi<sup>2</sup>-Test: Signifikanzniveaus

Kondition	p-Wert
OR — 12	1,000000000000
OR — 06	0,894313002903
12 — 06	1,000000000000

### 3.3 Auswertung Tonhöhentest

Die Beschreibung des Tonhöhentests findet sich in Abschnitt 2.2.2 ([Der Tonhöhentest](#), S. 7). Die Abbildung 3.2 ist eine Darstellung der Mittelwerte der letzten vier Wendepunkte (mean-last-4) in Abhängigkeit von der Hörkondition. Die ausschließliche Betrachtung des finalen Intervalls wäre hierbei unzureichend, da nachlassende Konzentration und Motivation einen zu großen Einfluss hätte. Eine Verwendung der Mittelwerte der letzten sechs Wendepunkte (mean-last-6) würde möglicherweise zu viele Lerneffekte zeigen. Im vorliegenden Fall werden zur Diskrimination einzelner Töne sowohl Reintöne (Sinuston), als auch komplexe, instrumentenerzeugte Töne (Piano und Geige) verwendet. Die Ab-

### 3 Ergebnisse

Abbildung 3.2 zeigt, dass die Fähigkeit der Tonhöhenunterscheidung mit zunehmender spektraler Reduktion abnimmt. Das Signifikanzniveau im Wilcoxon-Test liegt stets unter 0,01, wie in Anhang B.1 ([Tonhöhentest: Vergleich der Hörkonditionen aufgeschlüsselt nach Instrumenten bzw. Sinuston \(Wilcoxon-Test\)](#), S. 64) zu ersehen ist. Die zunehmende Unterscheidungsunfähigkeit ist dabei unabhängig von der Instrumentenart. Trotzdem finden sich auch Unterschiede bei den Ergebnissen von Sinusschwingung, Geige und Piano, siehe dazu die Abbildung in Anhang B.1, S. 63 und die zugehörigen p-Werte in Anhang B.2, S. 64. Abbildung B.1 stellt die Mittelwerte der letzten vier Wendepunkte (mean-last-4), d. h. die Schwellenwerte der Tonhöhenunterscheidbarkeit, in Abhängigkeit von der Instrumentenart bzw. vom Sinuston dar. Die drei Boxplots stehen für die jeweils steigende spektrale Reduktion. Es sind keine signifikanten Unterschiede bei der Bewertung der Instrumente und des Sinustons in der ORIGINAL-Variante zu erkennen. In dieser Hörkondition erkennen 75 % der Probanden den kleinstmöglichen Tonhöhenunterschied bei den Instrumenten und beim Sinuston. Auch in der 12-BAND-Variante findet sich kein signifikanter Unterschied zwischen Piano, Geige und Sinuston. Bei weiterer spektraler Reduktion auf 6 Bänder treten signifikante Unterschiede in der Tonhöhenunterscheidbarkeit der Instrumente und des Sinustons auf. So können beim Sinus ähnliche Tonpaare unterschieden werden als bei der Geige. Mit dem Klavier erzeugte Tonpaare sind am schwersten zu unterscheiden; diese Unterschiede sind statistisch signifikant.

### 3.4 Auswertung Melodietest

Die Beschreibung des Melodietests findet sich in Abschnitt 2.2.2 ([Der Melodietest](#), S. 7). Die Ergebnisse, dargestellt im Diagramm 3.3, die bei diesem Test ermittelt wurden, liegen als ordinale Daten vor, wobei maximal der Wert 7,00 erreichbar ist. Je größer der erreichte Zahlenwert ist, desto korrekter hat der jeweilige Proband geantwortet. Die ORIGINAL-Variante stellte für die Probanden kein Problem dar, sie wurde ausnahmslos korrekt beurteilt. Mit zunehmender spektraler Reduktion nimmt die Anzahl der inkorrekten Urteile kontinuierlich zu, wobei sowohl in der 12-BAND-Variante als auch in der 06-BAND-Variante der Medianwert bei 7,00 und damit beim Maximalwert liegt. In der 12-BAND-Variante erreicht das untere Quartil etwa den Wert 6,3 und die Extremwerte etwa den Wert 5,3. Die 06-BAND-Variante erreicht im unteren Quartil etwa den Wert 6,1 bei geringeren streuenden Extremwerten. Die Signifikanzniveaus des Wilcoxon-Rangsummentests sind in der Tabelle 3.3 dargestellt. Demnach unterscheiden sich die spektral reduzierten Varianten signifikant von der ORIGINAL-Variante, aber nicht untereinander.



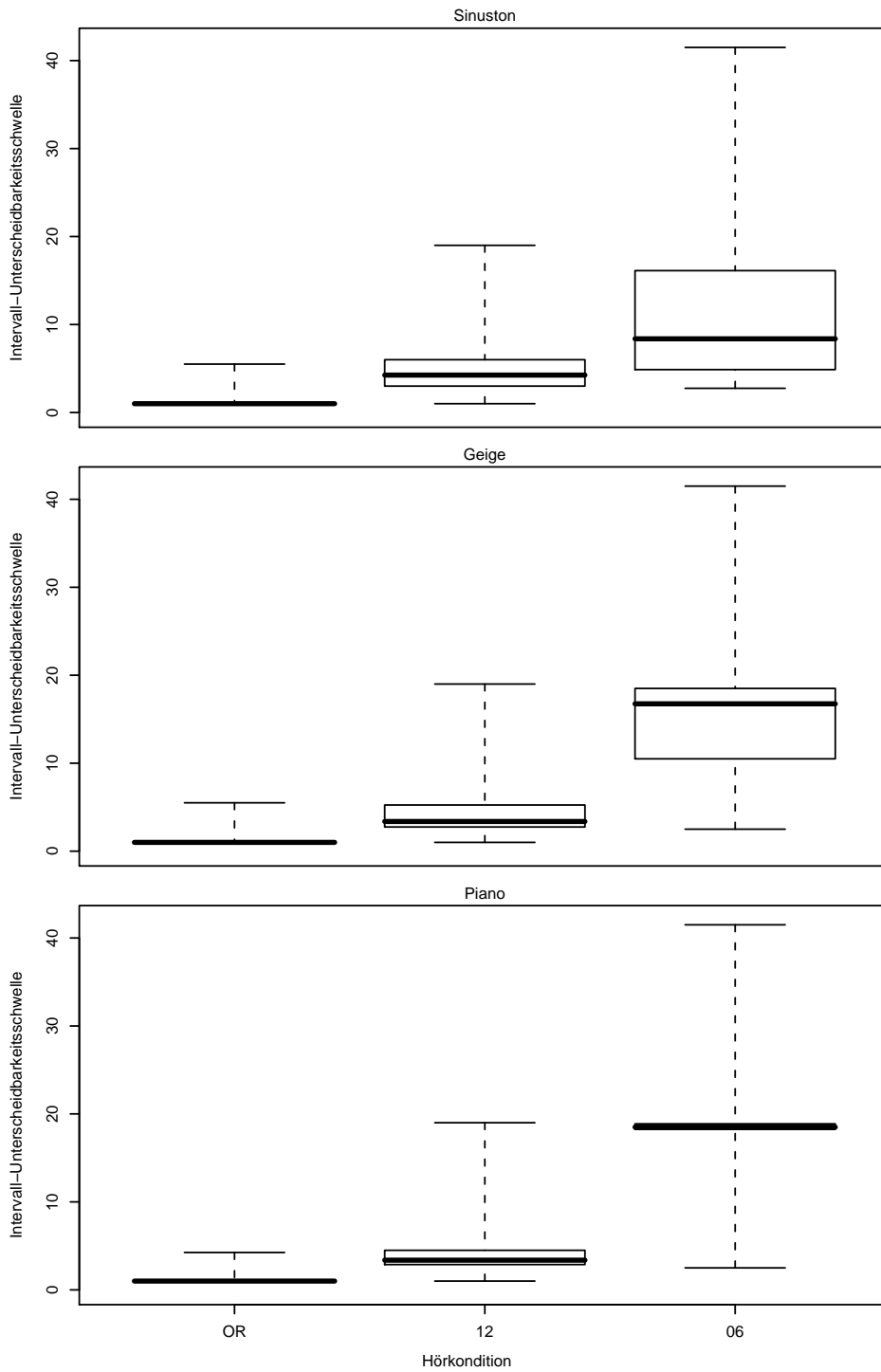


Abbildung 3.2: Tonhöhentest: Urteile (in Vierteltönen) in Abhängigkeit von der Hörkondition, aufgeschlüsselt nach Instrument

### 3 Ergebnisse

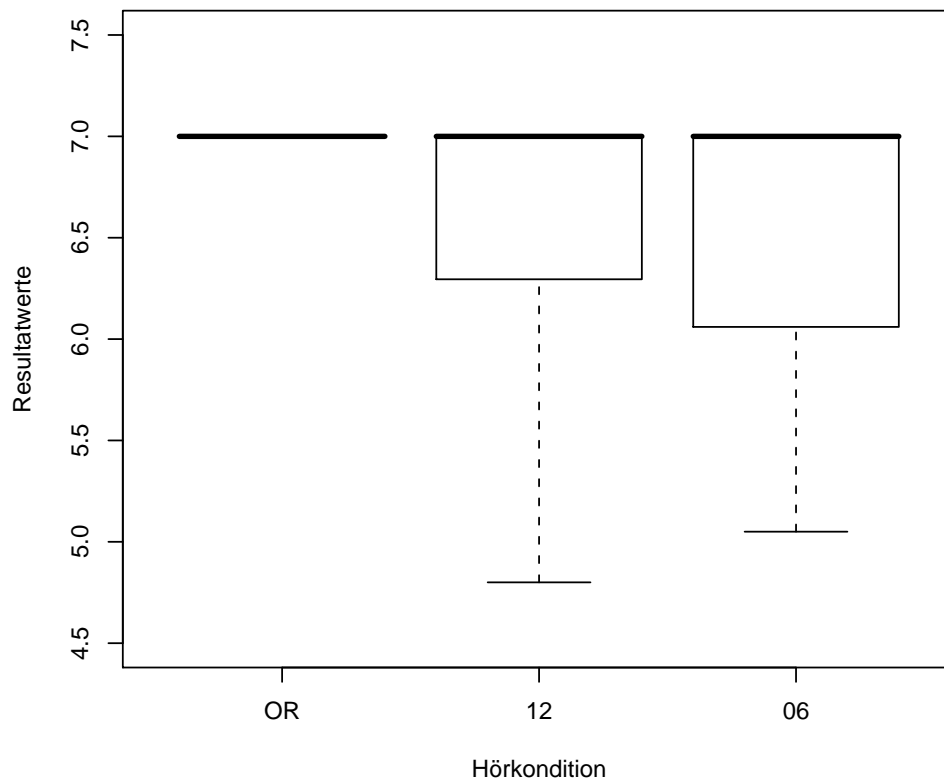


Abbildung 3.3: Melodietest: Urteile in Abhängigkeit von der Hörkondition

Tabelle 3.3: Melodietest: Vergleich der Hörkonditionen mit dem Wilcoxon-Test: Signifikanzniveaus.

Kondition	p-Wert
OR — 12	0,022494271222
OR — 06	0,014266186701
12 — 06	0,724081660915

### 3.5 Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung

Die Beschreibung des Tests zur emotionalen Beurteilung findet sich in Kapitel 2.2.3 ([Der Test zur emotionalen Beurteilung](#), S. 8). Die Boxplotdarstellung 3.4 gibt einen Gesamtüberblick über die abgegebenen Urteile zu den 32 Einzelstücken in den drei Hörkonditionen. Dabei fällt auf, dass die drei Hörkonditionen im Mittel gleich beurteilt werden. Die Medianwerte der Hörkonditionen sind identisch und liegen jeweils bei 5, also in der Mitte der Bewertungsskala. Auch die oberen und unteren Quartilwerte sind in allen drei Hörkonditionen identisch.

### 3.5 Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung

Das Konfidenzintervall überlappt sich in den verschiedenen Hörkonditionen fast vollständig. Die gleiche Mittelwertlage in den drei Hörkonditionen zeigt, dass weder die 12-BAND-Variante noch die 06-BAND-Variante emotional durchschnittlich anders bewertet werden als die ORIGINAL-Variante. Auch die Überprüfung der ermittelten Werte mit dem Wilcoxon-Test in der Tabelle 3.4 zeigt, dass kein signifikanter Unterschied bei der Beurteilung der drei Hörkonditionen besteht. In allen Konditionen wurde die gesamte Breite der Beurteilungsskala genutzt, was für eine Differenzierungsfähigkeit auch nach spektraler Reduktion spricht. Die Beurteilung der Einzelstücke dieses Tests ist in der Abbildung 3.5 dargestellt. Die Musikstücke sind nach dem Medianwert in der ORIGINAL-Variante aufsteigend sortiert. Dabei bleibt die Reihenfolge grob auch in der 12-BAND- und 06-BAND-Variante erhalten, wobei einzelne Musikstücke durchaus unterschiedlich beurteilt werden. So ergeben sich auch entsprechend hohe Korrelationen, die sowohl in der Tabelle 3.5, als auch in der Mehrfeldertafel 3.6 dargestellt sind. Der stärkste Zusammenhang besteht dabei zwischen der Beurteilung der Musikstücke der zwei spektral reduzierten Varianten mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,91. Ähnlich stark korrelieren die ermittelten Werte der ORIGINAL-Variante mit den Werten der 12-BAND-Variante. Der unwesentlich geringere Korrelationskoeffizient von 0,84 beim Vergleich der ORIGINAL-Variante mit der 06-BAND-Variante spricht wiederum dafür, dass die drei Hörkonditionen emotional nicht unterschiedlich bewertet werden. Entsprechend niedrige p-Werte, ebenfalls dargestellt in der Tabelle 3.5, stützen diese Aussage. Zwei Parameter der emotionalen Beurteilung werden im Folgenden untersucht:

1. das Tempo der 32 Musikstücke
2. die An- oder Abwesenheit verschiedener Instrumente.

Dazu wurde in einer von der Hauptgruppe unabhängigen Testgruppe von neun Personen das Tempo der 32 Musikstücke bestimmt. Die Testpersonen dieser Nebengruppe waren Mitarbeiter der HNO-Klinik und Studenten. Dazu wurden die Testpersonen einerseits gebeten, die Musikstücke auf einer Skala von sehr langsam bis sehr schnell mit Zahlenwerten von 1 bis 5 zu bewerten. Andererseits sollten die 32 Musikstücke in aufsteigender Reihenfolge bezüglich ihres Tempos gebracht, also eine Rangbestimmung gemacht werden. Die Skaleneinteilung und die Rangbestimmung durch die unabhängige Nebengruppe sind subjektive Arten der Tempobestimmung. Wie in der Mehrfeldertafel 3.7 dargestellt, ist das Tempo in allen Hörkonditionen ein bestimmender Beurteilungsfaktor. Sowohl die Temposkalierung als auch die Rangbestimmung weisen eine hohe Korrelation zur emotionalen Beurteilung der Musikstücke auf. Diese Korrelation nimmt bei spektraler Reduktion zu, was annehmen lässt, dass die Bedeutung des Tempos als Bewertungsfaktor bei spektraler Reduktion steigt. In der Tabelle 3.6 sind die zugehörigen Signifikanzniveaus dargestellt. Als weiterer einflussnehmender Faktor wird die An- oder Abwesenheit verschiedener Instrumente angenommen.

### 3 Ergebnisse

Tabelle 3.4: Test zur emotionalen Beurteilung: Vergleich der Hörkonditionen (Wilcoxon-Test)

Kondition	p-Wert
OR — 12	0,060506467215
OR — 06	0,688717309889
12 — 06	0,207513789755

Tabelle 3.5: Test zur emotionalen Beurteilung: Korrelationen der Urteilsmediane der Hörkonditionen

Kondition	Korr.-koeff.	p-Wert
OR — 12	0,90	$< 1,0 \times 10^{-6}$
OR — 06	0,84	$< 1,0 \times 10^{-6}$
12 — 06	0,91	$< 1,0 \times 10^{-6}$

In den 32 Musikstücken wirken insgesamt sechs Instrumente mit:

1. Querflöte
2. Piccoloflöte
3. Cello (gestrichen oder gezupft)
4. Klavier
5. Horn
6. Geige

Die Übersicht der Korrelationen aller Instrumente findet sich im Anhang [C.1](#), S. [65](#). Man erkennt, dass die Instrumente bei der emotionalen Beurteilung der Musikstücke nur eine geringe Rolle spielen. Lediglich die Piccoloflöte und die Querflöte weisen höhere Korrelationen zur emotionalen Beurteilung auf, diese sind in der Mehrfeldertafel [3.8](#) dargestellt. So werden die Musikstücke in der ORIGINAL- und der 12-BAND-Variante tendenziell fröhlicher beurteilt, wenn die Piccoloflöte mitwirkt. Die Anwesenheit der Querflöte lässt die Probanden die Musikstücke in diesen Hörkonditionen eher trauriger bewerten. In der 06-BAND-Variante nimmt diese Korrelation weiter ab und ist statistisch nicht signifikant. Erwähnenswert erscheint das gestrichene Cello, das gerade bei den spektral reduzierten Hörkonditionen eine Tendenz hin zum fröhlichen erzeugt, ohne jedoch das geforderte Signifikanzniveau zu erreichen. In der Tabelle [3.6](#) sind die angesprochenen Signifikanzniveaus dargestellt.

### 3.5 Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung

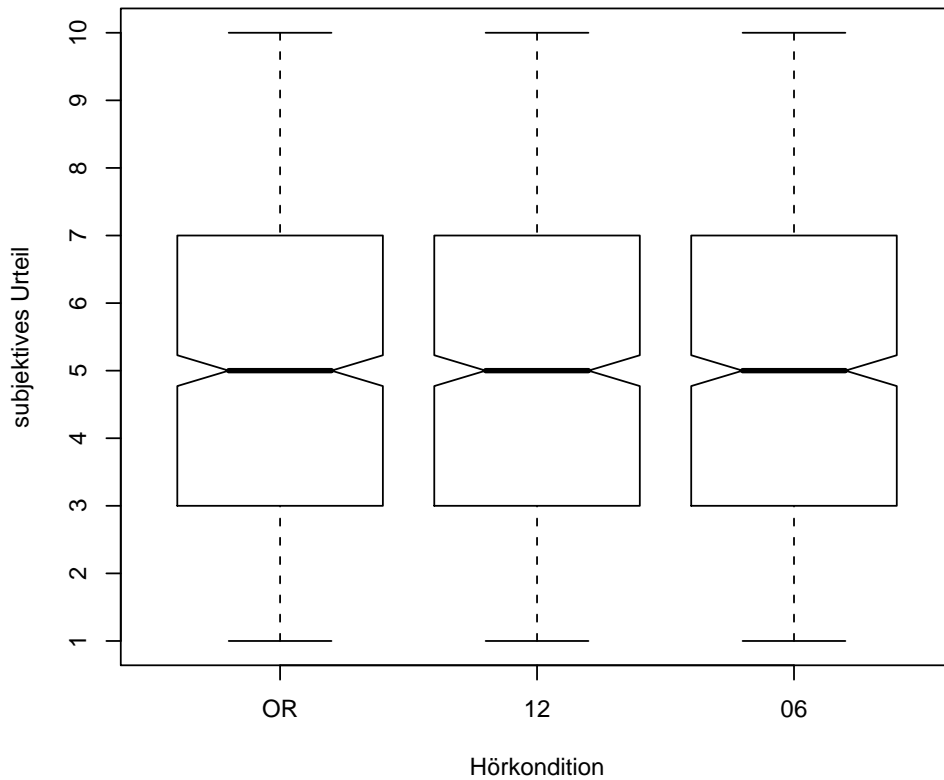


Abbildung 3.4: Test zur emotionalen Beurteilung: Urteile in Abhängigkeit von der Hörkondition

### 3 Ergebnisse

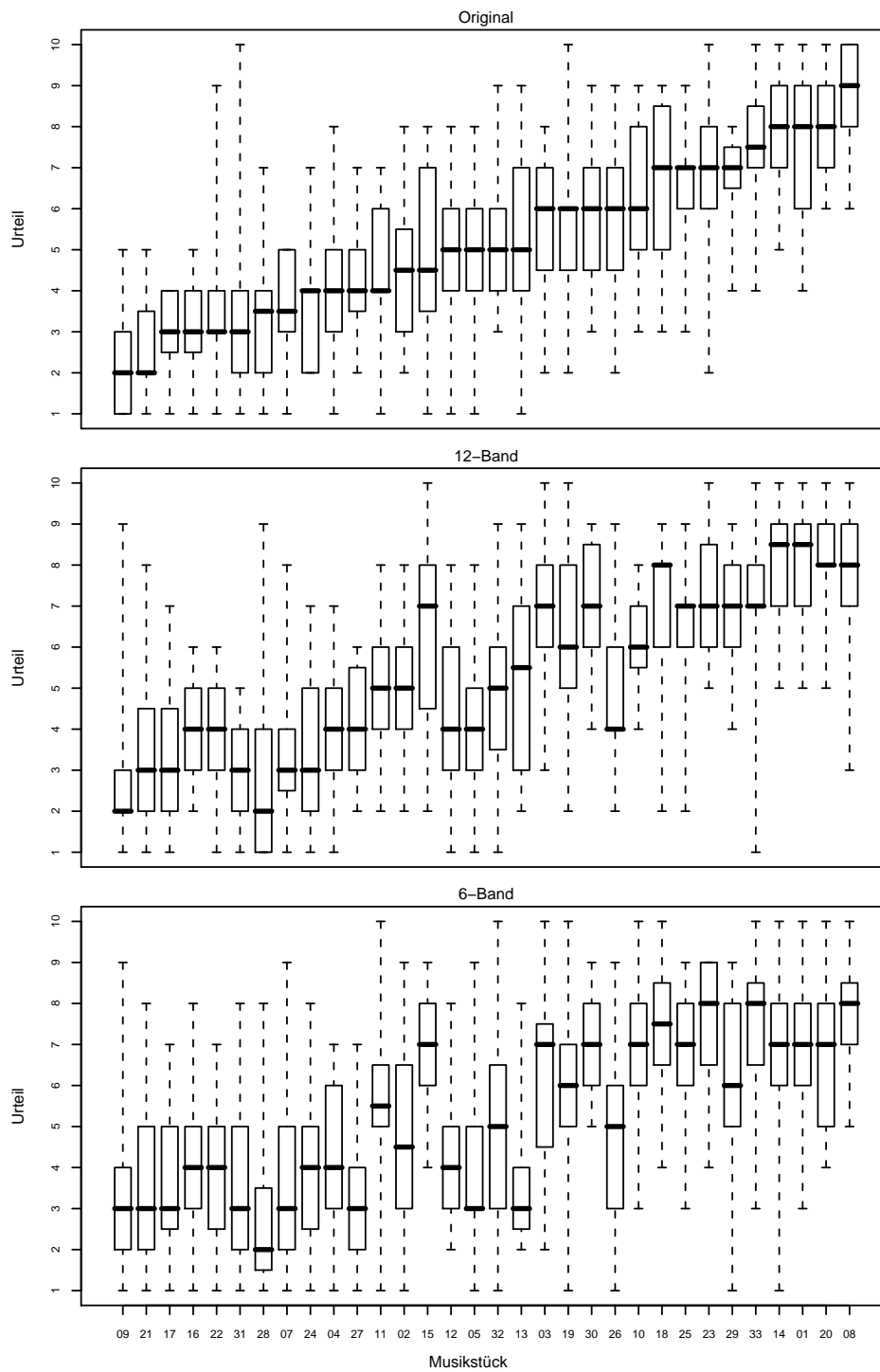


Abbildung 3.5: Test zur emotionalen Beurteilung: Musikstücke aufsteigend sortiert nach dem Medianwert der Urteile in der Hörkondition „Original“

### 3.5 Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung

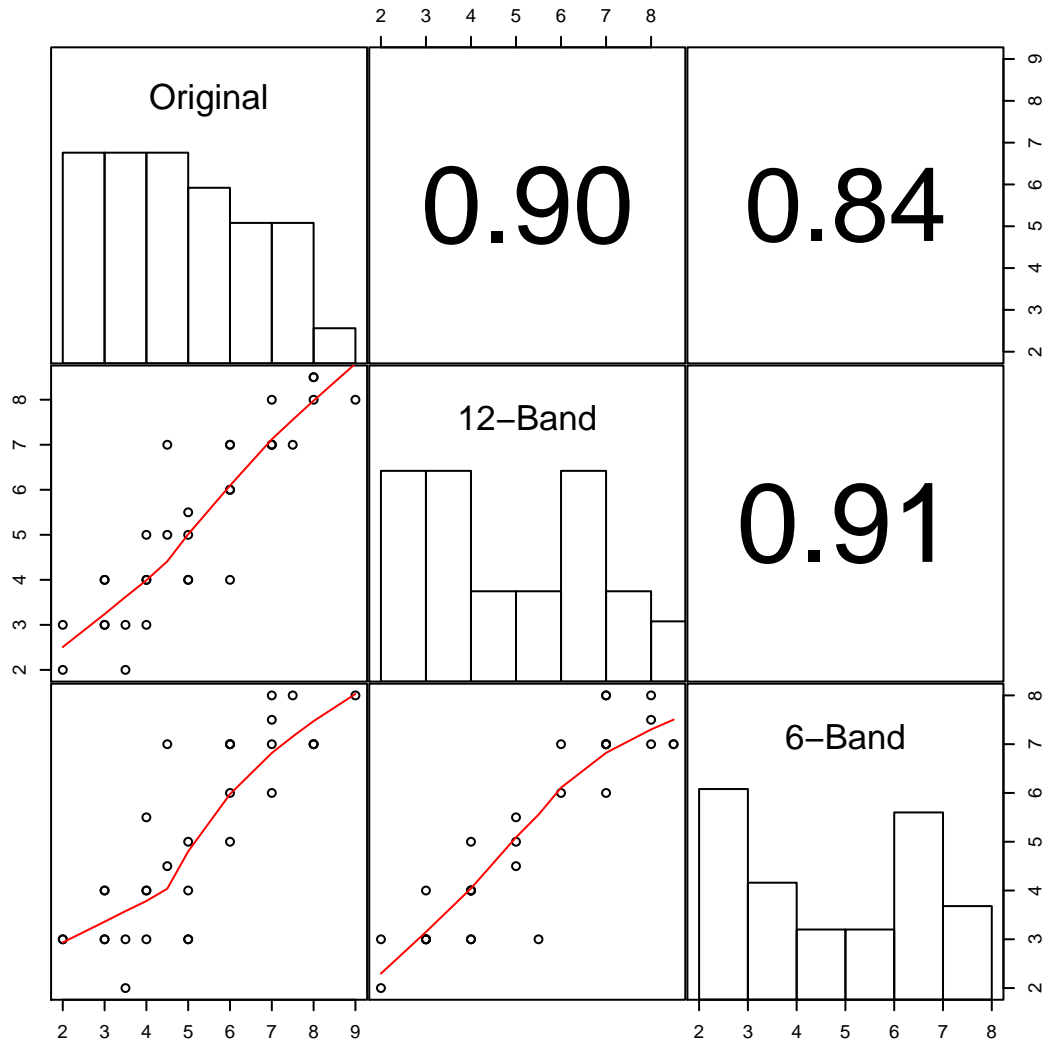


Abbildung 3.6: Test zur emotionalen Beurteilung: Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten der Urteilsmediane der Hörkonditionen zueinander

### 3 Ergebnisse

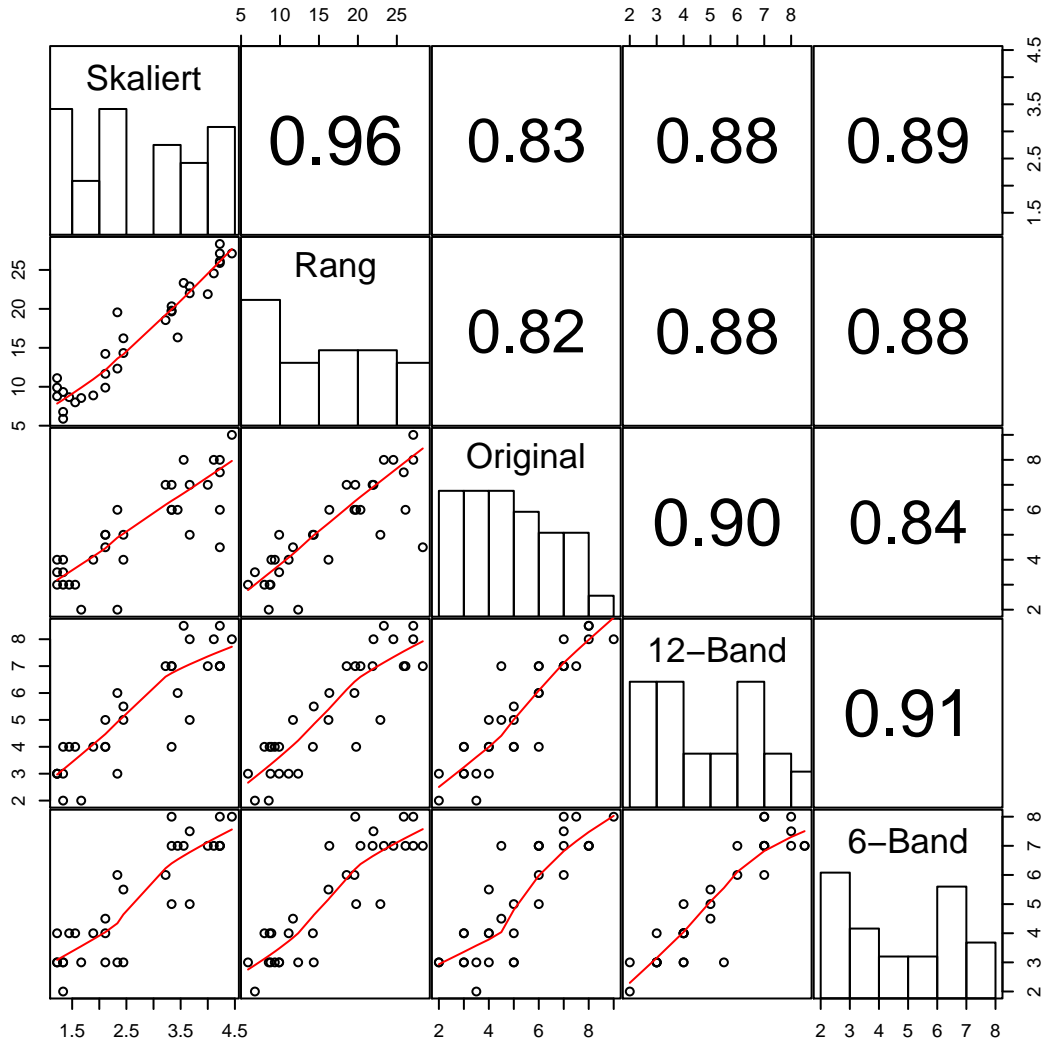


Abbildung 3.7: Test zur emotionalen Beurteilung: Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten der Urteilsmediane zueinander und zu zwei subjektiven Methoden der Tempobestimmung (Direktskalierung auf einer Skala von 1 bis 5 und Rang)



### 3.5 Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung

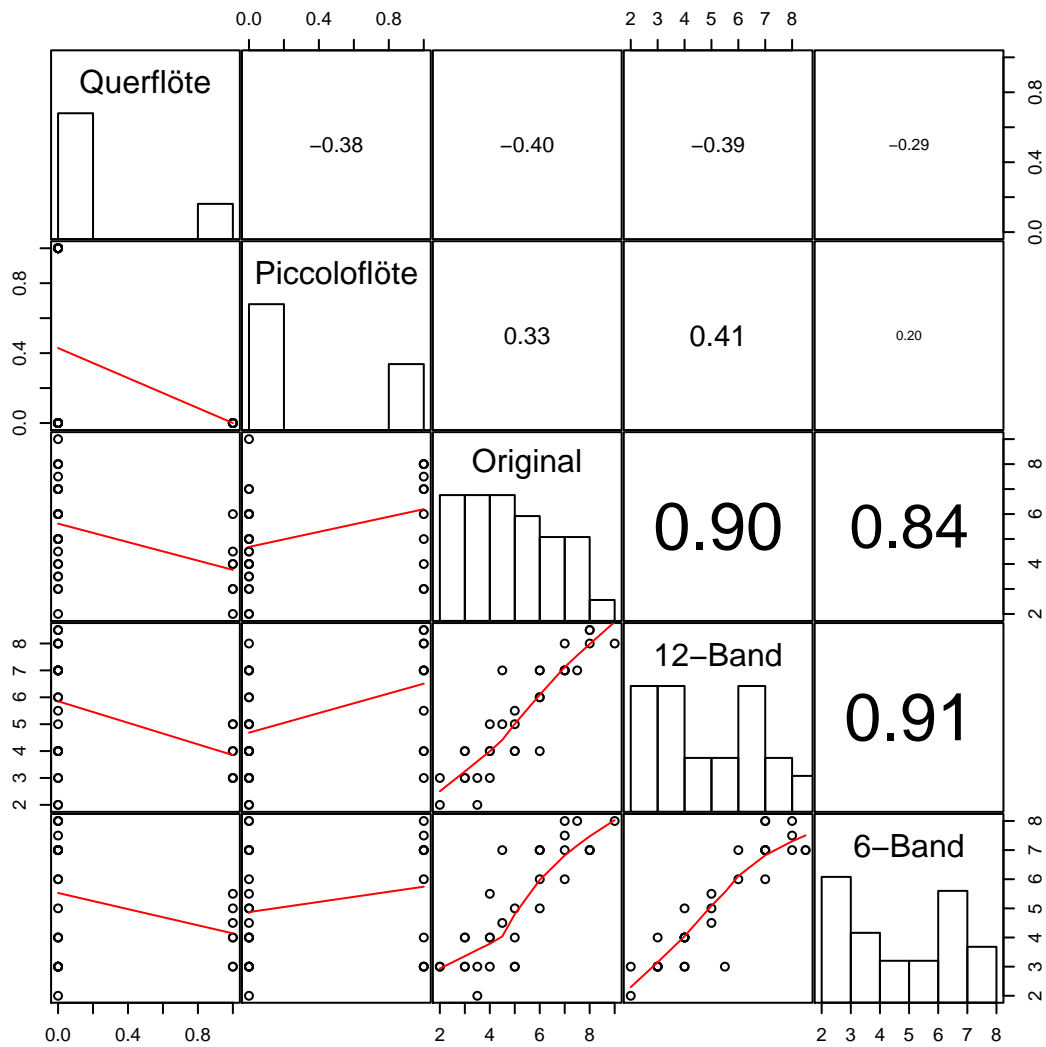


Abbildung 3.8: Test zur emotionalen Beurteilung: Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten der Urteilsmediane der Hörkonditionen zu Instrumenten mit statistisch signifikanter Korrelation

Tabelle 3.6: Test zur emotionalen Beurteilung: Korrelationen der Urteilsmediane der Hörkonditionen: Korrelationskoeffizienten  $\rho$  und Signifikanzniveau  $p$  für Tempo und Instrumente

Kondition		$\rho$	$p$
OR	— Skalierung	0,81	$< 1,0 \times 10^{-6}$
OR	— Rang	0,83	$< 1,0 \times 10^{-6}$
12	— Skalierung	0,87	$< 1,0 \times 10^{-6}$
12	— Rang	0,87	$< 1,0 \times 10^{-6}$
06	— Skalierung	0,85	$< 1,0 \times 10^{-6}$
06	— Rang	0,85	$< 1,0 \times 10^{-6}$
OR	— Querflöte	-0,41	0,022921533055
OR	— Piccoloflöte	0,32	0,068657896336
OR	— Cello gestrichen	0,16	0,443194469853
12	— Querflöte	-0,39	0,028602860778
12	— Piccoloflöte	0,41	0,020096431521
12	— Cello gestrichen	0,28	0,130087262968
06	— Querflöte	-0,26	0,107377282767
06	— Piccoloflöte	0,18	0,280900990175
06	— Cello gestrichen	0,19	0,244350586584

### 3.6 Auswertung Dissonanztest

Die Beschreibung des Dissonanztests findet sich in Abschnitt 2.2.3 (Der Dissonanztest, S. 8). Die Abbildung 3.9 gibt einen Gesamtüberblick über die Urteile aller Probanden in den drei Hörkonditionen. Diese Darstellung unterscheidet noch nicht zwischen den 15 verschiedenen angebotenen Klängen. Dabei fällt auf, dass die Gesamtlage der Urteile in der ORIGINAL-Variante höher ist als bei den spektral reduzierten Varianten. So ist die Lage des Medianwertes in der ORIGINAL-Variante ca. bei 6, bei den 12-BAND- und 06-BAND-Varianten bei ca. 5,5. Der Wilcoxon-Test bestätigt in Tabelle 3.7 zudem mit einem p-Wert von 0,51 die Ähnlichkeit der Beurteilung der reduzierten Hörkonditionen. Die ORIGINAL-Variante wird statistisch signifikant höher, d. h. konsonanter beurteilt als die beiden spektral reduzierten Varianten. Zur genaueren Betrachtung sind in Abbildung 3.10 die Beurteilungen der 15 verschiedenen Klänge in der jeweiligen Hörkondition sortiert nach aufsteigenden Medianwert in der ORIGINAL-Variante dargestellt. Man kann erkennen, dass gleiche Klänge in den spektral reduzierten Hörkonditionen ähnlich bezüglich Konsonanz und Dissonanz beurteilt werden. Dies wird in der Mehrfeldertafel 3.11 mit dem hohen Korrelationskoeffizienten von 0,91 bestätigt. Der in Tabelle 3.8 aufgeführte entsprechend niedrige p-Wert sichert zudem diese Aussage. In den spektral reduzierten Hörkonditionen sind ausgeprägte Meinungen über Konsonanz bzw. Dissonanz der angebotenen Klänge definitiv vorhanden. In den gegebenen Antworten spiegelt sich auch eine gewisse Gleichmäßigkeit wieder. Entkoppelt davon ist die Beurteilung der Klänge in der ORIGINAL-Variante. Größtenteils ergeben sich erhebliche Unterschiede in der Beurteilung zu den spektral reduzierten 12-BAND- und 06-BAND-Varianten. Entsprechend niedrig ist der Korrelationskoeffizient beim Vergleich mit den spektral reduzierten Hörkonditionen. Die unterschiedliche Beurteilung der ORIGINAL-Variante und der spektral reduzierten Varianten lässt die Frage aufkommen, nach welchen Kriterien die Probanden den Konsonanz- bzw. Dissonanzgrad der Klänge in der jeweiligen Hörkondition beurteilt haben. Im Wesentlichen lassen sich zwei Merkmale ausmachen, nach denen die Urteile bezüglich Konsonanz und Dissonanz gefällt wurden. Die Klänge werden in der ORIGINAL-Variante so beurteilt, wie es der pythagoräischen Konsonanztheorie entspricht. Dazu wurde wie folgt der Wert  $K$ -Mittel ermittelt: Wie beispielhaft an dem Klavierakkord L2 5 in Anhang D.1 (Spektrum des Klavierakkords „L2 5“: Feststellung der Grundfrequenzen der Einzeltöne des Akkords, S. 67) gezeigt wird, wurden die Grundfrequenzen der Einzeltöne aller Akkorde mit AUDACITY (Version 1.3.6) als computergeneriertes Spektrogramm dargestellt. Für die Darstellung wurde das Hanning-Fenster mit einer Fenstergröße von 4096 gewählt. Die Maxima im Spektrum definieren die Frequenzen bzw. Oberwellen der beteiligten Töne. So werden beispielsweise für den Klavierakkord L2 5 die drei Töne  $f_4$  ( $f$ : 349Hz),  $g_{is4}$  ( $f$ : 415Hz) und  $c_5$  ( $f$ : 522Hz) ermittelt. Die vorderen Bereiche des Spektrum des Klavierakkords sind tieffrequente Zusatzgeräusche, die hinteren Bereiche sind die instrumentenspezifischen Obertöne. Daraufhin wurde der

### 3 Ergebnisse

Konsonanzgrad, entsprechend der pythagoräischen Konsonanztheorie, der drei Hauptfrequenzen zueinander festgestellt:

1. Ton f4 zu Ton gis4, Konsonanzgrad 5,48)
2. Ton f4 zu Ton c5, Konsonanzgrad 2,45)
3. Ton gis4 zu Ton c5, Konsonanzgrad 4,49)

Die Berechnung des Konsonanzgrades nach Pythagoras ist in Michels (2005) beschrieben. K-Mittel (4,14 für den Akkord L25) ist der errechnete Mittelwert der jeweiligen Konsonanzgrade. Je kleiner der Zahlwert ist, desto harmonischer wird der Akkord empfunden. Die ORIGINAL-Variante weist einen hohen negativen Korrelationskoeffizienten von  $-0,77$ , wie in der Mehrfeldertafel 3.11 ersichtlich, zu dem Wert K-Mittel auf. Der Korrelationskoeffizient ist negativ, weil nach der Konsonanztheorie Harmonie niedrige Zahlenwerte, im Mu.S.I.C. - Test Harmonie hingegen hohe Zahlenwerte zugeordnet werden. Der zugehörige p-Wert, dargestellt in Tabelle 3.8, ist sehr niedrig, d. h. die Korrelation ist statistisch signifikant. Weiterhin lässt sich feststellen, dass bei der Beurteilung der spektral reduzierten Hörkonditionen die Konsonanztheorie keine hinreichende Erklärung bietet. Entsprechend niedrige Korrelationskoeffizienten weisen die 12-BAND- und die 06-BAND-Variante zu dem Wert K-Mittel auf. Während der experimentellen Durchführung mit den Probanden fiel dem Versuchsleiter auf, dass besonders tiefe spektral reduzierte Klänge immer als sehr dissonant empfunden wurden. Diese Beobachtung ließ die Vermutung entstehen, dass in den spektral reduzierten Varianten die Tonlage der Klänge massgeblichen Einfluss auf das Harmonieempfinden der Probanden haben könnte. Demnach würden die Probanden nach spektraler Reduktion der Klänge unter starker Zuhilfenahme der Tonhöhe urteilen; d. h. hohe Tonlagen würden eher harmonisch, tiefe Tonlagen eher dissonant empfunden. Nach vorläufiger Unterteilung der Klänge in sieben Kategorien (sehr hoch, hoch, mäßig hoch, mittig, mäßig tief, tief, sehr tief) wurden die Klänge vom Versuchsleiter subjektiv diesen Kategorien zugeordnet, um den während der Durchführung entstandenen Eindruck zu überprüfen. In der Mehrfeldertafel 3.11 ist dieser Wert als „subj. Tonlage JP“ dargestellt und weist hohe, statistisch signifikante Korrelationen zu den spektral reduzierten Varianten auf. Korrelationskoeffizienten und Signifikanzniveaus sind in Tabelle 3.8 aufgeführt. Bei der Beurteilung der ORIGINAL-Variante spielt die Tonlage der Klänge offenbar keine Rolle. Um diese erste vorläufige Vermutung zu bestätigen, wurden nun die drei dominanten Grundfrequenzen jedes Klanges herausgefiltert. Anhand dieser Grundfrequenzen wurde der Mittelwert unter Berücksichtigung der logarithmischen Skala berechnet. Der so erstellte Wert wurde  $\log_2\text{-MITTEL}(f_1, f_2, f_3)$  genannt. Der vermutete Zusammenhang der Tonhöhe mit dem Dissonanzempfinden bei spektraler Reduktion wird durch die hohe Korrelation der errechneten  $\log_2\text{-Mittel}(f_1, f_2, f_3)$ -Werte bestätigt. So ergibt sich, wie in der Mehrfeldertafel 3.11 ersichtlich, für die 12-BAND-Variante ein Korrelationskoeffizient von 0,84, für die 06-BAND-Variante ein Korrelationskoeffizient von 0,89 bei jeweils sehr

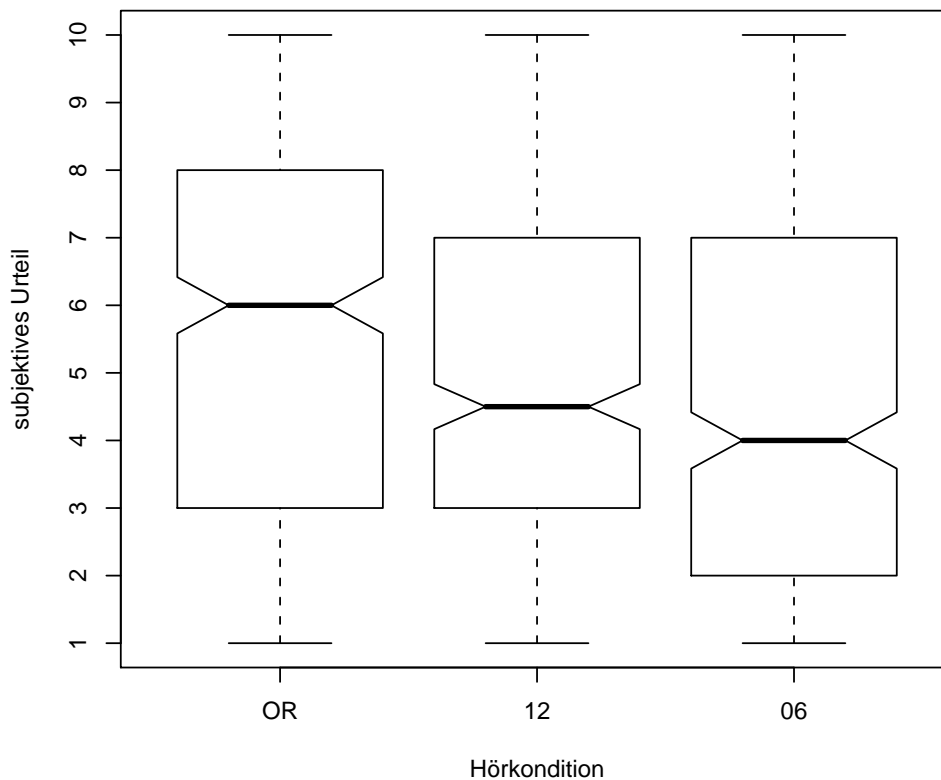


Abbildung 3.9: Dissonanztest: subjektive Beurteilung in Abhängigkeit von der Hörkondition

Tabelle 3.7: Dissonanztest: Vergleich der Hörkonditionen (Wilcoxon-Test)

Kondition	p-Wert
OR — 12	0,000071665029
OR — 06	0,000028204837
12 — 06	0,513858429065

niedrigem p-Wert. Bei der Beurteilung der ORIGINAL-Variante spielt die Tonlage der Klänge auch bei dieser Berechnungsweise keine Rolle. Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass die ORIGINAL-Variante nach dem gängigen Modell der Konsonanztheorie beurteilt wird. Bei der Beurteilung der spektral reduzierten Varianten tritt an die Stelle der Konsonanztheorie ein tonhöhenbezogenes Harmonieempfinden.

### 3 Ergebnisse

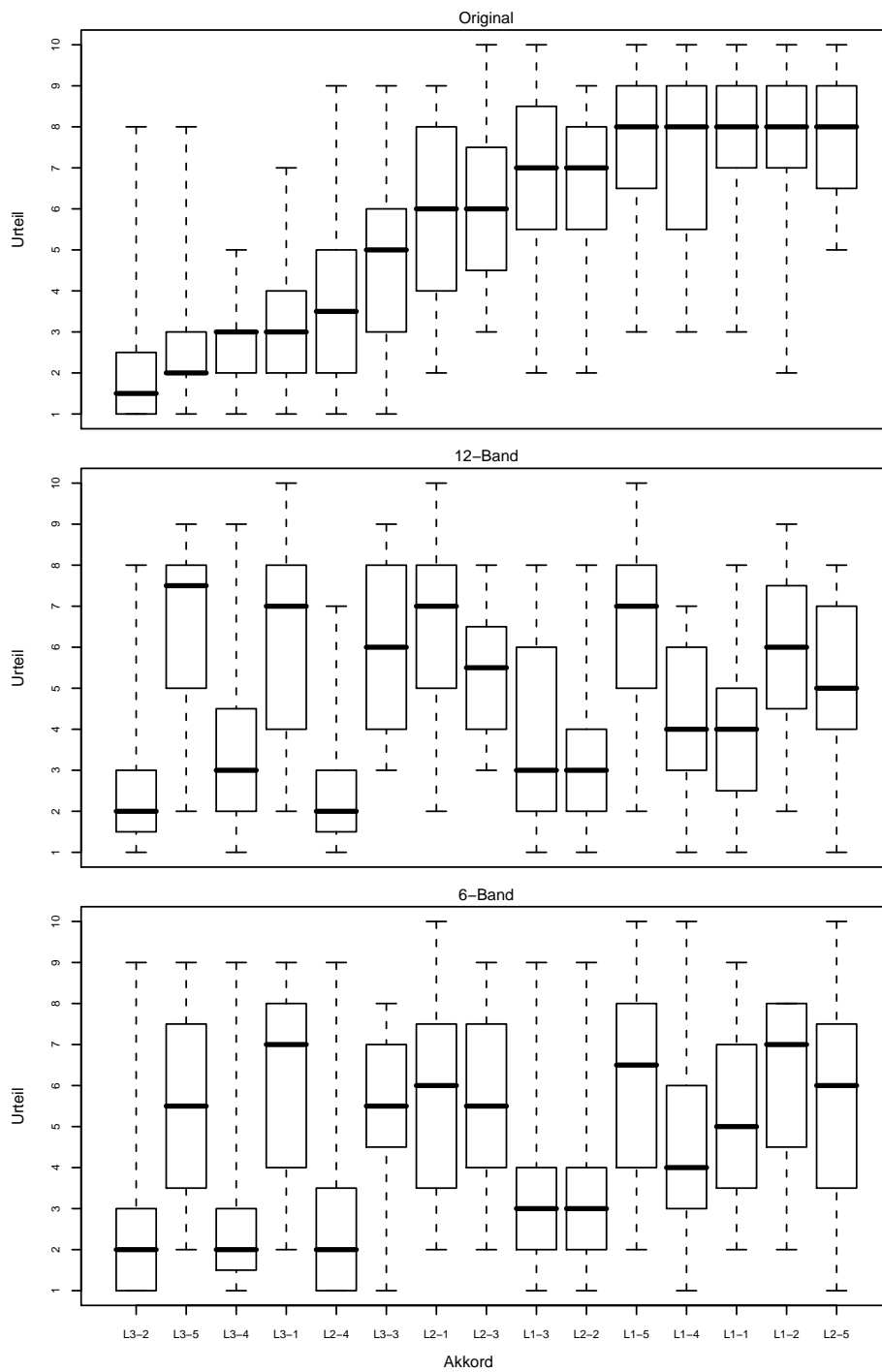


Abbildung 3.10: Dissonanztest: Urteile über die subjektive Empfindung der Harmonie/Dissonanz, Akkorde (Stimuli) aufsteigend sortiert nach dem Medianwert der abgegebenen Urteile in der ORIGINAL-Variante

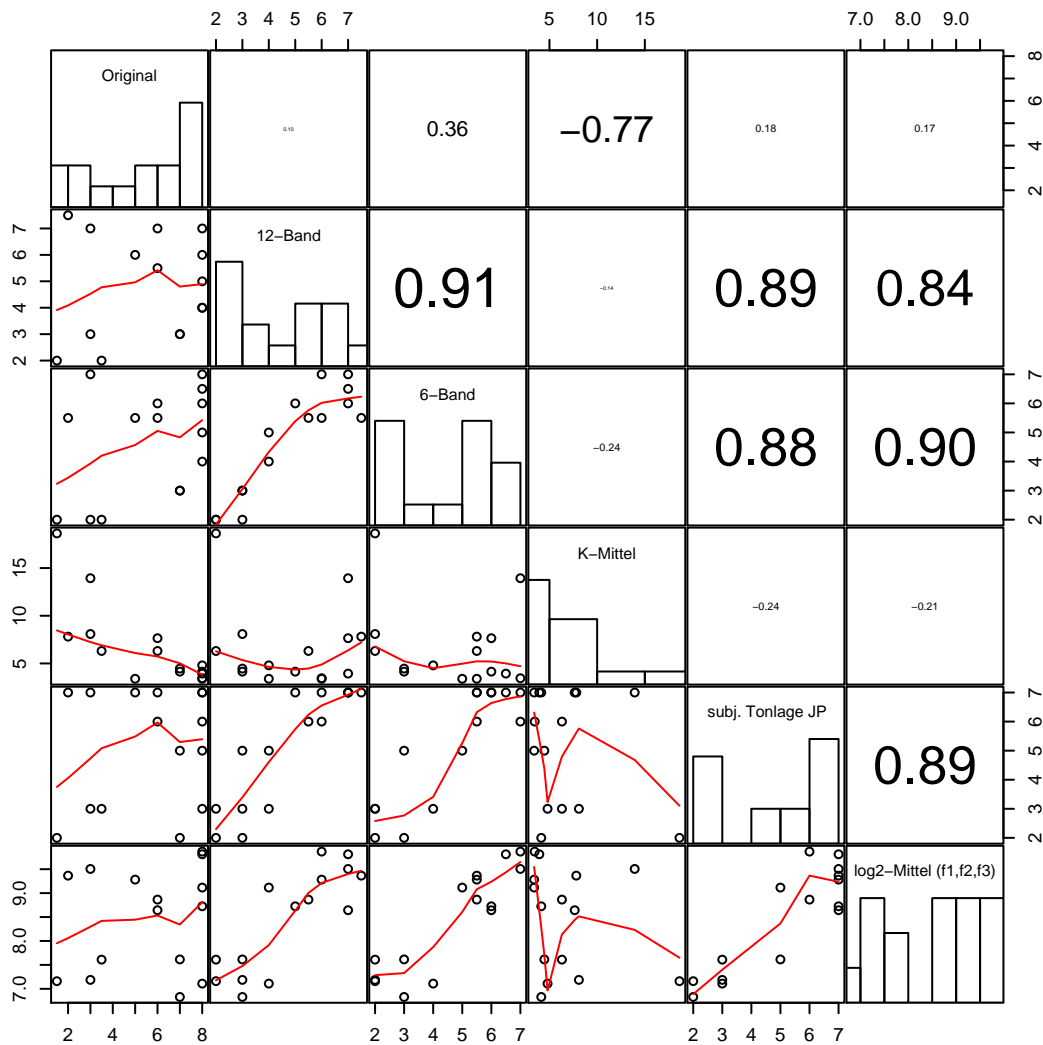


Abbildung 3.11: Dissonanztest: Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten der Urteilsmediane der Hörkonditionen zueinander und zu den untersuchten Parametern Konsonanzgrad und Tonlage

### 3 Ergebnisse

Tabelle 3.8: Dissonanztest: Korrelationen der Urteilsmediane im Vergleich der Hörkonditionen und Zusammenhang mit Konsonanzgrad und Tonlage

Kondition / Konsonanzgrad / Tonlage	Korr.-koeff.	p-Wert
OR — 12	0,105	0,710080209545
OR — 06	0,363	0,183376125036
12 — 06	0,908	0,000002906985
OR — K-Mittel	-0,771	0,000770988005
12 — subj. Tonlage	0,891	0,000008522701
06 — subj. Tonlage	0,879	0,000015652913
12 — Mittel log. f1, f2, f3	0,840	0,000087893225
06 — Mittel log. f1, f2, f3	0,898	0,000005639148



### 3.7 Auswertung des Tests zur Bestimmung der Instrumentenanzahl

Die Beschreibung des Tests zur Bestimmung der Instrumentenanzahl findet sich in Abschnitt 2.2.4 ([Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl](#), S. 8). Die Abbildung 3.12 gibt einen ersten Überblick über die abgegebenen Urteile. Durch spektrale Reduktion nimmt demnach die Fähigkeit zur korrekten Bestimmung der Instrumentenanzahl ab. Dies verdeutlichen die abnehmenden Median- und Quartilwerte in der 12-BAND- und der 06-BAND-Variante. So erkennt man, dass in der ORIGINAL-Variante der Medianwert und das obere Quartil jeweils beim Maximalwert 5 liegen. In der 12-BAND-Variante sinkt der Medianwert auf 4, in der 06-BAND-Variante verringert sich der Median gar auf 3 von möglichen 5 korrekten Antworten. Eine detailliertere Darstellung der Ergebnisse bietet das Blasendiagramm 3.13. Die Antworthäufigkeiten sind in Anhang F, S. 73 tabellarisch aufgeführt. In der unveränderten ORIGINAL-Variante fällt das korrekte Erkennen der Instrumentenanzahl offenbar leicht. Lediglich das Quintett, obwohl überwiegend als solches erkannt, wird häufig auch als Quartett wahrgenommen. Die korrekte Beurteilung der 12-BAND-Variante ist hingegen schwieriger. So erkennen die Probanden größtenteils das Solo, Duo, Trio und das Quartett. Das Quintett wird allerdings überwiegend nicht erkannt und als Quartett, manchmal gar als Trio wahrgenommen. Noch schwieriger erscheint die korrekte Bestimmung der Instrumentenanzahl in der 06-BAND-Variante. Besonders schwer fällt den Probanden dabei die Unterscheidung von Quartett und Quintett. Das Quintett wird noch weniger als in der 12-BAND-Variante als solches erkannt und meist als Quartett oder auch als Trio wahrgenommen. Das Quartett wird zwar überwiegend als solches erkannt, oft aber auch als Trio oder als Quintett eingeschätzt. Die Probanden erkennen das Trio in dieser Hörkondition am besten. Es ist allerdings ebenso bemerkenswert, dass das Trio auch als häufigste Falschantwort gegeben wird. Das Solo und das Duo werden größtenteils korrekt erkannt, wobei auch hier die Schwierigkeit des korrekten Erkennens zunimmt und vermehrt Fehler gemacht werden. Eine Überprüfung der Ergebnisse mit dem  $\chi^2$ -Test, wie in Tabelle 3.9 dargestellt, ergibt, dass beim Vergleich der spektral reduzierten Hörkonditionen ein Signifikanzniveau von 5% erreicht wird. Die ORIGINAL-Variante wird signifikant häufiger richtig beurteilt als die spektral reduzierten Hörkonditionen.

### 3 Ergebnisse

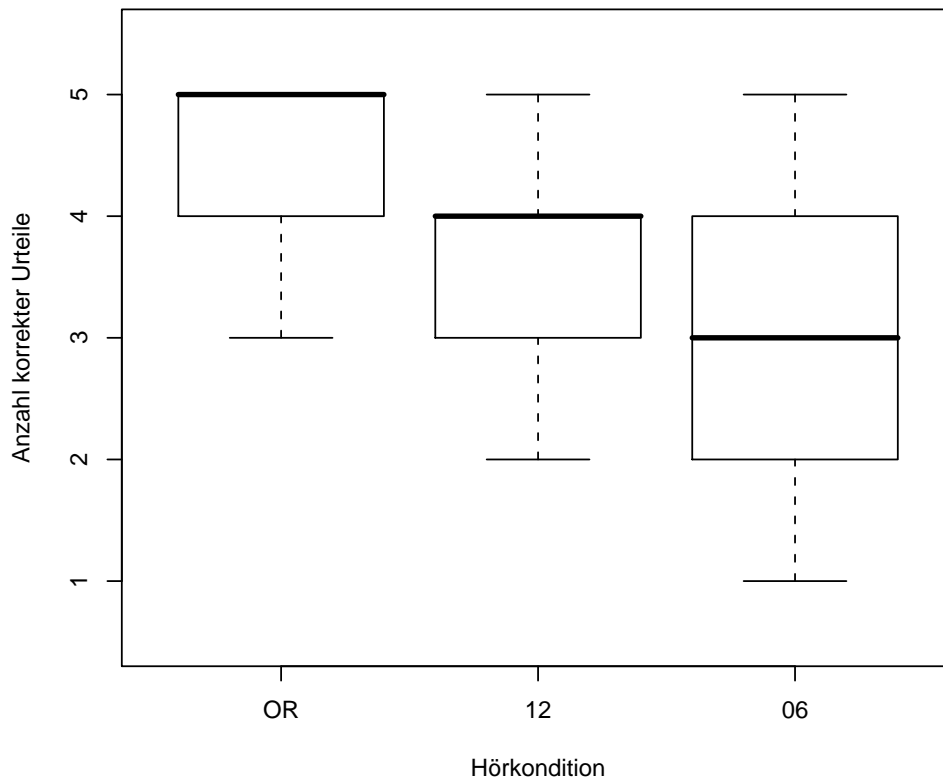


Abbildung 3.12: Instrumentenanzahl: Häufigkeit korrekt abgegebener Urteile in Abhängigkeit von der Hörkondition

Tabelle 3.9: Instrumentenanzahl: Vergleich der Hörkonditionen mit dem Chi<sup>2</sup>-Test: Signifikanzniveaus.

Kondition	p-Wert
OR — 12	0,000466141658
OR — 06	0,000000062924
12 — 06	0,051215494416

### 3.7 Auswertung des Tests zur Bestimmung der Instrumentenanzahl

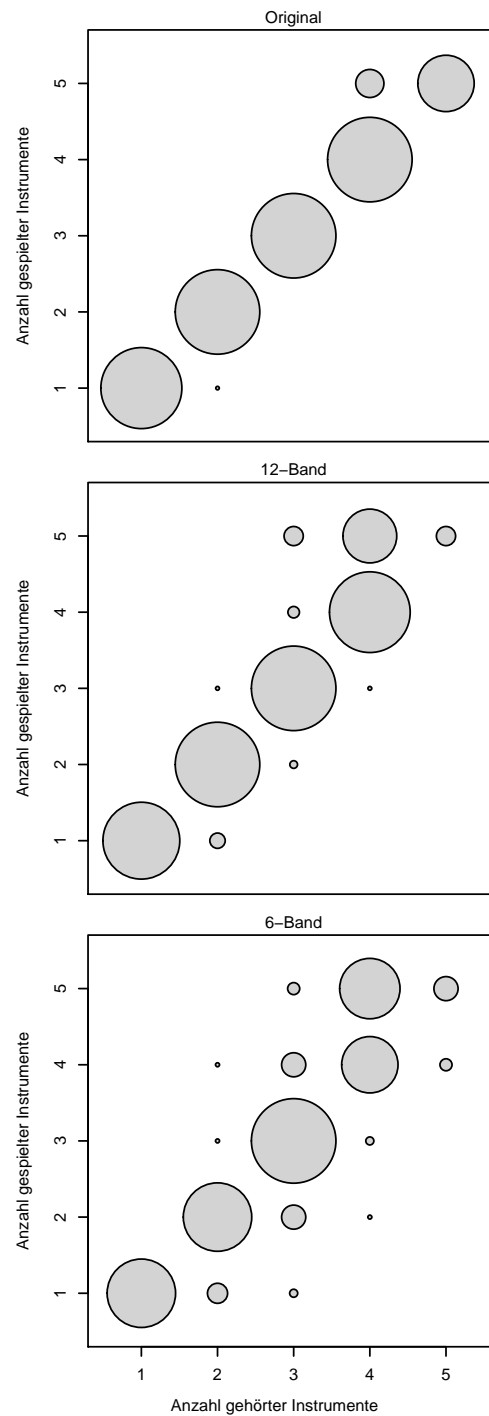


Abbildung 3.13: Instrumentenanzahl: Anzahl gespielter Instrumente zu richtig erkannter Anzahl, der Kreisdurchmesser gibt die Häufigkeit der Antworten an

Tabelle 3.10: Akkordvergleich: Mehrfeldertafel

Antwort	Hörkondition			$\Sigma$
	OR	12	06	
richtig	263	246	242	751
falsch	25	42	46	113
$\Sigma$	288	288	288	864

Tabelle 3.11: Akkordvergleich: Vergleich der Hörkonditionen mit dem Chi<sup>2</sup>-Test: Signifikanzniveaus.

Kondition	p-Wert
OR — 12	0,037581967066
OR — 06	0,011246904310
12 — 06	0,728259925961

### 3.8 Auswertung Akkordvergleich

Die Beschreibung des Akkordvergleichs findet sich in Abschnitt [2.2.4 \(Akkordvergleich, S. 9\)](#). Bei diesem Test wurden insgesamt 864 Urteile abgegeben, 288 Urteile für jede Hörkondition. Eine Gesamtübersicht über die korrekt abgegebenen Urteile bietet die Abbildung [3.14](#). Bemerkenswerterweise ist die Streuung der Urteile in allen drei dargebotenen Hörkonditionen gleich. Sie reicht von „alles korrekt“ beurteilt bis 9 von 12 korrekten Urteilen. In der ORIGINAL-Variante liegt der Medianwert bei 11 von 12 korrekten Urteilen, in den spektral reduzierten Varianten verringert sich der Medianwert auf 10 korrekte Urteile. Das untere Quartil in der 06-BAND-Variante erreicht den Wert 9 und zeigt so die meisten inkorrekten Urteile. Eine genaue Darstellung der Ergebnisse findet sich in der Tabelle [3.10](#). Aus dieser Tabelle wird zudem ersichtlich, dass mit zunehmender spektraler Reduktion die Fehlerhäufigkeit bei der Akkordbeurteilung steigt. Bemerkenswert ist zudem, dass der ORIGINAL-Variante mit 25 inkorrekten Urteilen die zwei spektral reduzierten Varianten mit annähernd gleich vielen inkorrekten Urteilen, 42 in der 12-BAND-Variante und 46 in der 06-BAND-Variante, gegenüberstehen. Dies zeigt auch der Chi<sup>2</sup>-Test in der Abbildung [3.11](#). Der statistische Vergleich der ORIGINAL-Variante mit der 12-BAND-Variante und der 06-BAND-Variante zeigen signifikante Unterschiede. Der Vergleich der 12-BAND-Variante mit der 06-BAND-Variante ergibt mit einem p-Wert von knapp 0,73 keinen signifikanten Unterschied.

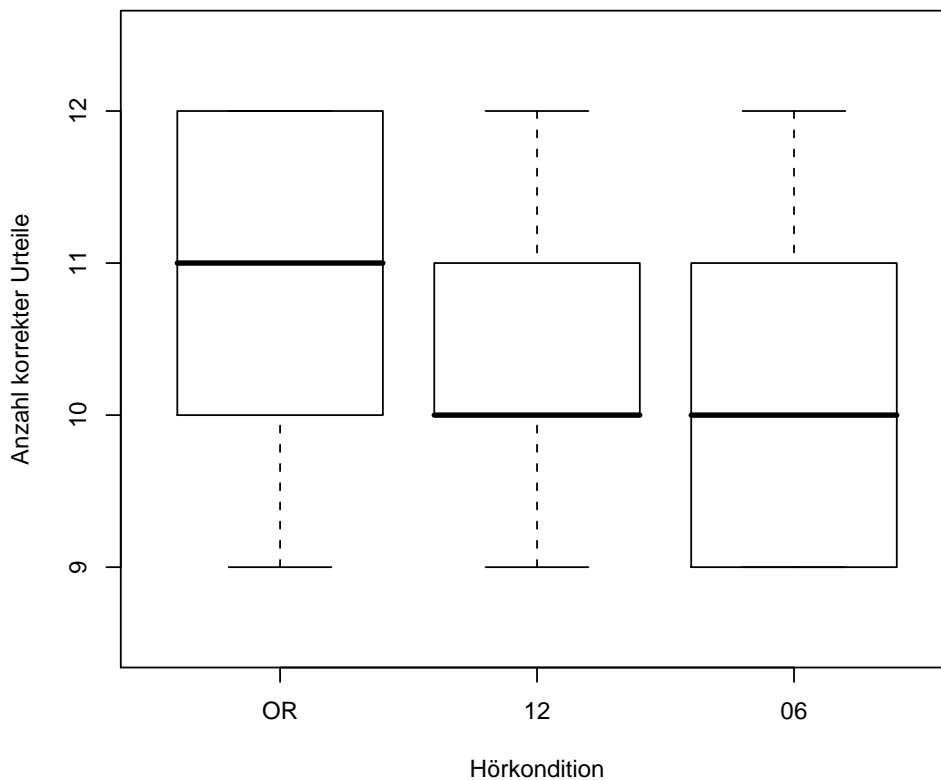


Abbildung 3.14: Akkordvergleich: korrekt abgegebene Urteile in Abhängigkeit von der Hörkondition

### 3.9 Auswertung Instrumentenerkennungstest

Die Beschreibung des Instrumentenerkennungstests findet sich in Abschnitt 2.2.5 S. 9. Bei diesem Test wurden 2160 Urteile abgegeben, 720 Urteile in jeder Hörkondition. Die Mehrfeldertafel 3.12 gibt einen Überblick über die abgegebenen Urteile und zeigt, dass zunehmende spektrale Reduktion das korrekte Erkennen und Unterscheiden von Instrumenten erschwert. So nimmt die Anzahl inkorrekt abgegebener Urteile mit zunehmender spektraler Reduktion kontinuierlich zu. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse und deren Verteilung gibt das Blasendiagramm 3.15. Die Antworthäufigkeiten sind in Anhang G, S. 75 tabellarisch aufgeführt. Hierbei sind die verschiedenen Instrumente so gruppiert, dass häufige Verwechslungspaare nahe zusammenstehen. In der spektral nicht reduzierten Variante wurde der größte Teil der 59 Fehlerurteile bei den im Diagramm oben gruppierten Blasinstrumenten Fagott, Horn und Trompete gegeben. In der 12-BAND-Variante nimmt die Fehlerhäufigkeit mit 230 Fehlerurteilen stark zu, wobei Instrumente verschiedener Art noch gut unterschieden werden können. Im Blasendiagramm 3.15 verstärkt sich der schon beschriebene Effekt bei den Blas-

### 3 Ergebnisse

Tabelle 3.12: Instrumentenerkennungstest: Mehrfeldertafel

Antwort	Hörkondition			$\Sigma$
	OR	12	06	
richtig	661	490	433	1584
falsch	59	230	287	576
$\Sigma$	720	720	720	2160

Tabelle 3.13: Instrumentenerkennungstest: Vergleich der Hörkonditionen mit dem Chi<sup>2</sup>-Test: Signifikanzniveaus.

Kondition	p-Wert
OR — 12	$< 1,0 \times 10^{-9}$
OR — 06	$< 1,0 \times 10^{-9}$
12 — 06	0,002096144153

instrumenten, wobei die Tuba als weiteres Blasinstrument nun auch vermehrt mit Fagott, Horn und Trompete verwechselt wird. Bemerkenswerterweise werden nun auch Instrumente verschiedener Art verwechselt. So wird das Streichinstrument Geige für das Blasinstrument Flöte gehalten und umgekehrt. Auch die Unterscheidungsfähigkeit von Klavier und Xylophon, im Blasendiagramm unten gruppiert, nimmt ab. In der 06-BAND-Variante verstärken sich diese Effekte weiterhin deutlich. Die Unterscheidung der Blasinstrumente fällt noch schwerer, hinzu kommt eine auffällig häufige Verwechslung der Trompete mit der Flöte. Die Unterscheidungsfähigkeit von Kontrabass und Tuba, aber auch von Klavier und Xylophon nimmt weiter ab. Eine Überprüfung der Ergebnisse mit dem Chi<sup>2</sup>-Test, dargestellt in Abbildung 3.13 ergibt, dass alle drei Hörkonditionen signifikant unterschiedliche Instrumentenerkennung haben.

### 3.9 Auswertung Instrumentenerkennungstest

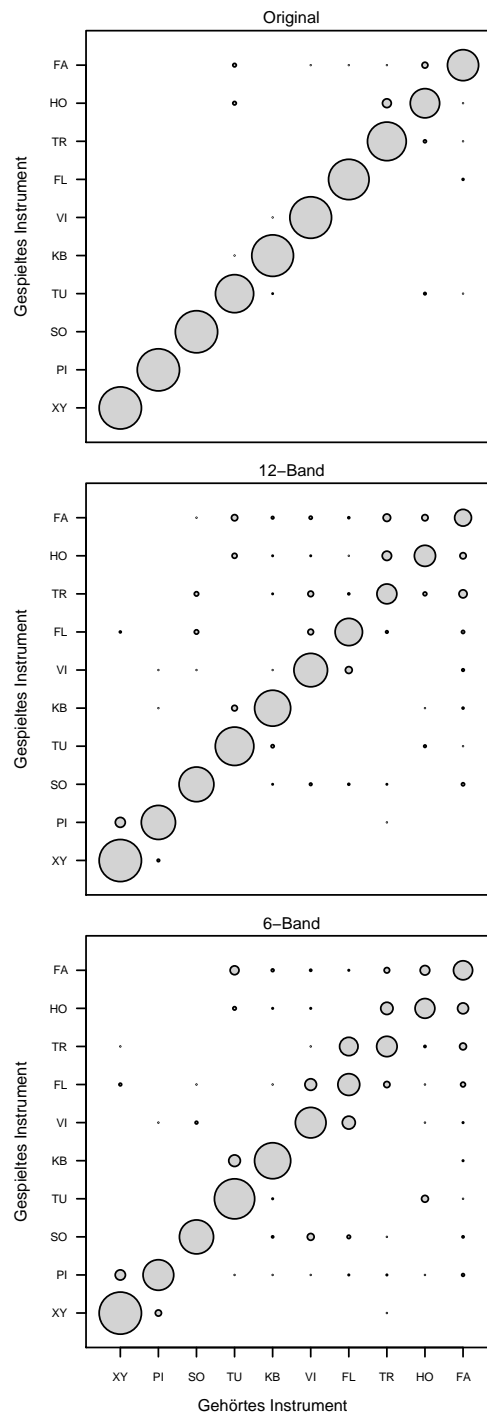


Abbildung 3.15: Instrumentenerkennungstest: Symbolische Darstellung der Antworthäufigkeit (Kreisdurchmesser); Fagott - FA, Horn - HO, Trompete - TR, Querflöte - FL, Geige - VI, Kontrabass - KB, Tuba - TU, Gesang (Sopran) - SO, Klavier - PI, Xylophon - XY

## 3.10 Auswertung MUMU-Fragebogen

Die Beschreibung des MUMU-Fragebogens ist in Abschnitt 2.8 ([Beschreibung des MUMU-Fragebogens](#), S. 16) zu finden. Demnach hört der Großteil der Gruppe, wie im Balkendiagramm Anhang H.1 ([MUMU-Fragebogen Frage 1](#), S. 77) dargestellt, oft oder auch sehr oft Musik. Nur drei der Probanden geben an, manchmal Musik zu hören. Keiner der Probanden hört nie oder auch nur selten Musik. Auf die Frage nach der Dauer des Musikhörens, dargestellt in Anhang H.2 ([MUMU-Fragebogen Frage 2](#), S. 78), gibt über die Hälfte der Probanden an, 30 Minuten bis eine Stunde Musik zu hören, nur ein Proband hört weniger als eine halbe Stunde. Weiterhin hört ein Viertel der Probanden ein bis zwei Stunden und vier der Probanden mehr als zwei Stunden Musik. Die überwiegende Zahl der Probanden legt sich nicht fest, ob Musik im Hintergrund oder konzentriert und ohne Ablenkung gehört wird. Wie dem Balkendiagramm Anhang H.3 ([MUMU-Fragebogen Frage 3](#), S. 79) zu entnehmen ist, geben sieben Probanden an, nur im Hintergrund Musik zu hören. Kein Proband sagt, dass er ausschließlich konzentriert und ohne Ablenkung Musik hört. Die Frage nach der Intention der Probanden, Musik zu hören, ergibt, dass die Mehrzahl der Probanden Musik hört, um sich zu entspannen und sich zu erfreuen. Das Balkendiagramm Anhang H.4 ([MUMU-Fragebogen Frage 4](#), S. 79) zeigt zudem, dass viele Probanden Musik hören um zu tanzen oder durch Musik ihre Stimmung beeinflussen wollen. Acht Probanden hören Musik zudem zur emotionalen Befriedigung. Immerhin vier Probanden nutzen Musik als Muntermacher und nur ein Proband hört Musik aus beruflichen Gründen. Drei Viertel der Probanden legen sich in Frage 5 nicht fest, ob sie Soloinstrumente oder Orchester und Gruppen bevorzugen. Im Balkendiagramm Anhang H.5 ([MUMU-Fragebogen Frage 5](#), S. 80) ist dargestellt, dass das restliche Viertel der Probanden Orchester und Gruppen bevorzugt. Kein Proband gibt an, Soloinstrumente zu bevorzugen. In der sechsten Frage wird geklärt, welche Instrumente die Probanden kennen. Den Probanden wird eine Liste aus 15 Instrumenten vorgelegt. Die Probanden geben an, welche Instrumente sie kennen. Das Balkendiagramm Anhang H.6 ([MUMU-Fragebogen Frage 6](#), S. 81) zeigt, dass alle Probanden das Klavier und die Trompete kennen. Immerhin 23 von 24 Probanden kennen Kontrabass, Xylophon, Horn und Querflöte. Cello und Pauke kennen 22, Posaune und Violine kennen 21 der Probanden. Mit 17 Probanden kennen knapp drei Viertel der Probanden Oboe und Tuba. Über die Hälfte der Probanden kennen das Fagott und genau die Hälfte der Probanden kennt die Piccoloflöte. Die Viola wurde von nur einem Drittel der Probanden gekannt, somit ist die Viola das am wenigsten gekannte Instrument. In einer weiteren Frage, so zu sehen im Balkendiagramm Anhang H.7 ([MUMU-Fragebogen Frage 7](#), S. 82), soll angegeben werden, welche dieser Instrumente die Probanden gerne hören. Bevorzugt werden hier Klavier und Violine angegeben. Knapp die Hälfte der Probanden hört die Querflöte und etwas weniger die Trompete gerne. Immerhin neun Probanden geben an, dass sie Cello und Kontrabass gerne hören. Fünf der Probanden mögen das Horn. Oboe, Posau-



ne, Fagott, Xylophon, Pauke, Viloa, Tuba und Piccoloflöte sind bei den Probanden eher unbeliebt. Die achte Frage, dargestellt in Anhang [H.8 \(MUMU-Fragebogen Frage 8, S. 83\)](#), zeigt, dass annähernd alle Probanden Radio im Auto und zu Hause hören. Fast alle Probanden hören Schallplatten, CDs oder MCs. Etwa die Hälfte hört Musik auch im Fernsehen oder auf Konzerten. Wenige genießen Musik in der Oper, in der Kirche oder als Hausmusik. Die Lieblingsmusikrichtung der Hauptgruppe ist eindeutig Pop und Rock. Alle Probanden geben dies an. Weiter wird aus Frage 9 und 10 ersichtlich, dass viele Probanden Klassik mögen und auch Jazz und Blues durchaus beliebt sind. Etwa ein Drittel der Probanden hört Techno. Der Genuss beim Hören von Techno ist eher mittel, streut aber erstaunlich weit über die gesamte Beurteilungsbreite. Oper und Operette werden relativ wenig gehört und auch mittelmäßig bewertet. Wenig gehört und bei der Hauptgruppe eigentlich auch unbeliebt sind Schlager, Volksmusik und geistliche Musik. Tabellen zu Frage 9 und 10 sind in Anhang [H.9 \(MUMU-Fragebogen Frage 9, S. 83\)](#) und in Anhang [H.10 \(MUMU-Fragebogen Frage 10, S. 84\)](#) beigefügt. Die elfte Frage, dargestellt im Balkendiagramm Anhang [H.11 \(MUMU-Fragebogen Frage 11, S. 85\)](#) zeigt, dass im Kindesalter ein Großteil der Probanden „oft“ oder „sehr oft“ ein Instrument gespielt hat. Ein Viertel der Probanden gibt an, nie, selten oder manchmal als Kind ein Instrument gespielt zu haben. Im Erwachsenenalter dreht sich dieses Verhältnis um. Der Großteil der Probanden spielt jetzt nie oder selten ein Instrument. Nur gut ein Viertel der Probanden spielt noch häufiger ein Instrument. Diese Beobachtung wird auch in der nächsten Frage bestätigt. So zeigt das Balkendiagramm zu Frage 12 in Anhang [H.12 \(MUMU-Fragebogen Frage 12, S. 86\)](#) eine Liste ausgewählter Instrumente. Kein Instrument wird im Erwachsenenalter häufiger gespielt als im Kindesalter. Nur das Keyboard und die Querflöte werden gleich oft gespielt. Besonders beliebt im Kindesalter ist die Blockflöte. Das Klavier und die Gitarre sind sowohl im Kindes- als auch im Erwachsenenalter beliebt. Der Großteil der Probanden legt sich nicht fest, ob Solosänger oder Gruppen bevorzugt werden. Wie dem Balkendiagramm Anhang [H.13 \(MUMU-Fragebogen Frage 13, S. 87\)](#) zu entnehmen ist, bevorzugen sechs Probanden Gruppen und nur vier Probanden Solosänger. Das Balkendiagramm Anhang [H.14 \(MUMU-Fragebogen Frage 14, S. 88\)](#) zur Frage „Singen Sie?“ zeigt, dass vier der Probanden angeben, niemals zu singen. Zehn der Probanden singen selten, sechs der Probanden singen manchmal. Ein Proband gibt an, dass er oft singt und drei Probanden sagen, dass sie sehr oft singen. Am häufigsten wird im Auto gesungen, immerhin 14 Probanden geben dies an. Weiterhin singen 12 der Probanden zu Hause für sich. Sieben der Probanden singen im Freundeskreis. In der Kirche singen 5 der Probanden, im Chor singen 4 der Probanden. Zwei der Probanden geben an, in anderen Gruppen zu singen. Die Ergebnisse zu dieser Frage sind im Diagramm [H.15](#) dargestellt. Am liebsten singen die Probanden der Hauptgruppe Pop- und Rockmusik. 18 Probanden geben dies in der Frage 16 an. Wie im Balkendiagramm [H.16](#) weiterhin zu sehen ist, singen acht der Probanden Weihnachtslieder, jeweils vier der Probanden geben an, Jazz bzw. Blues und Kirchenmusik zu

### 3 Ergebnisse

singen. Drei Probanden geben an, dass sie Volkslieder singen. Immerhin jeweils ein Proband singt Kinderlieder, klassische Lieder und Oper bzw. Operette. Mit insgesamt 17 Probanden erhielten ein Großteil außerhalb der Schule Musikunterricht. Das Diagramm [H.17](#) zeigt, dass von diesen 17 Probanden immerhin 14 länger als drei Jahre Musikunterricht erhielten und drei Probanden weniger als drei Jahre ein Musikinstrument lernten. Sieben der Probanden erhielten keinen Musikunterricht außerhalb der Schule. Die letzte Frage klärt, welche Rolle Musik im Leben der Probanden spielt. Bei Betrachtung des Balkendiagramms [H.18](#) wird klar, dass die Probandengruppe durchaus Interesse an Musik hat. So gibt keiner der Probanden an, dass Musik keine Rolle in seinem Leben spielt. Nur ein Proband misst Musik eine geringe Rolle in seinem Leben bei. Zehn der Probanden geben an, dass Musik eine mittlere Rolle spielt. Bei sieben Probanden spielt Musik eine große Rolle. Sechs Probanden bewerten die Rolle, die Musik in ihrem Leben spielt, als sehr groß.

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion Rhythmustest

Der Rhythmustest ist in Kapitel 2.2.1 (Der Rhythmustest, S. 7) beschrieben. Die Ergebnisse des Rhythmustests, die in Kapitel 3.2 (Auswertung Rhythmustest, S. 20) beschrieben sind, zeigen, dass spektrale Reduktion keinen Einfluss auf die Wahrnehmung des Rhythmus bzw. der groben zeitlichen Struktur hat. Zu entsprechenden Ergebnissen kommt auch eine Studie von Looi et al. (2007), wobei die zu vergleichenden Gruppen aus erfahrenen CI-Trägern, die bei der Rhythmuserkennung 93 % erreichten, und Hörgeräteträgern, die 94 % erreichten, bestand. Diese Ergebnisse sind insofern vergleichbar mit den Ergebnissen des Rhythmustests, als dass bei den Probanden mit verminderter Hörfähigkeit eine Reduzierung der spektralen Auflösungsfähigkeit vermutet werden kann. Bei den CI-Trägern ist das durch die geringe Anzahl der cochleären Elektroden bzw. der Frequenzbänder gegeben, bei Hörgeräteträgern, je nach Grad der Hörminderung, durch Verlust der Funktion der äußeren Haarzellen erklärbar (siehe Pickles, 2008, S. 129 ff.). Bei der Hauptgruppe der vorliegenden Arbeit wurde die spektrale Reduktion im Signal angelegt.

Verschiedene weitere Studien (Gfeller et al., 1997; Kong et al., 2004; Leal et al., 2003; McDermott, 2004) belegen, dass Rhythmus von CI-Trägern gut wahrgenommen wird, in einigen Fällen erreichen CI-Träger sogar ähnliche Ergebnisse wie Normalhörende.

### 4.2 Diskussion Tonhöhentest

Die in Kapitel 3.3 (Auswertung Tonhöhentest, S. 21) dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Tonhöhenwahrnehmung bei steigender spektraler Reduktion deutlich schlechter wird. Die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Daten zeigen zudem, dass die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit bei spektraler Reduktion für verschiedene Instrumente unterschiedlich ist.

Zu einem entsprechenden Ergebnis kommt auch eine Studie mit CI-Trägern von Haumann et al. (2007), wobei auch hier Klavier und Geige neben zwei weiteren Instrumenten, Trompete und Klarinette, verwendet wurden. Die Diskriminationsschwellen der CI-Träger variierten zwischen den einzelnen Probanden sehr stark. Aber hier wurden für das Klavier signifikant höhere Diskriminationsschwellen ermittelt als für die anderen Instrumente. Diese Studie nutzte zudem die Zeit-Frequenz-Analyse der akustischen Stimuli und machte so deutliche Unterschiede zwischen den begleitenden Obertönen der verschiedenen Instrumen-

#### 4 Diskussion

te deutlich. So wird die Vermutung geäußert, dass das schnelle Abklingen der Obertöne beim Klavier die Tonhöhenenerkennung wesentlich erschwert und so das Klavier signifikant schlechter beurteilt werden kann als die anderen Blas- und Streichinstrumente. Diese Beobachtung wurde auch in der vorliegenden Arbeit gemacht, wobei die Vergleichsinstrumente Klavier, Geige und ein Sinuston bei den Untersuchungen verwendet wurden. So ist die korrekte Beurteilung der Klaviertöne in spektral reduzierten Hörkonditionen schwieriger als beim Sinuston und bei der Geige. In der hier vorliegenden Arbeit wurde keine Zeit-Frequenz-Analyse der verwendeten akustischen Stimuli gemacht, was die Aussagekraft dieser Übereinstimmung relativiert.

Haumann et al. konnten in dieser Studie durch die Berechnung von Stimulogrammen zeigen, dass die für die jeweiligen Instrumente spezifischen Obertonspektren durch die begrenzte Kanalzahl und die Kodierungsstrategie nur unvollständig im elektrischen Simulationsmuster abgebildet wird. Dies kann für die vorliegende Arbeit auch angenommen werden, da die Kodierung mittels Rauschbandvokoder vorgenommen wurde und durch die 12-BAND-Variante und 06-BAND-Variante ebenfalls eine begrenzte Kanalzahl gegeben war.

In einer Studie von Gfeller et al. (2002a) wurde die Diskriminationsschwelle für Klaviertöne von 46 CI-Trägern als Hauptgruppe und einer normalhörenden Kontrollgruppe ermittelt. Beide Gruppen hörten zwei unterschiedlich hohe Töne, wobei der höhere identifiziert werden sollte. Die CI-Träger erreichten eine mittlere Diskriminationsschwelle von 7,56 Halbtonschritten („HTS“; Spannweite 1-24 HTS), die Kontrollgruppe erreichte durchschnittlich 1,13 HTS (Spannweite 1-2 HTS). Dieses Ergebnis ist mit dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit insofern vergleichbar, als dass die Hauptgruppe ein spektral reduziertes Hörvermögen hatte, die Kontrollgruppe dagegen normalhörend war. Entsprechend ähneln sich auch die Ergebnisse der Hauptgruppe mit denen der spektral reduzierten Varianten in ebendieser Arbeit. Die in der ORIGINAL-Variante erzielten Ergebnisse sind denen der Kontrollgruppe ähnlich.

Eine Studie von Leal et al. (2003) mit CI-Trägern untersuchte einerseits die Diskriminationsfähigkeit zweier Frequenzen und andererseits die Identifikation der höheren Frequenz. Dabei erzielten die Probanden bei der Diskrimination bessere Ergebnisse als bei der Identifikation. Zudem wurden die Leistungen für geringere Tonabstände deutlich schlechter, was den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zur spektralen Reduktion entspricht.

In einer Studie von Schulz und Kerber (1994) sollten CI-Träger steigende, gleichbleibende und fallende Tonsequenzen voneinander unterscheiden. Die verwendeten Tonsequenzen wurden mit dem Klavier erzeugt und hatten große Tonabstände (3-5 HTS, insgesamt 12 HTS) oder kleine Tonabstände (1-2 HTS, insgesamt 7 HTS). Überraschenderweise war in dieser Studie die Diskriminationsschwelle für die kleinen Tonabstände (84 % korrekte Antworten) besser als für die großen Tonabstände (68 % korrekte Antworten). Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant.

Eine Studie von Sucher und McDermott (2007) vergleicht die Tonhöhenunter-

scheidungs-fähigkeit komplexer Klangbilder von Normalhörenden und CI-Trägern, wobei besonders der musikalische Bildungsstand der Probanden beachtet wurde. Die normalhörende Gruppe erzielte dabei generell bessere Ergebnisse als die Gruppe der CI-Träger. Es ließen sich aber in beiden Gruppen zudem deutliche Unterschiede, die auf der Hörerfahrung der Probanden beruhten, darstellen. Diese interindividuelle Variabilität bei der Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit tritt sowohl in dieser Studie als auch bei [Leal et al. \(2003\)](#) und [Gfeller et al. \(2002a\)](#) auf.

[Chen et al. \(2005\)](#) kommen so zu dem Ergebnis, dass zur verbesserten Tonhöhenwahrnehmung sowohl eine Differenzierung des Stimulationsorts in der Cochlea als auch eine verbesserte zeitliche Kodierung, „the right time and the right place“, nötig ist.

### 4.3 Diskussion Melodietest

Die Beschreibung des Melodietests ist in Kapitel [2.2.2 \(Der Melodietest, S. 7\)](#) zu finden, die Ergebnisse sind in Kapitel [3.4 \(Auswertung Melodietest, S. 22\)](#) dargestellt.

Der musikalische Begriff Melodie bezeichnet die Aufeinanderfolge von Tönen in der Zeit, oder von [Dahlhaus \(2000\)](#) anders formuliert eine „in der Zeit sich entfaltende selbständige Tonbewegung“. Melodie umfasst demnach nicht nur die Tonhöhenfolge, sondern auch die Tondauernfolge, also den Rhythmus. Bei der Durchführung des Melodietests wird dieser Rhythmusanteil jedoch egalisiert, indem er für beide Musikstücke gleich ist. Der Rhythmusanteil steht demnach nicht in Fokus der Untersuchung. Die Rhythmuswahrnehmung ist, wie in Kapitel [4.1 \(Diskussion Rhythmustest, S. 49\)](#) dargelegt, auch nicht von spektraler Reduktion beeinflusst. Es wird vielmehr die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit in einem zeitlichen Verlauf getestet. Die dabei erzielten Resultate sind in der ORIGINAL-Variante fehlerfrei. Selbst in den spektral reduzierten Varianten erzielten die Probanden noch gute Ergebnisse. Spekulativ lässt sich sagen, dass die Probanden wahrscheinlich nicht in der Lage wären, die gehörte Melodie z. B. auf einem Klavier nachzuspielen, die Unterscheidungsfähigkeit zwischen monoton und melodisch bleibt jedoch. Die Tabelle [4.1](#) verdeutlicht, welche Unterschiede der Tonhöhentest und der Melodietest aufweisen. Der Melodietest kann als eine andere Methode gesehen werden, die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit der Probanden zu untersuchen. Dabei unterscheidet sich auch die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse. Der Tonhöhentest stellt eher die Reinform dar, mit der man die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit der Probanden ermittelt. Der Melodietest untersucht etwas viel schwerer Nennbares, wenig Eindeutiges. Im Wesentlichen wird aber auch beim Melodietest die Tonhöhenwahrnehmung gemessen, im Vergleich zum Tonhöhentest selbst aber mit einer anderen Methodik.

Tabelle 4.1: Vergleich des Melodietests mit dem Tonhöhentest

Melodietest	Tonhöhentest
Richtungsänderung muß nicht erkannt werden	Richtungsänderung muß erkannt werden
enthält Rhythmus, wird aber vernachlässigt	enthält keinen Rhythmus
mehrere Töne werden gespielt	zwei Töne werden gespielt
mehrere Chancen zur Entscheidungsfindung	eine Chance zur Entscheidungsfindung
Tonhöhenprung, der in einen längeren zeitlichen Verlauf eingebettet ist, muß erkannt werden	einfache zeitliche Einteilung: 1. Ton - 2. Ton

#### 4.4 Diskussion Test zur emotionalen Beurteilung

Der Test zur emotionalen Beurteilung ist in Kapitel 2.2.3 ([Der Test zur emotionalen Beurteilung](#), S. 8) vorgestellt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3.5 ([Auswertung des Tests zur emotionalen Beurteilung](#), S. 24) dargestellt und ausgewertet. Die Idee zu diesem Test geht laut persönlicher Korrespondenz mit Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill auf Mr. Fitzgerald selbst zurück. Dieser war zuerst unilateral cochleaimplantiert und als Musikliebhaber mit dem empfundenen Musikerlebnis unzufrieden. Nach seiner Versorgung mit einem bilateralem Implantat verbesserte sich diese Situation wesentlich, wobei er die Effekte, welche dieses „intensivere Musikerlebnis“ ermöglichen, konkretisieren wollte. So ergibt sich dieses spezielle und neuartige Testdesign, wobei es an vergleichbaren vorausgegangenen Daten und Arbeiten fehlt. Die Einflussfaktoren müssen selbst ermittelt und dargestellt werden. Hierzu werden die wesentlichen Ergebnisse nochmals zusammengefasst:

Alle drei Hörkonditionen werden im Mittel gleich bewertet, der Medianwert liegt stets bei 5, wobei auch die Quartilwerte und das Konfidenzintervall gleich sind. In allen Hörkonditionen wird die gesamte Breite der Antwortskala genutzt, wie die Abbildung 3.4 zeigt. Die Boxplotdarstellung 3.5 zeigt die Beurteilung der Einzelstücke, bei der ein gegenseitiger Bezug grob erhalten bleibt.

Als dominierender Faktor wurde das Tempo der Musikstücke erkannt. Sowohl die Temposkalierung als auch die Rangbestimmung, dargestellt in der Mehrfeldertafel 3.7, weisen eine hohe Korrelation zur emotionalen Beurteilung der Stücke auf. Als weiterer Faktor wurde die An- oder Abwesenheit bestimmter Instrumente angenommen. Diese Vermutung konnte entsprechend der Mehrfeldertafel 3.8 nicht bestätigt werden, auch wenn sich Effekte durch die Piccoloflöte, die Querflöte und das gestrichenen Cello andeuten.

## 4.5 Diskussion Dissonanztest

Der Dissonanztests ist in Kapitel 2.2.3 (Der Dissonanztest, S. 8) beschrieben und die Ergebnisse sind in Kapitel 3.6 (Auswertung Dissonanztest, S. 33) dargestellt und ausgewertet. Auch beim Dissonanztest findet das in Kapitel 4.4 (Diskussion Test zur emotionalen Beurteilung, S. 52) beschriebene Testdesign Verwendung. Auch hier fehlt die Vergleichbarkeit zu vorausgegangenen Arbeiten. Im Laufe der Auswertung konnten aber eindeutige Einflussfaktoren erkannt und dargestellt werden.

Die Darstellung 3.9 zeigt, dass nach Gesamtlage der Urteile die ORIGINAL-Variante „harmonischer“ als in den spektral reduzierten Varianten bewertet wird. Die Abbildung 3.10 zeigt die Beurteilung der Einzeltöne, wobei ersichtlich ist, dass gleiche Töne nach spektraler Reduktion ähnlich bewertet werden. Die Bewertung der spektral reduzierten Töne weist keine Korrelation zu der Bewertung der Töne in der ORIGINAL-Variante auf.

Es kann dargelegt werden, dass die Töne in der ORIGINAL-Variante entsprechend der pythagoräischen Konsonanztheorie bewertet werden. Die Konsonanztheorie spielt bei der Urteilsfindung nach spektraler Reduktion keine Rolle. Nach spektraler Reduktion ist die Tonhöhenlage für das Konsonanzempfinden maßgeblich. Die Mehrfeldertafel 3.11 bildet diese Ergebnisse ab.

## 4.6 Diskussion Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl

Die Beschreibung des Tests zur Bestimmung der Instrumentenanzahl ist in Kapitel 2.2.4 (Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl, S. 8) zu finden, die Ergebnisse sind in Kapitel 3.7 (Auswertung des Tests zur Bestimmung der Instrumentenanzahl, S. 39) dargestellt.

Die Inhalte des Ergebnisteils sind hier noch einmal in zusammengefasster Form dargestellt:

Schon in der ORIGINAL-Version antworteten die Probanden nicht fehlerfrei, fünf in einem Stück gespielte Instrumente wurden mehrmals nicht erkannt. Nach spektraler Reduktion und mit zunehmender Instrumentenanzahl war das korrekte Erkennen der Instrumentenanzahl erschwert. Zwischen den Ergebnissen der spektral reduzierten Varianten bestand kein signifikanter Unterschied. Bei der Durchführung des Tests zeigten sich weiterhin maßgebliche Eigenschaften, deren Bedeutung erst durch die Beobachtung des Versuchsleiters offenbar wurde:

Die Musikinstrumente setzen im Verlauf des Stücks zeitversetzt ein, was die Erkennbarkeit sehr erhöht. Zudem sind alle fünf Instrumente in einer Leiste auf dem Computerbildschirm dargestellt und markierbar. Von allen Probanden wurden die Demonstrationsstücke gehört, in welchen die fünf Instrumente vorgestellt und in der oben genannten Leiste gezeigt werden. Die zeitnahe Vorstellung der Instrumente und deren zeitversetztes Einsetzen stellen erhebliche Vereinfachungen des Tests dar.

## 4 Diskussion

Weiterhin erhielten die Probanden nur wenige Stimuli. Jede mögliche Instrumentenanzahl wurde genau einmal gespielt. So wurden aus 31 möglichen Instrumentenkombinationen lediglich 5 angeboten. Eine Studie von [Saldanha und Corso \(1964\)](#) befasst sich intensiv mit der Erkennung von Instrumenten und belegt, dass sich Instrumente in ihrer Erkennbarkeit unterscheiden. Demzufolge ist es beispielsweise leichter eine Flöte zu erkennen als ein Cello. Ein kurzer, harter Anschlag und bestimmte Tonlagen erleichtern zudem die Identifizierung. Dies belegt auch eine Studie von [Elliott \(1975\)](#), die besagt, dass der zeitliche Verlauf, wie ein Ton von einem Instrument gespielt wird, Einfluss auf die Instrumentenerkennung hat. Demzufolge wäre eine Gleichbehandlung aller Instrumente und weiterhin aller möglichen Instrumentenkombinationen nötig, um eine „Verfärbung“ über die Auswahl der Kombinationen ausschließen zu können.

Dabei bilden sich durchaus statistisch signifikante Unterschiede heraus, die in der Tabelle [3.9](#) dargestellt sind. Bei Verwendung aller 31 möglichen Instrumentenkombinationen hätte eventuell zudem ein signifikanter Unterschied bei den spektral reduzierten Varianten nachgewiesen werden können.

### 4.7 Diskussion Akkordvergleich

Akkorde charakterisieren sich durch hohe spektrale Komplexität, das Ohr muß beim Hören von Akkorden sehr viel leisten. Die gestellte Aufgabe verlangt die Beurteilung mehrerer Akkordpaare, die gleich oder unterschiedlich sein können. Die genaue Beschreibung dieses Tests ist in Kapitel [2.2.4 \(Akkordvergleich, S. 9\)](#) zu finden. Es stellt sich heraus, dass die Probanden auch nach spektraler Reduktion subtile Unterschiede bei den präsentierten Akkordpaaren erkennen können. So geben alle Probanden selbst in der 06-BAND-Variante mindestens 9 korrekte Antworten und erreichen damit 75 % richtige Antworten. Eine Übersicht zu den gegebenen Antworten bietet die Boxplotdarstellung [3.14](#) im Auswertungsteil Kapitel [3.8 \(Auswertung Akkordvergleich, S. 42\)](#). Den Probanden ist demnach eine Auflösung der verwendeten Akkorde möglich, wobei über die Einflussfaktoren nur spekuliert werden kann:

Zum einen könnte die Lautstärke an bestimmten Frequenzorten als Unterscheidungsmerkmal genutzt werden. Bei spektral reduzierten Frequenzbändern könnten wegen Lautstärkeunterschieden bestimmte Frequenzbänder besonders hervorgehoben oder unterdrückt werden, was eine Unterscheidung möglicherweise erleichtert. Zur Verdeutlichung dieser Mutmaßung dient die Abbildung in Anhang [D \(Klavierakkord L25, S. 67\)](#).

Zum anderen könnte die Gesamttonhöhenlage zweier verschiedener Akkorde als Unterscheidungsmerkmal dienen.

Die den Probanden gestellte Aufgabe erscheint wegen der erreichten Ergebnisse als zu leicht, die einfache Unterscheidung ein „gleich“ oder „ungleich“ dient zudem nicht der Suche nach den Faktoren, die die Unterscheidung ermöglichen.



## 4.8 Diskussion Instrumentenerkennungstest

Studien zur Beurteilung der Klangfarbe basieren in der Regel auf Untersuchungen zur Instrumentenerkennung. Wie in Kapitel 3.9 ([Auswertung Instrumentenerkennungstest](#), S. 43) dargestellt, vermindert sich die Fähigkeit der Instrumentenerkennung mit zunehmender spektraler Reduktion. Dabei treten besonders häufig Verwechslungen auf, wenn Instrumente eine ähnliche Klangfarbe haben. Zur Verdeutlichung wurden häufige Verwechslungspaare im Blasendiagramm 3.15 gruppiert. Hier fällt auf, dass Instrumente, die in ihrer Tonerzeugung ähnlich sind, häufig verwechselt werden. So bildet sich die Gruppe der Blasinstrumente Trompete, Flöte, Fagott und Horn, aber auch die Gruppe der Schlaginstrumente Xylophon und Klavier, die gerade bei der starken spektralen Reduktion der 6-BAND-Variante verwechselt werden. Zudem scheint die Tonhöhenlage der Instrumente ein Identifizierungsmerkmal zu sein. Bei starker spektraler Reduktion verwechseln die Probanden zunehmend die Tuba mit dem Kontrabass und die Flöte mit der Geige.

Eine Untersuchung von [Gfeller et al. \(1998\)](#) belegt indess, dass die Instrumentenerkennung von CI-Trägern signifikant schlechter ist als von Normalhörenden. In dieser Untersuchung wurde die Instrumentenerkennungsfähigkeit von 28 CI-Trägern und 41 Normalhörenden anhand von vier Instrumenten getestet, wobei die CI-Träger bei zwei Instrumenten deutlich schlechtere Ergebnisse erzielten.

Eine weitere Studie von [Gfeller et al. \(2002c\)](#) mit einer gesteigerten Anzahl an Instrumenten vergleicht wiederum die Erkennungsfähigkeit von CI-Trägern und Normalhörenden. Die acht Instrumente wurden in Instrumentengruppen und nach Frequenzbereich unterteilt. Gerade bei der Unterscheidung der Instrumente mit hohem Frequenzbereich und bei den Streichinstrumenten erzielten die CI-Träger signifikant schlechtere Ergebnisse als die Normalhörenden.

Bemerkenswerterweise lässt sich die Fähigkeit der Instrumentenerkennung bei CI-Trägern anscheinend durch systematisches Training steigern. Sowohl [Gfeller et al. \(2002b\)](#) als auch [Fujita und Ito \(1999\)](#) beschreiben derartige Effekte.

Eine bereits in Kapitel 4.5 ([Diskussion Dissonanztest](#), S. 53) erwähnte Studie von [Saldanha und Corso \(1964\)](#) untersucht die Instrumentenerkennungsfähigkeit von 20 geübten Musikern. [Saldanha und Corso](#) kommen dabei zu dem Ergebnis, dass einige Instrumente, wie z. B. die Oboe und die Flöte, leichter erkannt werden als andere, z. B. die Violine oder das Cello. Weiterhin beschreiben sie, dass bestimmte Tonhöhenlagen und kurze, harte Anschläge bei der Tonerzeugung die Instrumentenerkennung erleichtern. Ein zitternd gespieltes Instrument wird leichter erkannt. Zudem kann ein positiver Übungseffekt festgestellt werden.

Die ebenfalls bereits erwähnte Studie von [Elliott \(1975\)](#) untersucht ein Gruppe von 57 ausgebildeten Musikern. Auch hier wird die Aussage, dass ein kurzer Anschlag eines Instruments und das rasche Abklingen die Erkennungsrate erhöhen, bestätigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse nach spektraler Re-

#### *4 Diskussion*

duktion mittels Rauschbandvokoder durchaus mit den Ergebnissen, die bei Untersuchungen mit CI-Trägern gemacht wurden, vergleichbar sind. CI-Träger und Normalhörende, die ein spektral reduziertes Signal hören, erzielen deutlich schlechtere Ergebnisse als Normalhörende, die ein spektral nicht reduziertes Signal hören.

## 5 Ausblick

Bezüglich des Musikverständnisses bei spektral reduzierter Wahrnehmungsfähigkeit gibt es viele weitere Fragestellungen, die untersucht werden könnten. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die naheliegendsten weiteren Untersuchungen gegeben.

Zum einen wäre es wissenswert, wie sich weitere spektrale Reduzierung, beispielsweise eine Versuchsreihe mit nur acht und vier Rauschbändern, auf das Musikverständnis normalhörender Probanden auswirkt. So könnte geklärt werden, ob sich die Effekte, die in dieser Arbeit dargestellt werden konnten, weiterhin verstärken. Bleibt beispielsweise die Rhythmuswahrnehmung der Probanden auch bei nochmals verstärkter spektraler Reduzierung unbeeinflusst? Erschwert sich weiterhin die Tonhöhenwahrnehmung der Probanden? Eine weitere durchaus interessante Untersuchungsmöglichkeit ergibt sich aus der Fragestellung, wie sich die Reduzierung der Musikstücke auf nur ein Rauschband auswirken würde. Die Ergebnisse zu dieser Untersuchung könnten mit den Erkenntnissen, die [Shannon et al. \(1995\)](#) bezüglich des Sprachverständnisses bei massiver spektraler Reduktion erlangt hat, verglichen werden.

Zum anderen wäre es auch wissenswert, wie viele Rauschbänder verwendet werden müssten, um ein annähernd normales Hörverständnis für Musik zu erzielen. Dabei wäre theoretisch eine so hohe Anzahl an Frequenzbändern möglich, dass dies dem spektralen Auflösungsvermögen des Ohres entspricht. Die Frage wäre dann, ob ein normales Hörverständnis auch mit einer beliebig hohen Anzahl an Rauschbändern möglich ist. Falls dies möglich ist, wäre der „kleinste gemeinsame Nenner“ zu ermitteln.

Der Mu.S.I.C. - Test bietet sich weiterhin an, andere Probandengruppen zu untersuchen. So könnte das Musikverständnis von CI-Trägern, Hörgeräteträgern und auch Mittelohrimplantatträgern genauer untersucht werden. Die verschiedenen Gruppen könnten auf Basis des Mu.S.I.C. - Test verglichen werden.

Die Veränderung des Signals könnte weitere Erkenntnisse zu Musikverständnis nach spektraler Reduktion bringen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Musikstücke als Monosignal binaural präsentiert. Es gäbe zudem die Möglichkeit, das Monosignal monaural oder ein Stereosignal binaural zu präsentieren. In besonderem Maße untersuchenswert wäre ein binaurales Signal mit alternierenden Frequenzbändern. Punktuelle Forschungen zu diesem Thema machten [Schatzer et al. \(2003\)](#) am Research Triangle Institute, North Carolina (RTI), wobei sie die Tonhöhenwahrnehmung der einzelnen Elektroden von CI-Trägern genau untersuchten. Auf Basis dieser Untersuchungen wurden den Elektroden gezielt eingestellte Frequenzbereiche zugeordnet und überlappend für beide Ohren eingestellt. Dies führte zu deutlich verbesserter Musikwahrnehmung der CI-

## 5 Ausblick

Träger mit teilweise erstaunlichen Ergebnissen. Die Frage wäre nun einerseits, ob sich diese Ergebnisse auch mit einer normalhörenden Gruppe mit spektral reduzierten Stimuli erzielen lassen. Andererseits wäre die Untersuchung einer Gruppe mit entsprechend voruntersuchten und eingestellten CI-Trägern erstrebenswert.

Die Firma MED-EL vertreibt neuerdings eine aktualisierte überarbeitete Version des Mu.S.I.C. - Test, wobei diese Version mit der in der Arbeit verwendeten in den Grundzügen übereinstimmt. Für die neue Version des Mu.S.I.C. - Tests ist auch der UserGuide [Fitzgerald et al. \(2006\)](#) verfügbar. Es erscheint sinnvoll, für die folgenden Studien die überarbeitete Version des Mu.S.I.C. - Test zu verwenden.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Dissertation wurden 24 normalhörende Probanden bezüglich ihres Musikverständnisses vor und nach spektraler Reduktion verschiedener Musiksignale untersucht. Die spektrale Reduktion wurde mittels Rauschbandvokoder vorgenommen und ergab drei unterschiedliche Hörkonditionen:

1. spektral nicht reduzierte Originalvariante
2. spektral reduzierte Variante mit zwölf Rauschbändern
3. spektral reduzierte Variante mit sechs Rauschbändern

Als Untersuchungsplattform diente der Mu.S.I.C. - Test, der verschiedene Teilaspekte des Musikhörens und Musikverstehens mit folgendem Ergebnis untersucht:

1. Die Rhythmuswahrnehmung war durch spektrale Reduktion nicht beeinträchtigt.
2. Die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit nahm mit zunehmender spektraler Reduktion stark ab.
3. Der Melodietest ist eine andere Form eines Tonhöhentests und kam entsprechend zu einem ähnlichem Ergebnis; auch hier nahm die Erkennungsleistung mit spektraler Reduktion stark ab.
4. Die emotionale Beurteilung verschiedener Musikstücke war in den drei Hörkonditionen im Mittel gleich, ein gegenseitiger Bezug bei der Bewertung der Einzelstücke blieb nach spektraler Reduktion grob erhalten. Als dominierender Faktor wurde das Tempo der Musikstücke ausgemacht.
5. Den Dissonanztest beantworteten die Probanden in der Originalvariante entsprechend der pythagoräischen Konsonanztheorie. In den spektral reduzierten Konditionen konnte nur die Tonhöhe als Einflussfaktor bestätigt werden. Eine Korrelation zwischen Konsonanzempfinden und der An- oder Abwesenheit bestimmter Instrumente konnte nicht belegt werden.
6. Nach spektraler Reduktion war die korrekte Bestimmung der Instrumentenanzahl erschwert.
7. Beim Akkordvergleich erkannten die Probanden teilweise auch nach spektraler Reduktion subtile Unterschiede. Die Unterscheidung in „gleich“ oder „ungleich“ erscheint als zu leicht und konnte nicht zur weiteren Modellbildung beitragen.
8. Zunehmende spektrale Reduktion verminderte die Fähigkeit der Instrumentenerkennung. Häufig verwechselt wurden Instrumente, die in der Art der Tonerzeugung ähnlich sind.

## *6 Zusammenfassung*

# A Allgemeine Probandeninstruktion

Liebe Probandin, lieber Proband,

Im Versuch soll die Musikwahrnehmung Normalhörender unter drei verschiedenen Hörkonditionen untersucht werden. Eine Hörkondition wird mit unveränderten, und die zwei anderen werden mit „rauschband-vokodierten“ Musiksignalen durchgeführt. Es werden acht verschiedene Aspekte der Musikwahrnehmung mit jeweils einem Einzeltest betrachtet:

1. Rhythmus
2. Tonhöhen
3. Instrumentenerkennung
4. Emotion
5. Melodieerkennung
6. Dissonanzbeurteilung
7. Anzahl der Instrumente
8. Akkorde

Vor jedem dieser Tests wird ein kurzer Probedurchlauf gemacht, der wiederholt werden darf.

Die Testdauer einer Hörkondition, d.h. aller 8 Einzeltests, liegt erfahrungsgemäß bei ca. 50 min. Dieser Testblock wird dreimal durchgeführt. Der längste Einzeltest ist der Tonhöhentest (Nr. 2), der bis zu 30 min dauern kann. Zwischen den Testblöcken werden Pausen gemacht.

Ich werde Ihnen während des Testlaufs keine Rückmeldung über Ihre Ergebnisse geben. Sie können den Test jederzeit ohne Begründung abbrechen. Die bis dahin bereits erhobenen Daten werden dadurch allerdings ungültig und können nicht verwendet werden.

Die erhobenen Daten werden anonymisiert und es werden die datenschutzrechtlichen Bestimmungen eingehalten.

Vielen Dank für Ihr Einverständnis zur Teilnahme.

Würzburg, den

Viel Glück, Johannes Plank





## B Tonhöhentest (Instrumente)

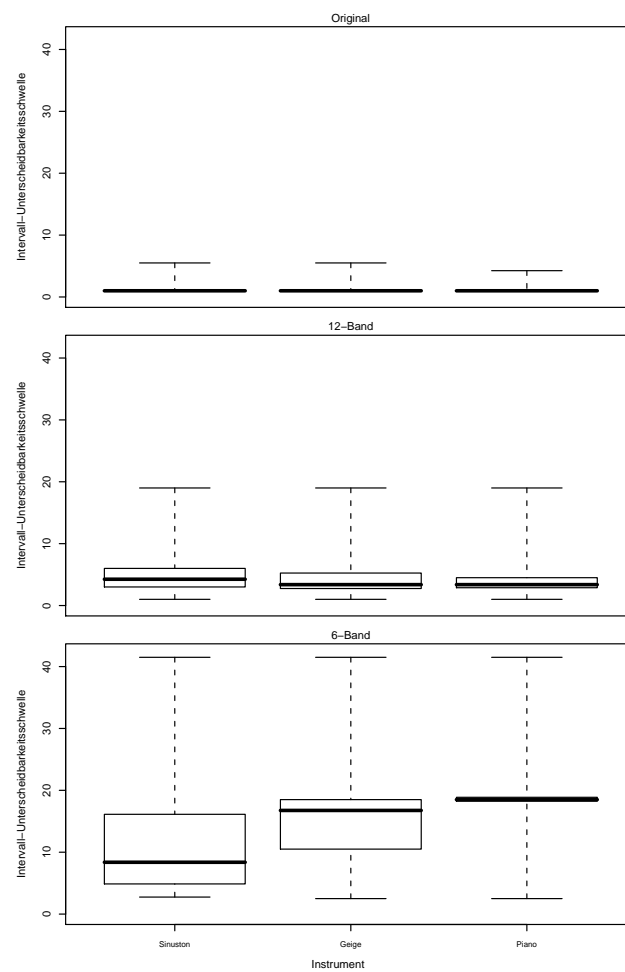


Abbildung B.1:  
Tonhöhentest: Urteile (in Vierteltönen) in Abhängigkeit vom Instrument, aufgeschlüsselt nach Hörkondition

## B Tonhöhentest (Instrumente)

Tabelle B.1: Tonhöhentest: Vergleich der Hörkonditionen aufgeschlüsselt nach Instrumenten bzw. Sinuston (Wilcoxon-Test)

Instrument	Stimuli			p-Wert
Sinus	OR	—	12	< 0,001
Sinus	OR	—	06	< 0,001
Sinus	12	—	06	< 0,01
Geige	OR	—	12	< 0,001
Geige	OR	—	06	< 0,001
Geige	12	—	06	< 0,001
Piano	OR	—	12	< 0,001
Piano	OR	—	06	< 0,001
Piano	12	—	06	< 0,001

Tabelle B.2: Tonhöhentest: Vergleich der Instrumente bzw. Sinuton aufgeschlüsselt nach Hörkondition (Wilcoxon-Test)

Hörkondition	Stimuli			p-Wert
OR	Sinus	—	Geige	1,000000000000
OR	Sinus	—	Piano	0,974655631678
OR	Geige	—	Piano	0,974655631678
12	Sinus	—	Geige	0,320784631854
12	Sinus	—	Piano	0,325904149840
12	Geige	—	Piano	1,000000000000
06	Sinus	—	Geige	0,025871703333
06	Sinus	—	Piano	< 0,001
06	Geige	—	Piano	0,027901423607

## C Test zur emotionalen Beurteilung

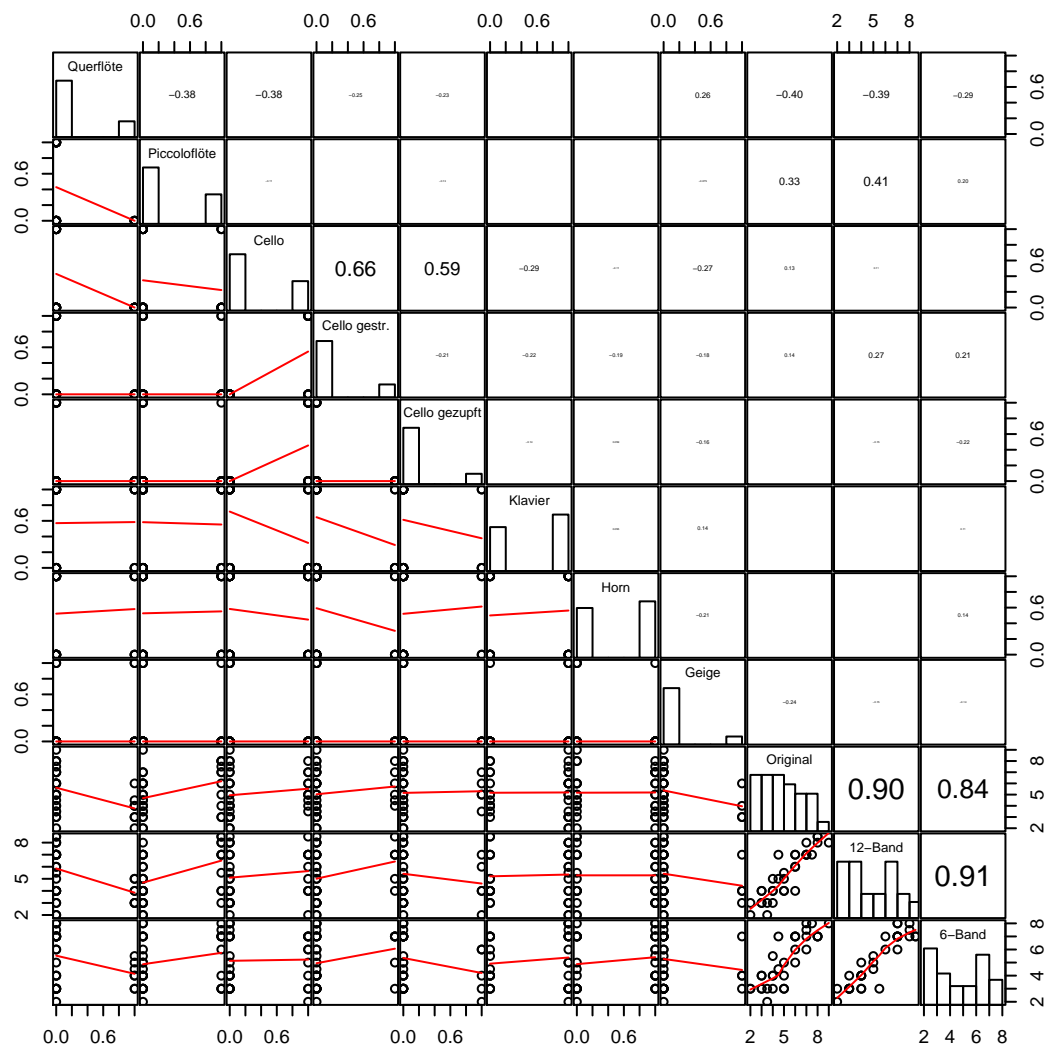


Abbildung C.1: Test zur emotionalen Beurteilung: Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten der Urteilsmediane der Hörkonditionen zu allen vorkommenden Instrumenten



## D Klavierakkord L25

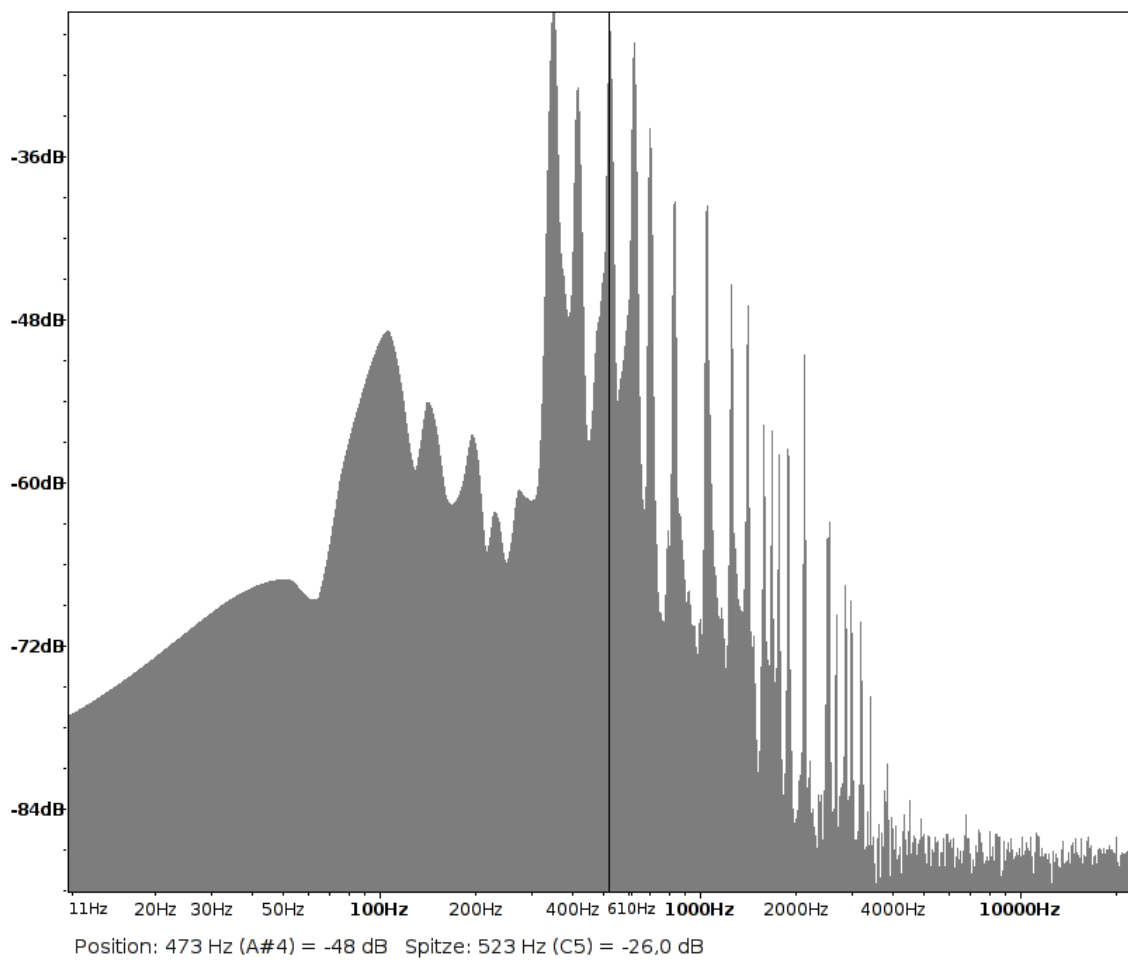


Abbildung D.1: Spektrum des Klavierakkords „L25“: Feststellung der Grundfrequenzen der Einzeltöne des Akkords

*D Klavierakkord L25*

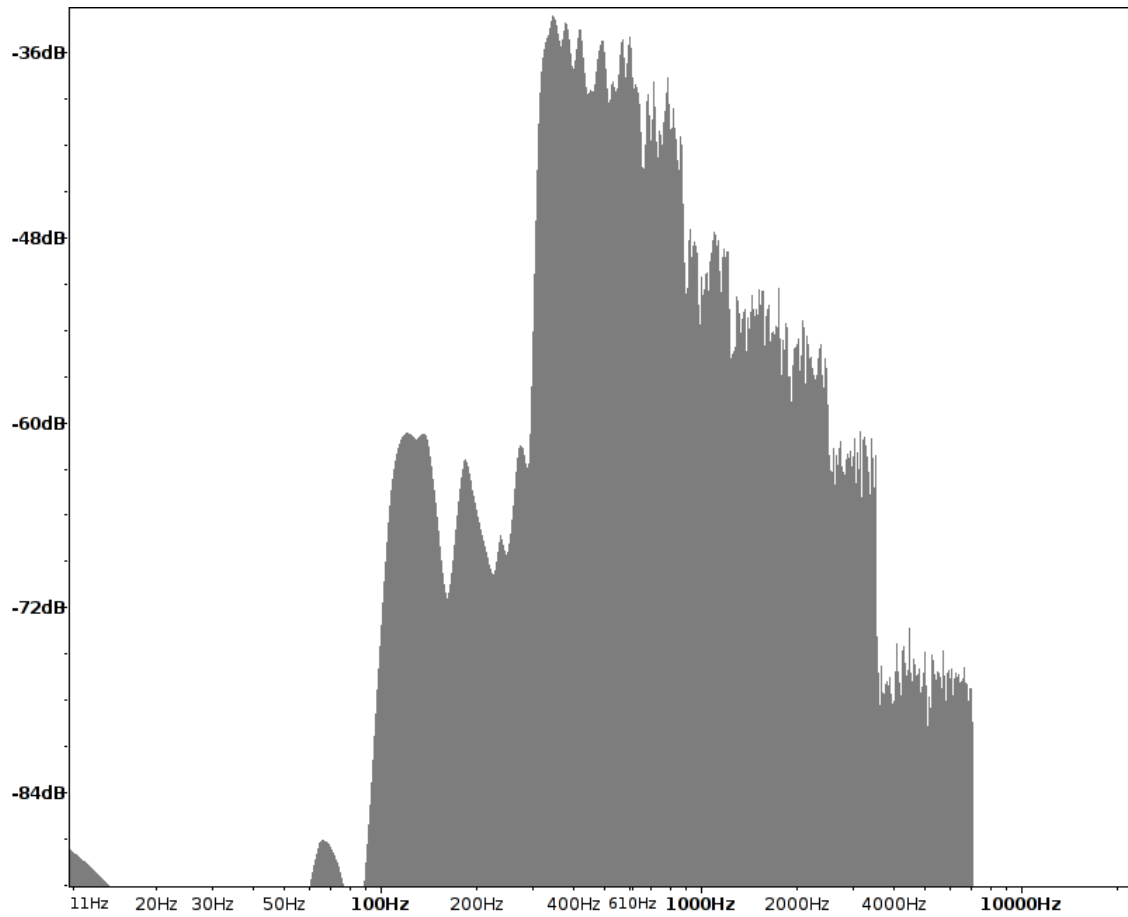


Abbildung D.2: Spektrum des Klavierakkords „L25“: Spektrum des Akkords nach der Reduktion auf 12 Frequenzbänder

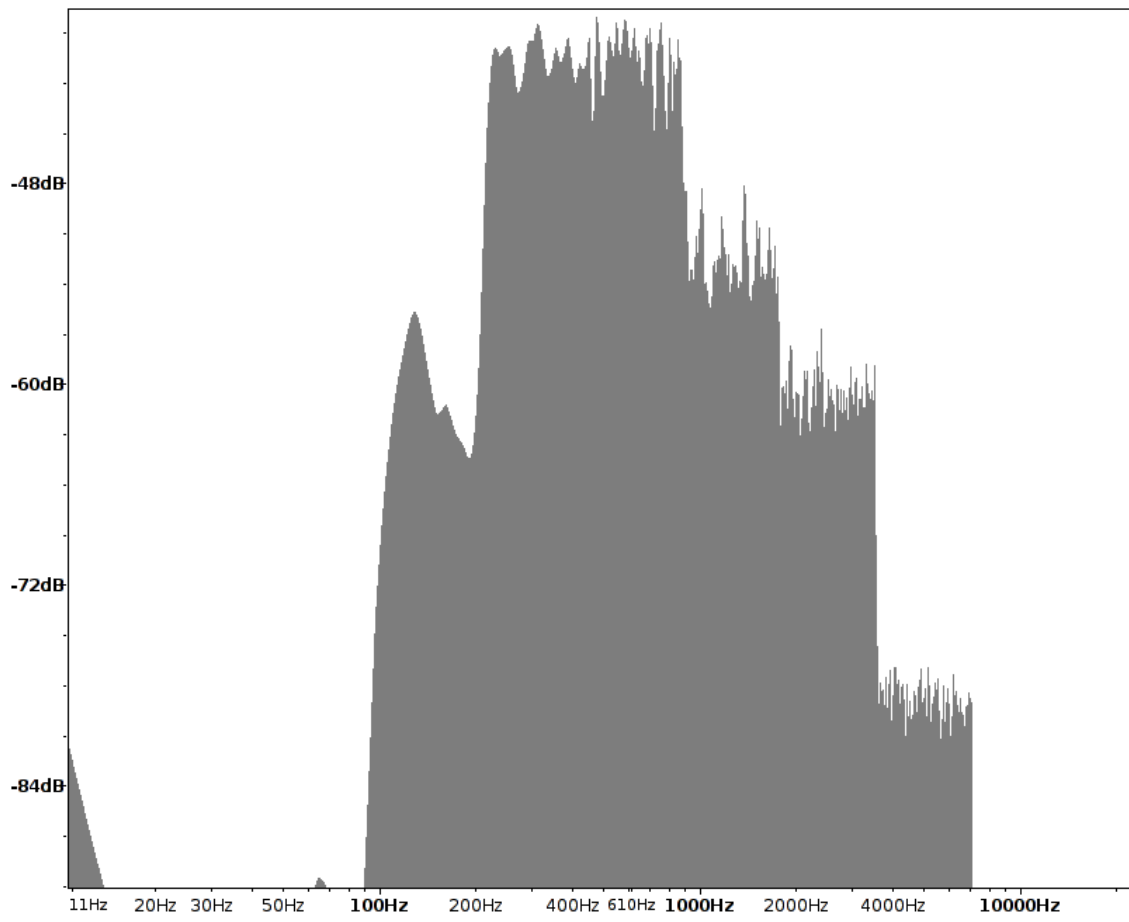


Abbildung D.3: Spektrum des Klavierakkords „L2 5“: Spektrum des Akkords nach der Reduktion auf 6 Frequenzbänder

*D Klavierakkord L25*



## E Dissonanztest: Tabelle zur pythagoräischen Konsonanztheorie

Tabelle E.1: Dissonanztest: Zweiklang, Frequenzverhältnis, Grad der Konsonanz, Klangempfindung

Zweiklang	Frequenzverhältnis	Grad der Konsonanz	Klangempfindung
kleine Sekunde	16/15	15,49	sehr dissonant
große Sekunde	9/8	8,49	dissonant
kleine Terz	6/5	5,48	konsonant („Moll“)
große Terz	5/4	4,47	konsonant („Dur“)
Quarte	4/3	3,46	konsonant
Tritonus	45/32	37,95	sehr dissonant
Quinte	3/2	2,45	sehr konsonant („neutral“)
kleine Sexte	8/5	6,32	konsonant („Moll“)
große Sexte	5/3	3,87	konsonant („Dur“)
kleine Septime	16/9	12,00	dissonant
große Septime	15/8	10,95	dissonant
Oktave	2/1	1,41	sehr konsonant („neutral“)

*E Dissonanztest: Tabelle zur pythagoräischen Konsonanztheorie*

## F Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl (Vertauschungsmatrix)

Tabelle F.1: Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl: Vertauschungsmatrix: Hörkondition A

Hörkondition OR		Anzahl gehört					$\Sigma$
		1	2	3	4	5	
Anzahl angebotener Instrumente	1	23	1	0	0	0	24
	2	0	24	0	0	0	24
	3	0	0	24	0	0	24
	4	0	0	0	24	0	24
	5	0	0	0	8	16	24
$\Sigma$		23	25	24	32	16	120

*F Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl (Vertauschungsmatrix)*

Tabelle F.2: Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl: Vertauschungsmatrix: Hörkondition B

Hörkondition		Anzahl gehört					$\Sigma$
12		1	2	3	4	5	
	1	20	4	0	0	0	24
Anzahl	2	0	22	2	0	0	24
angebotener	3	0	1	22	1	0	24
Instrumente	4	0	0	3	21	0	24
	5	0	0	5	14	5	24
	$\Sigma$	20	27	32	36	5	120

Tabelle F.3: Test zur Bestimmung der Instrumentenanzahl: Vertauschungsmatrix: Hörkondition C

Hörkondition		Anzahl gehört					$\Sigma$
06		1	2	3	4	5	
	1	17	5	2	0	0	24
Anzahl	2	0	17	6	1	0	24
angebotener	3	0	1	21	2	0	24
Instrumente	4	0	1	6	14	3	24
	5	0	0	3	15	6	24
	$\Sigma$	17	24	38	32	9	120

## G Instrumentenerkennungstest (Vertauschungsmatrix)

Tabelle G.1: Instrumentenerkennungstest: Vertauschungsmatrix: Hörkondition A

Hörkondition OR		Gehörtes Instrument										$\Sigma$
		PI	FL	VI	TR	FA	SO	XY	KB	HO	TU	
Angebo- tenes Instru- ment	PI	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72
	FL	0	69	0	0	3	0	0	0	0	0	72
	VI	0	0	71	0	0	0	0	1	0	0	72
	TR	0	0	0	66	1	0	0	0	5	0	72
	FA	0	1	1	1	53	0	0	0	10	6	72
	SO	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	72
	XY	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0	72
	KB	0	0	0	0	0	0	0	71	0	1	72
	HO	0	0	0	15	1	0	0	0	50	6	72
	TU	0	0	0	0	1	0	0	2	4	65	72
	$\Sigma$	72	70	72	82	59	72	72	74	69	78	720

G Instrumentenerkennungstest (Vertauschungsmatrix)

Tabelle G.2: Instrumentenerkennungstest: Vertauschungsmatrix: Hörkondition B

Hörkondition 12		Gehörtes Instrument										$\Sigma$
		PI	FL	VI	TR	FA	SO	XY	KB	HO	TU	
Angebotes- Instru- ment	PI	55	0	0	1	0	0	16	0	0	0	72
	FL	0	44	9	4	5	7	3	0	0	0	72
	VI	1	11	54	0	4	1	0	1	0	0	72
	TR	0	3	9	32	13	7	0	2	6	0	72
	FA	0	3	5	12	27	1	0	4	10	10	72
	SO	0	3	4	2	5	56	0	2	0	0	72
	XY	4	0	0	0	0	0	68	0	0	0	72
	KB	1	0	0	0	3	0	0	58	1	9	72
	HO	0	1	2	15	10	0	0	2	34	8	72
	TU	0	0	0	0	1	0	0	5	4	62	72
$\Sigma$		61	65	83	66	68	72	87	74	55	89	720

Tabelle G.3: Instrumentenerkennungstest: Vertauschungsmatrix: Hörkondition C

Hörkondition 06		Gehörtes Instrument										$\Sigma$
		PI	FL	VI	TR	FA	SO	XY	KB	HO	TU	
Angebotes- Instru- ment	PI	45	2	1	2	4	0	15	1	1	1	72
	FL	0	32	17	9	7	1	4	1	1	0	72
	VI	1	19	45	0	2	4	0	0	1	0	72
	TR	0	27	1	30	10	0	1	0	3	0	72
	FA	0	2	3	8	28	0	0	4	14	13	72
	SO	0	5	10	1	3	50	0	3	0	0	72
	XY	9	0	0	1	0	0	62	0	0	0	72
	KB	0	0	0	0	2	0	0	53	0	17	72
	HO	0	0	2	18	16	0	0	2	29	5	72
	TU	0	0	0	0	1	0	0	2	10	59	72
$\Sigma$		55	87	79	69	73	55	82	66	59	95	720

## H Auswertung des MUMU-Fragebogens: Diagramme

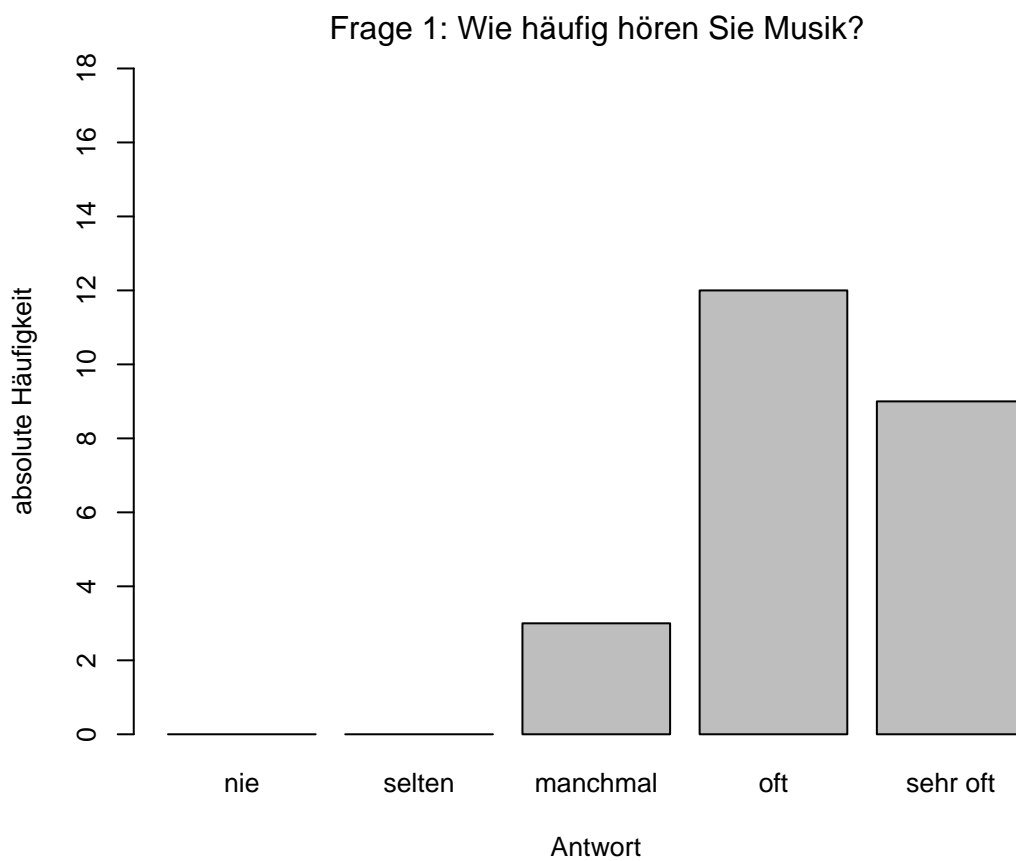


Abbildung H.1: MUMU-Fragebogen Frage 1

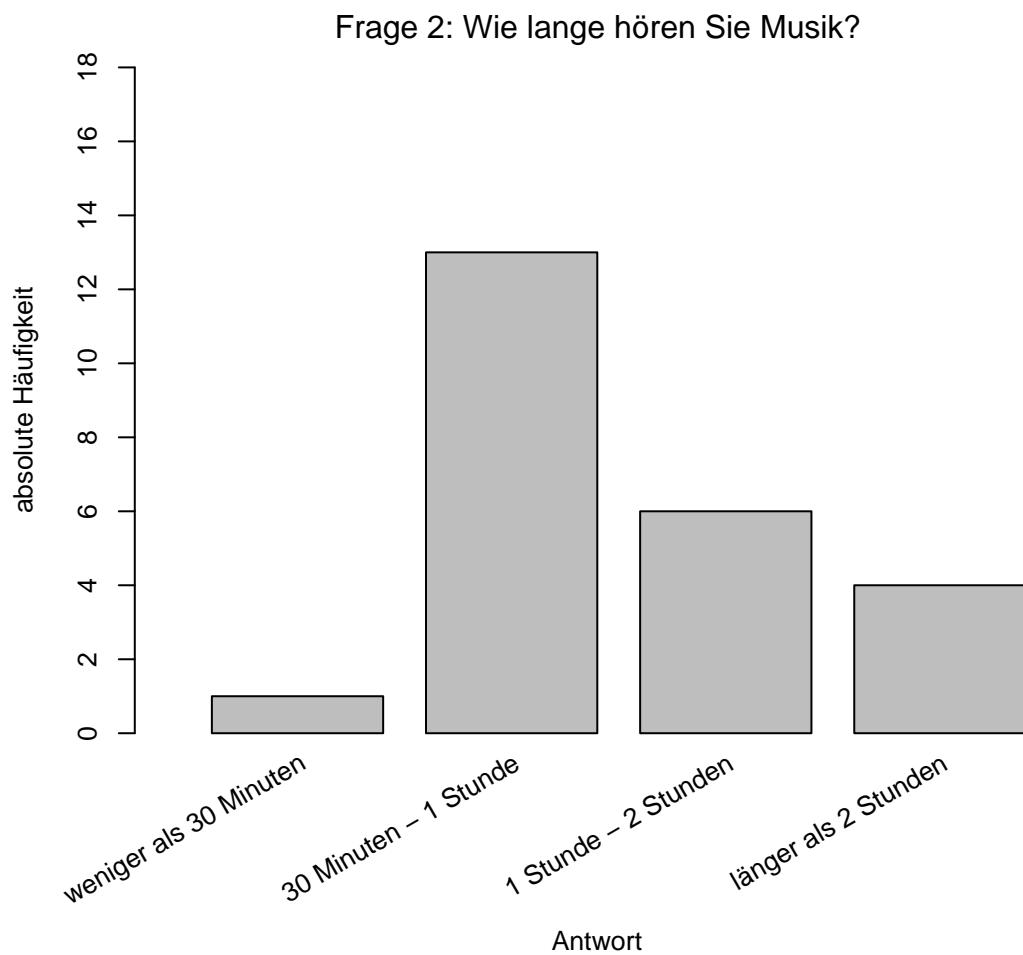


Abbildung H.2: MUMU-Fragebogen Frage 2



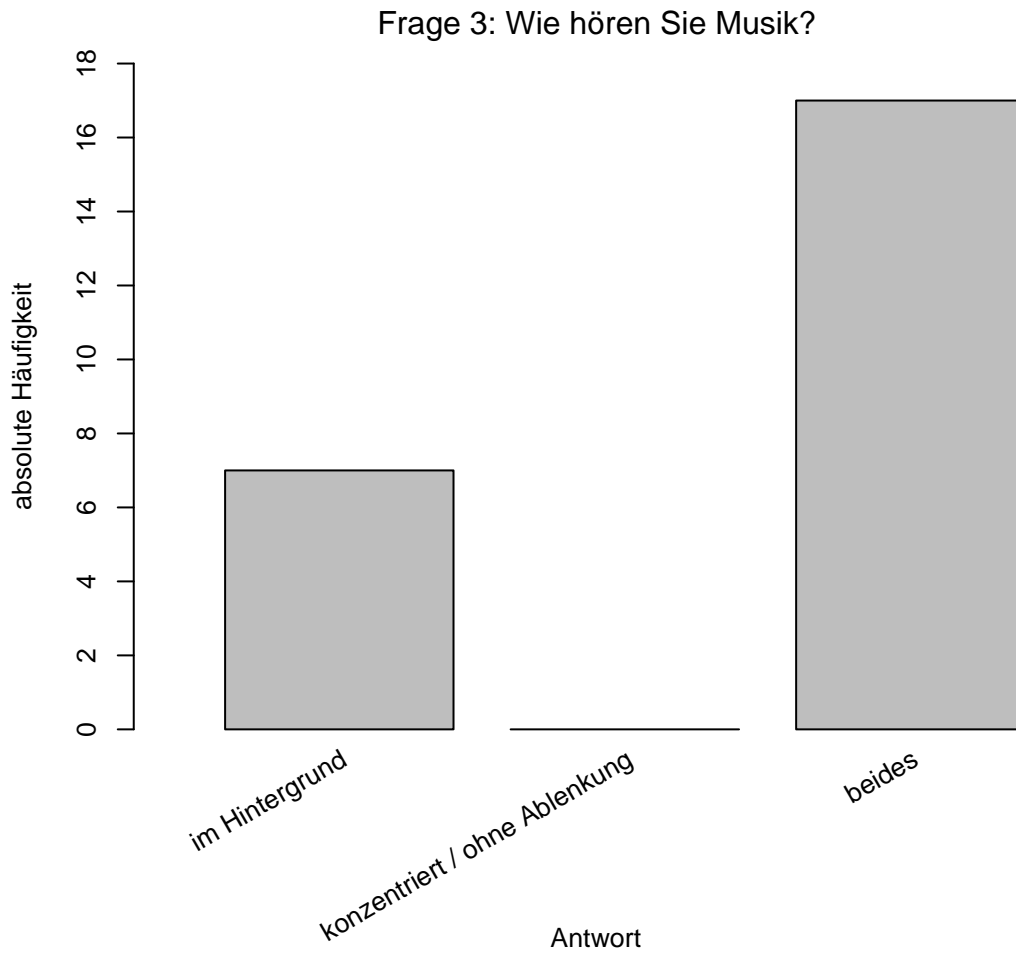


Abbildung H.3: MUMU-Fragebogen Frage 3

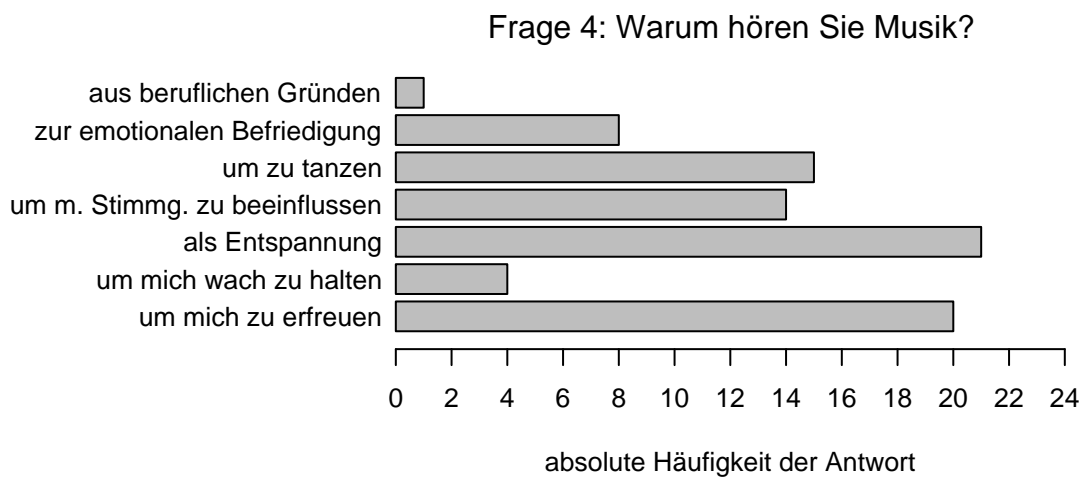


Abbildung H.4: MUMU-Fragebogen Frage 4

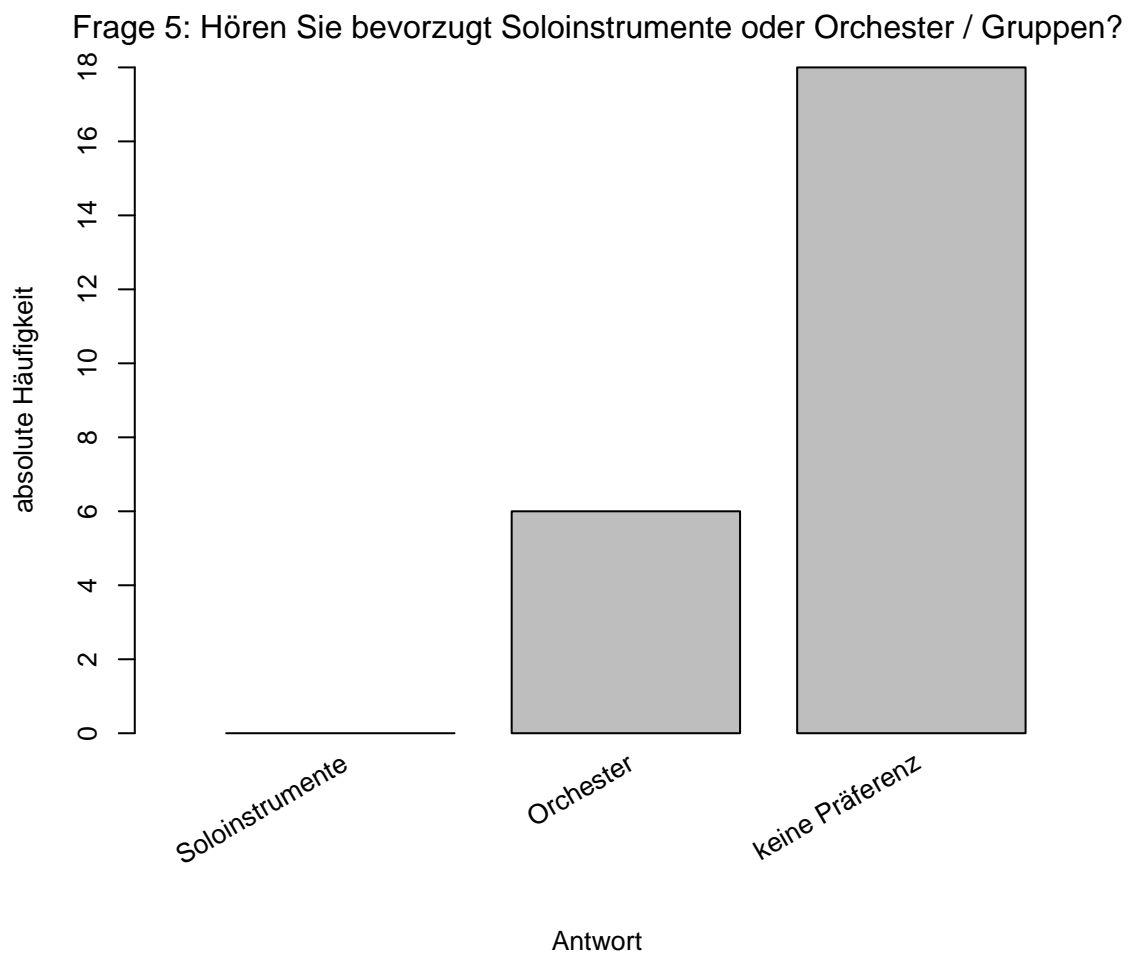


Abbildung H.5: MUMU-Fragebogen Frage 5

### Frage 6: Welche Instrumente kennen Sie?

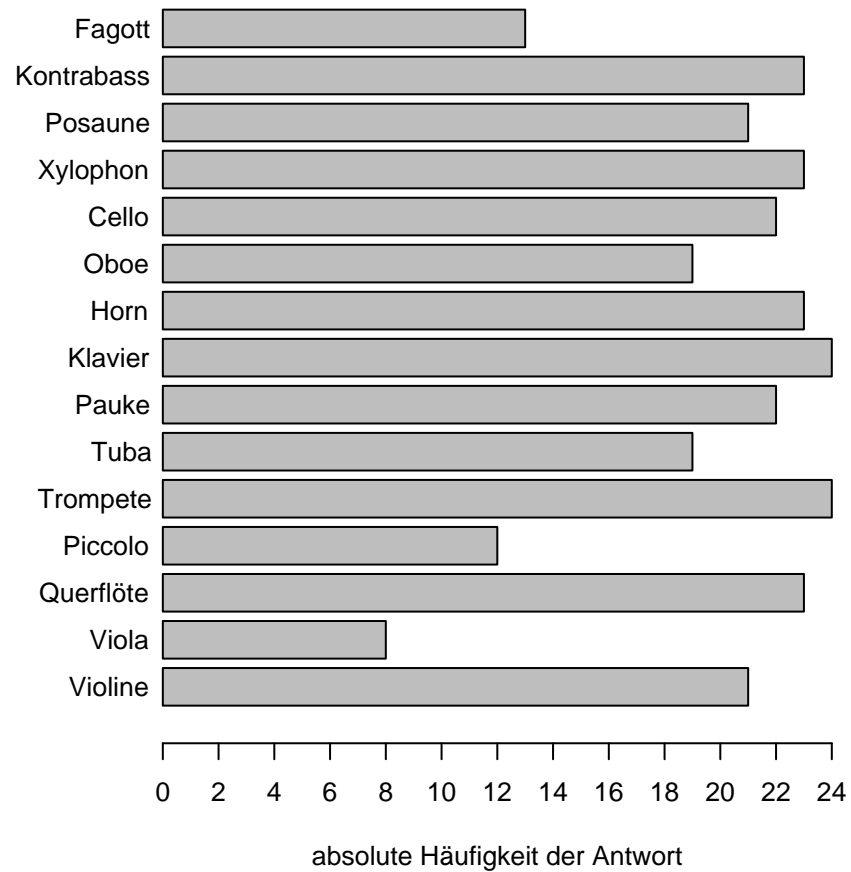


Abbildung H.6: MUMU-Fragebogen Frage 6

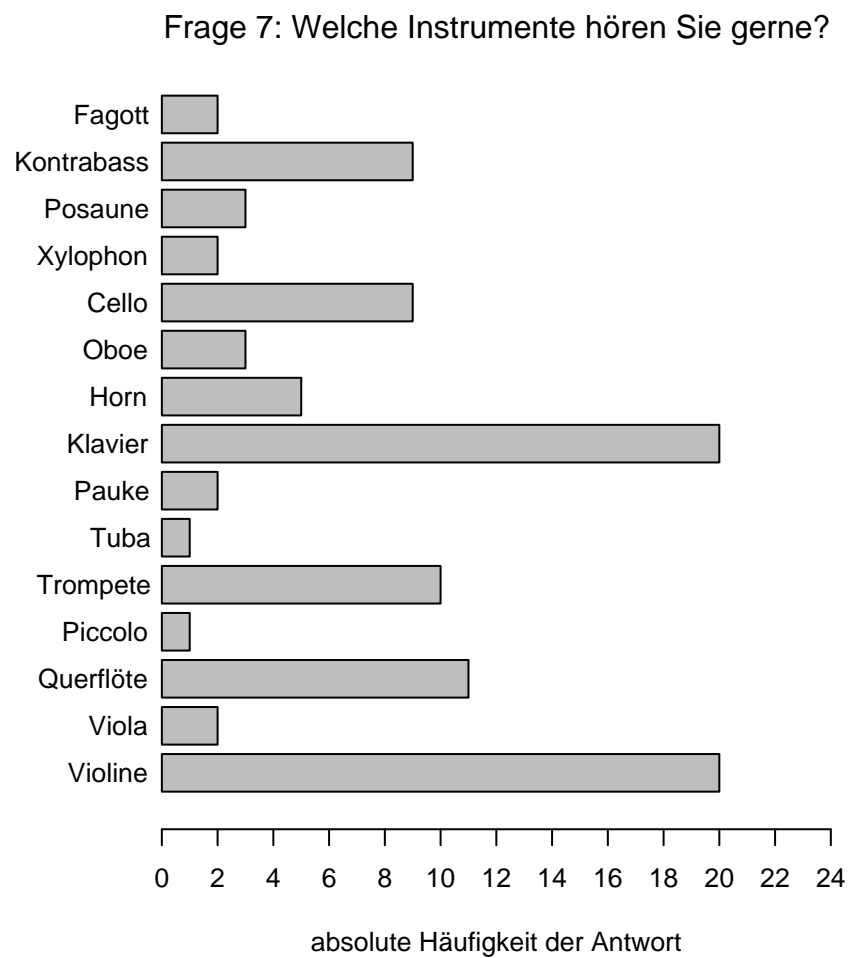


Abbildung H.7: MUMU-Fragebogen Frage 7

### Frage 8: Wo hören Sie Musik?

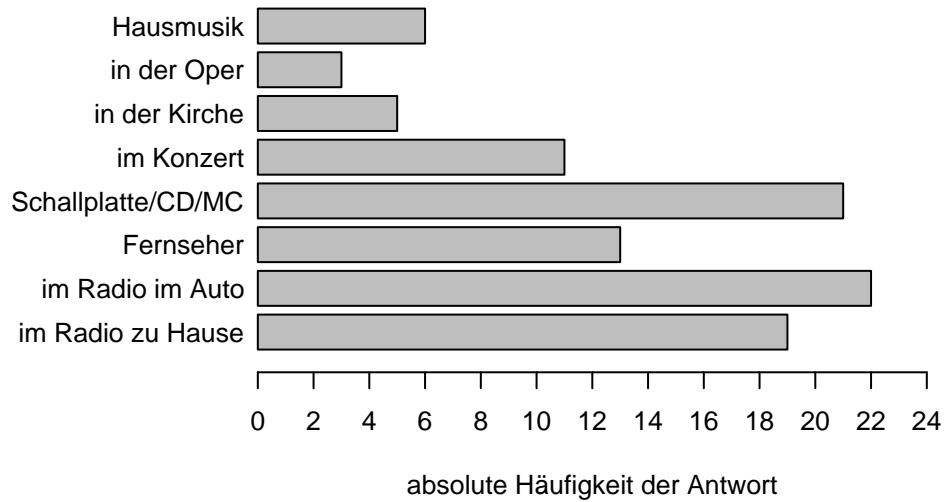


Abbildung H.8: MUMU-Fragebogen Frage 8

### Frage 9: Welche Musikrichtung hören Sie?

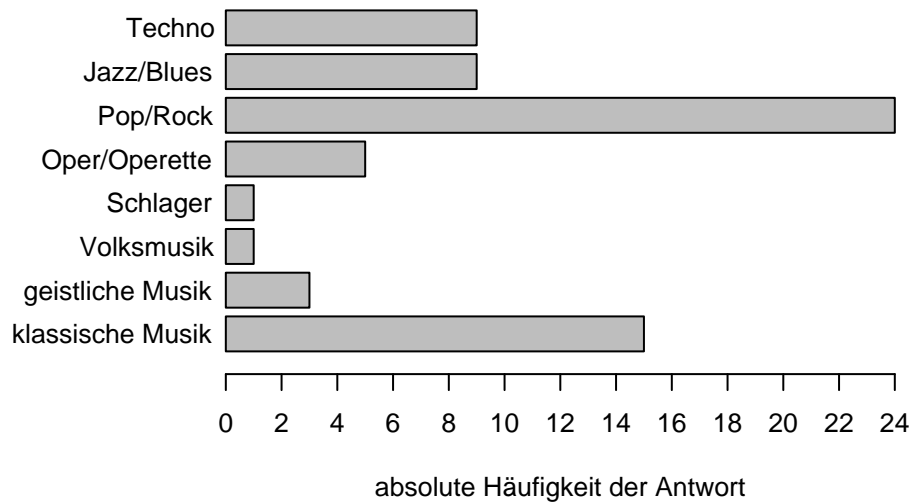


Abbildung H.9: MUMU-Fragebogen Frage 9

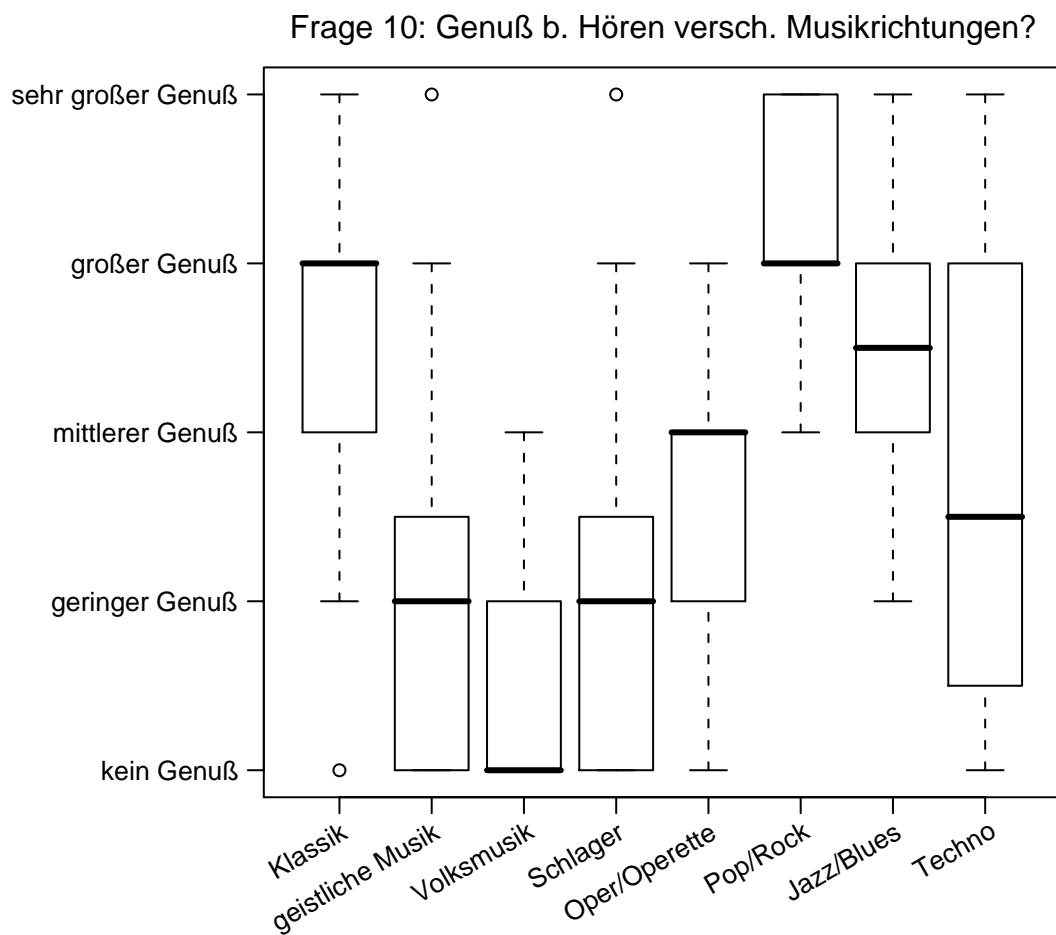


Abbildung H.10: MUMU-Fragebogen Frage 10

Frage 11: Spielen oder spielten Sie ein Instrument?

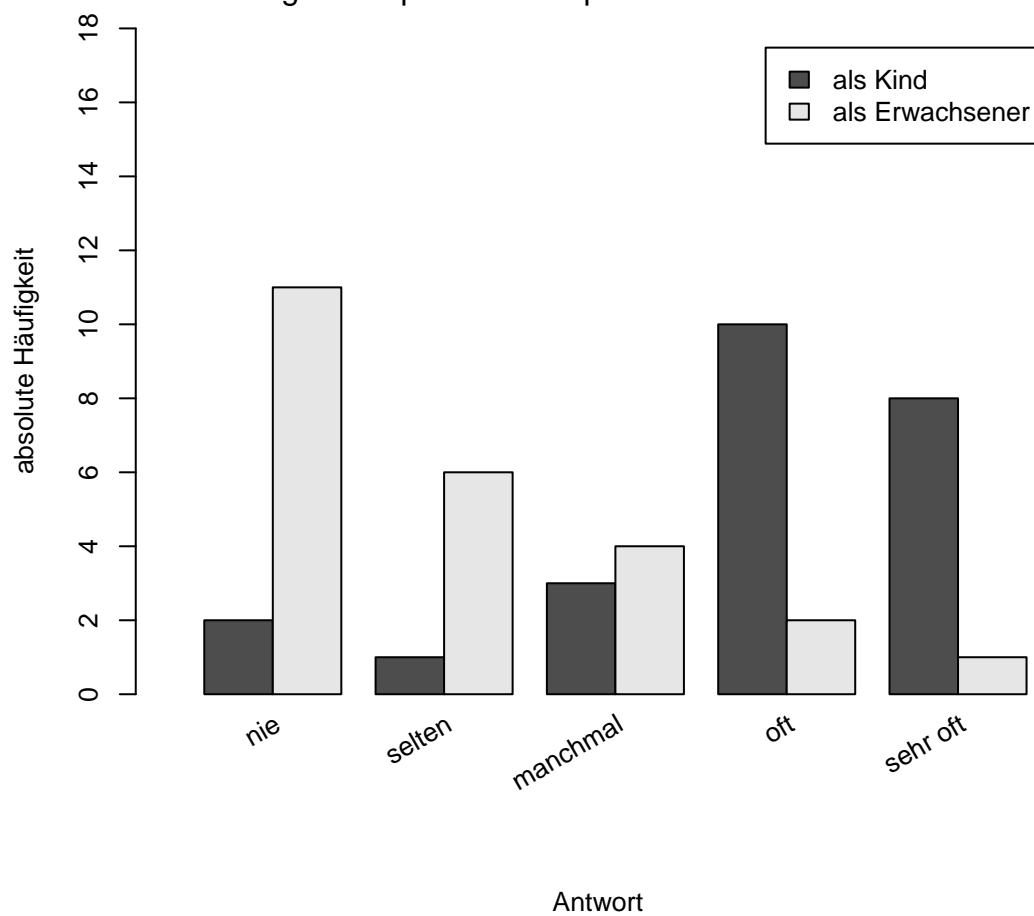


Abbildung H.11: MUMU-Fragebogen Frage 11

Frage 12: Welche Instrumente spielten / spielen Sie?

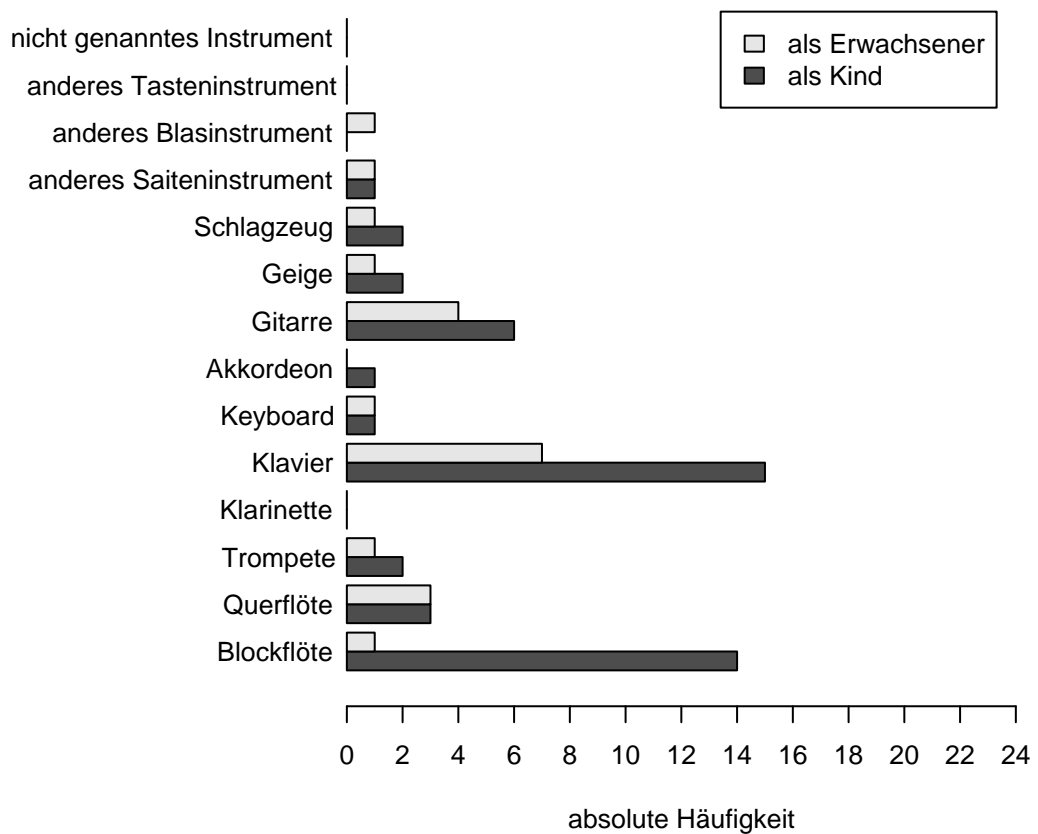


Abbildung H.12: MUMU-Fragebogen Frage 12



Frage 13: Bevorzugen Sie Solosänger oder Gruppen?

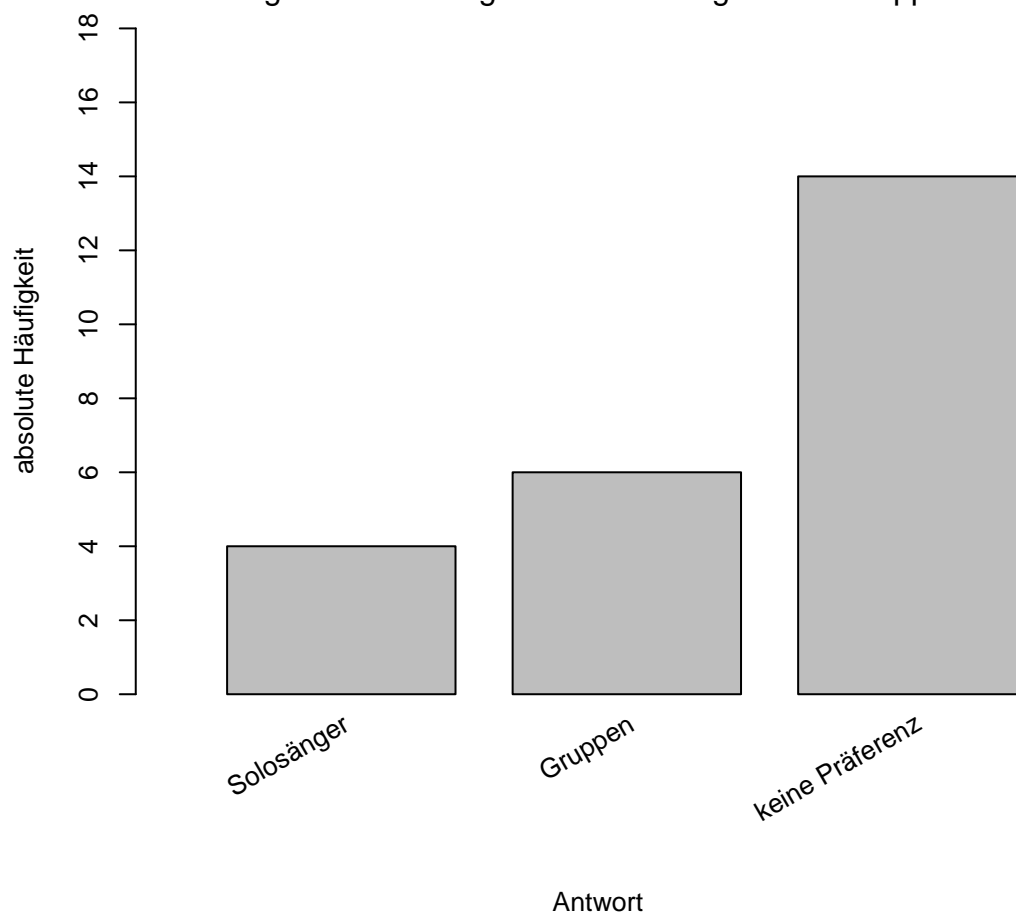


Abbildung H.13: MUMU-Fragebogen Frage 13

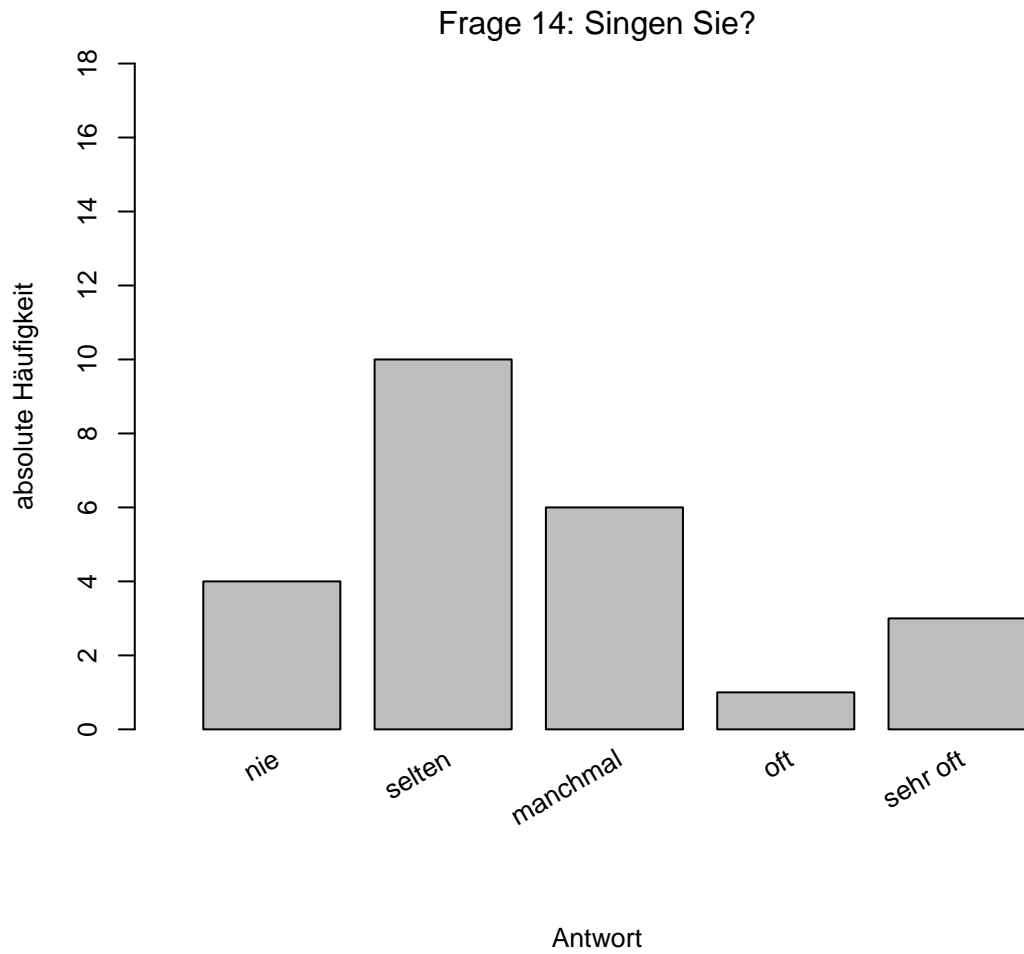


Abbildung H.14: MUMU-Fragebogen Frage 14

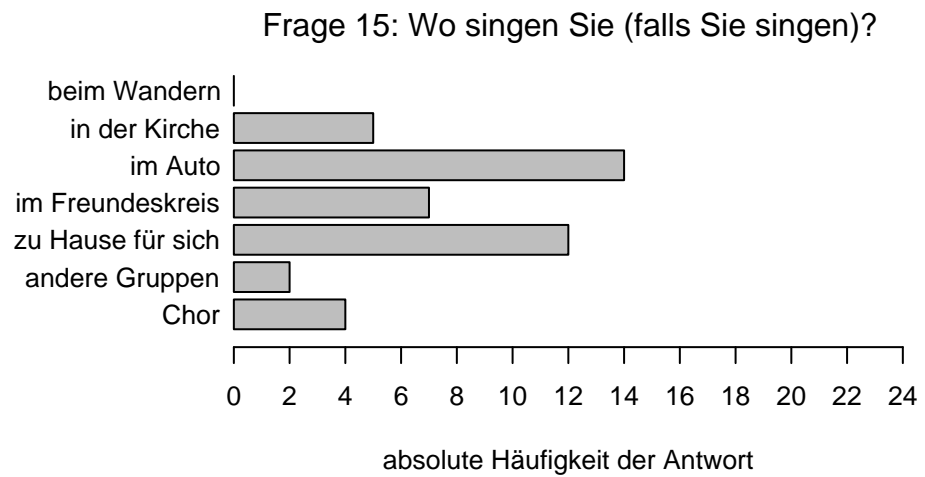


Abbildung H.15: MUMU-Fragebogen Frage 15

Frage 16: Was singen Sie (falls Sie singen)?

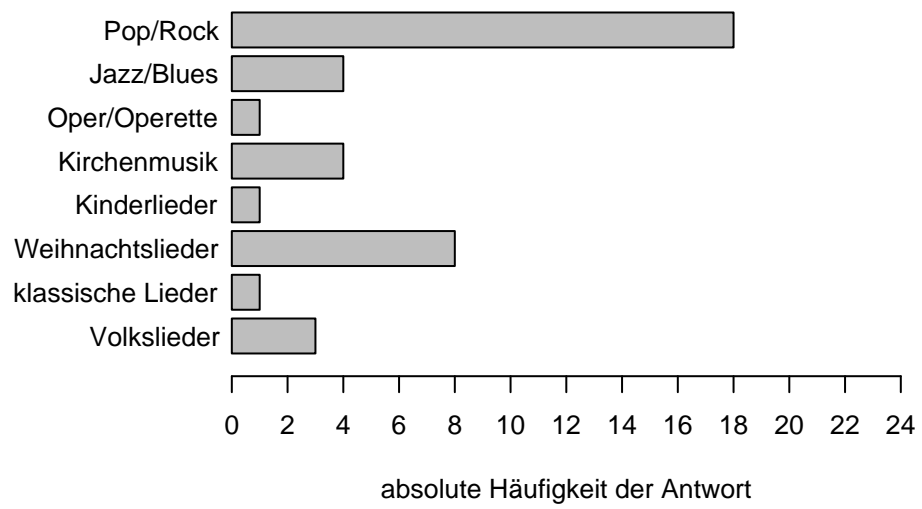


Abbildung H.16: MUMU-Fragebogen Frage 16

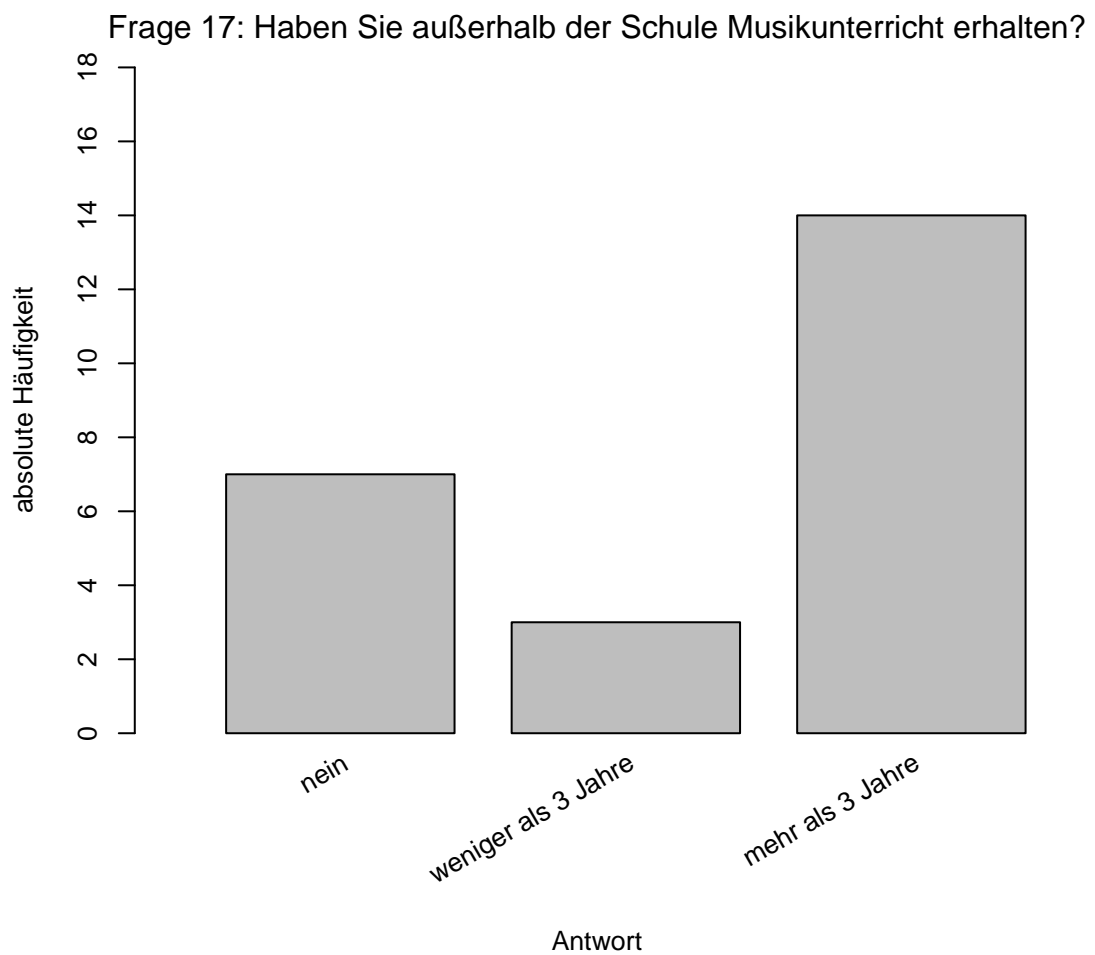


Abbildung H.17: MUMU-Fragebogen Frage 17

Frage 18: Welche Rolle spielt Musik in Ihrem Leben?

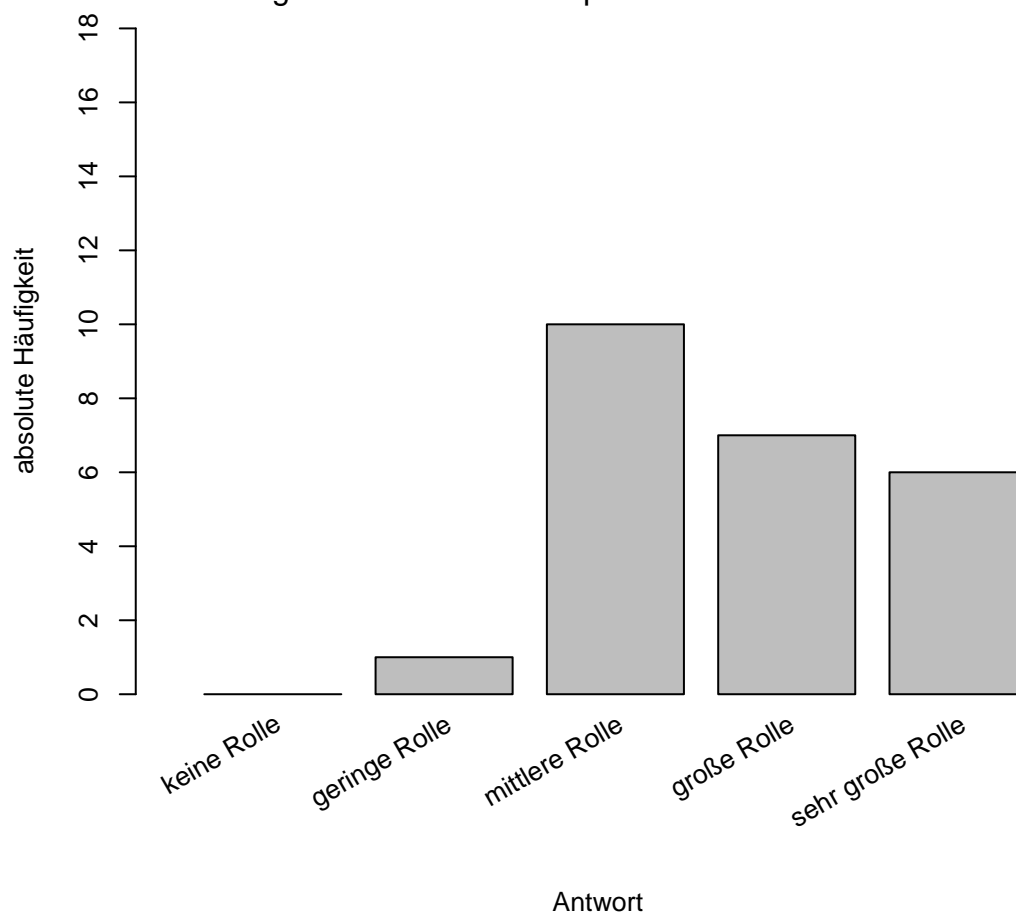


Abbildung H.18: MUMU-Fragebogen Frage 18

## *H Auswertung des MUMU-Fragebogens: Diagramme*

# I Tonaudiogramme der Probanden

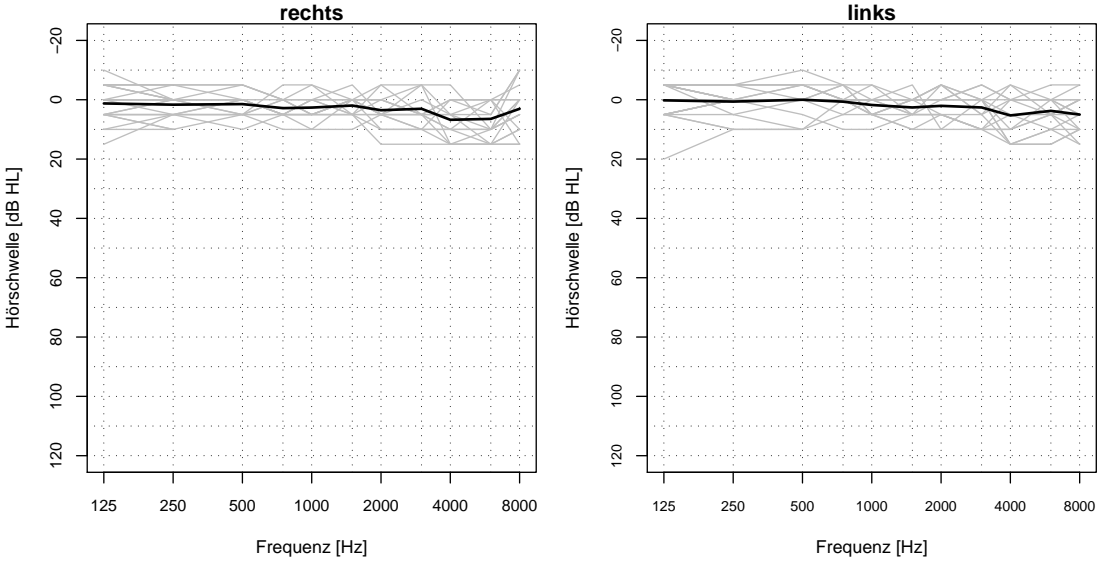


Abbildung I.1: Tonaudiogramme der Probanden (Anzahl der Probanden: 24, überlagert dargestellt; schwarze Linie: Mittelwert)

*I Tonaudiogramme der Probanden*



## Literaturverzeichnis

- Başkent Deniz und Shannon Robert V. Apr 2003. Speech recognition under conditions of frequency-place compression and expansion. *J Acoust Soc Am*, 113(4 Pt 1):2064–2076.
- Brockmeier Stefanie Johanna. 2005. The Mu.S.I.C Test: Results of a Pilot Study. *10th Symposium on Cochlear Implants in Children*, Seite 52.
- Chen Hongbin, Ishihara Yumi Christine, und Zeng Fan-Gang. Jul 2005. Pitch discrimination of patterned electric stimulation. *J Acoust Soc Am*, 118(1):338–345.
- Dahlhaus Carl, Hrsg. *Brockhaus Riemann Musiklexikon*, Bd. 38 von *Digitale Bibliothek*. Directmedia Publishing GmbH, Berlin, 2000.
- Dallas , Hrsg. *10th Symposium on Cochlear Implants in Children*, Dallas, TX, March 2005.
- Dorman M. F. und Loizou P. C. Nov 1997. Speech intelligibility as a function of the number of channels of stimulation for normal-hearing listeners and patients with cochlear implants. *Am J Otol*, 18(6 Suppl):S113–S114.
- Elliott Charles A. 1975. Attacks and releases as factors in instrument identification. *Journal of Research in Music Education*, 23(1):35–40.
- Feldmann H. und Kumpf W. Oct 1988. [listening to music in hearing loss with and without a hearing aid]. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)*, 67(10):489–497.
- Fishman K. E., Shannon R. V., und Slattery W. H. Oct 1997. Speech recognition as a function of the number of electrodes used in the SPEAK cochlear implant speech processor. *J Speech Lang Hear Res*, 40(5):1201–1215.
- Fitzgerald D., Fitzgerald H., Brockmeier S.J., Searle O., Grebenev L., und Nopp P. *User Guide Mu.S.I.C. Perception Test*. H & D Fitzgerald Ltd., May 2006.
- Fitzgerald Heather. 2005. The Mu.S.I.C test: Results for normal hearing people. *10th Symposium on Cochlear Implants in Children*, Seite 51.
- Fujita S. und Ito J. Jul 1999. Ability of nucleus cochlear implantees to recognize music. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 108(7 Pt 1):634–640.
- Gfeller K., Knutson J. F., Woodworth G., Witt S., und DeBus B. Feb 1998. Timbral recognition and appraisal by adult cochlear implant users and normal-hearing adults. *J Am Acad Audiol*, 9(1):1–19.

- Gfeller K., Woodworth G., Robin D. A., Witt S., und Knutson J. F. Jun 1997. Perception of rhythmic and sequential pitch patterns by normally hearing adults and adult cochlear implant users. *Ear Hear*, 18(3):252–260.
- Gfeller Kate, Olszewski Carol, Rychener Marly, Sena Kimberly, Knutson John F, Witt Shelley, und Macpherson Beth. Jun 2005. Recognition of “real-world” musical excerpts by cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Ear Hear*, 26(3):237–250.
- Gfeller Kate, Turner Christopher, Mehr Maureen, Woodworth George, Fearn Robert, Knutson John F, Witt Shelley, und Stordahl Julie. Mar 2002a. Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Cochlear Implants Int*, 3(1):29–53. URL <http://dx.doi.org/10.1002/cii.50>.
- Gfeller Kate, Witt Shelley, Adamek Mary, Mehr Maureen, Rogers Jenny, Stordahl Julie, und Ringgenberg Shelly. Mar 2002b. Effects of training on timbre recognition and appraisal by postlingually deafened cochlear implant recipients. *J Am Acad Audiol*, 13(3):132–145.
- Gfeller Kate, Witt Shelley, Woodworth George, Mehr Maureen A, und Knutson John. Apr 2002c. Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 111(4):349–356.
- Green Tim, Faulkner Andrew, und Rosen Stuart. Nov 2002. Spectral and temporal cues to pitch in noise-excited vocoder simulations of continuous-interleaved-sampling cochlear implants. *J Acoust Soc Am*, 112(5 Pt 1):2155–2164.
- Haumann S., Mühler R., Ziese M., und Specht von H. Aug 2007. Diskrimination musikalischer Tonhöhen bei Patienten mit Kochleaimplantat. *HNO*, 55(8):613–619. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00106-006-1485-5>.
- Kong Ying-Yee, Cruz Rachel, Jones J. Ackland, und Zeng Fan-Gang. Apr 2004. Music perception with temporal cues in acoustic and electric hearing. *Ear Hear*, 25(2):173–185.
- Laneau Johan, Moonen Marc, und Wouters Jan. Jan 2006. Factors affecting the use of noise-band vocoders as acoustic models for pitch perception in cochlear implants. *J Acoust Soc Am*, 119(1):491–506.
- Lassaletta Luis, Castro Alejandro, Bastarrica Marta, Pérez-Mora Rosa, Made-ro Rosario, Sarriá Josefa De, und Gavilán Javier. Jul 2007. Does music perception have an impact on quality of life following cochlear implantation? *Acta Otolaryngol*, 127(7):682–686. URL <http://dx.doi.org/10.1080/00016480601002112>.

- Leal Mariana C, Shin Young Je, Laborde Marie-Laurence, Calmels Marie-Noëlle, Verges Sebastien, Lugardon Stéphanie, Andrieu Sandrine, Deguine Olivier, und Fraysse Bernard. Sep 2003. Music perception in adult cochlear implant recipients. *Acta Otolaryngol*, 123(7):826–835.
- Levitt H. Feb 1971. Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoust Soc Am*, 49(2):Suppl 2:467+.
- Looi Valerie, McDermott Hugh, McKay Colette, und Hickson Louise. Apr 2007. Comparisons of quality ratings for music by cochlear implant and hearing aid users. *Ear Hear*, 28(2 Suppl):59S–61S. URL <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e31803150cb>.
- Looi Valerie, McDermott Hugh, McKay Colette, und Hickson Louise. Jun 2008. Music perception of cochlear implant users compared with that of hearing aid users. *Ear Hear*, 29(3):421–434. URL <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e31816a0d0b>.
- McDermott Hugh. 2005. Perceiving melody remains challenging for implant wearers. *Hear J*, 58:65–74.
- McDermott Hugh J. 2004. Music perception with cochlear implants: a review. *Trends Amplif*, 8(2):49–82.
- MED-EL Medical Electronics . *PULSARci100 COCHLEAR IMPLANT*. MED-EL Elektromedizinische Geräte GmbH, Fürstenweg 77a, A-6020 Innsbruck, Österreich. URL <http://www.medel.com>.
- Michels Ulrich. *dtv-Atlas Musik*, Bd. 1. Deutscher Taschenbuch Verlag, 2005.
- Pickles James O. *An Introduction to the Physiology of Hearing*. Emerald Group Publishing, 3rd edition Ausgabe, 2008.
- Sachs Lothar und Hedderich Jürgen. *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R*. Springer-Verlag, Berlin, 13. Ausgabe, 2009.
- Saldanha E. L. und Corso John F. 1964. Timbre Cues and the Identification of Musical Instruments. *J Acoust Soc Am*, 36:2021–2026.
- Schatzer Reinhold, Wilson Blake, Wolford Robert, und Lawson Dewey. Sixth Quarterly Progress Report – Speech Processors for Auditory Prosthesis. Technischer Bericht 6, RTI Center for Auditory Prosthesis Research, July 1 through September 30 2003. URL <http://www.rti.org/reports/capr/N01-DC-2-1002QPR06.pdf>.
- Schulz Eckhard und Kerber Martin. Music perception with the Med-El implants. In *Advances in Cochlear Implants. Proceedings of the 3rd International Cochlear Implant Conference Innsbruck, Austria, 4.-7.4.1993*, Seiten 326–332, Wien, 1994. Manz.

## Literaturverzeichnis

- Shannon R. V., Zeng F. G., Kamath V., Wygonski J., und Ekelid M. Oct 1995. Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*, 270(5234):303–304.
- Sucher Catherine M und McDermott Hugh J. Aug 2007. Pitch ranking of complex tones by normally hearing subjects and cochlear implant users. *Hear Res*, 230 (1-2):80–87. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2007.05.002>.
- The R Development Core Team . *R: A Language and Environment for Statistical Computing, Reference Index*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2.6.2 Ausgabe, 02 2008. ISBN 3-900051-07-0.
- Veekmans K., Ressel L., Mueller J., Vischer M., und Brockmeier S. J. 2009. Comparison of music perception in bilateral and unilateral cochlear implant users and normal-hearing subjects. *Audiol Neurootol*, 14(5):315–326. URL <http://dx.doi.org/10.1159/000212111>.
- Veekmans Kim. 2005. Comparison of music perception in bilateral and unilateral implant users. *10th Symposium on Cochlear Implants in Children*, Seite 52.
- Westra GmbH . *Gerätebeschreibung für das Sprachaudiometer CAD 03/1*.
- Wilson B. S., Finley C. C., Lawson D. T., Wolford R. D., Eddington D. K., und Rabinowitz W. M. Jul 1991. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature*, 352(6332):236–238. URL <http://dx.doi.org/10.1038/352236a0>.

## Danksagung

Herrn Prof. Dr. Jan Helms, dem ehemaligen Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Würzburg, Herrn Prof. Dr. Rudolf Hagen, dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg und Herrn Prof. Dr. Joachim Müller, Leiter der Cochleaimplantationsabteilung der HNO-Klinik der Universität Würzburg bin ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit zu besonderem Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. Joachim Müller und Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke danke ich für die Übernahme des Referats und des Korreferats.

Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill danke ich für die Vergabe des Dissertationsthemas und für die Begleitung und sehr gute Betreuung in allen Belangen und während aller Phasen der Arbeit. Nur mit seiner Hilfe war es mir möglich, die technischen Schwierigkeiten bei der Vorbereitung der Messungen am Probanden zu bewältigen sowie die umfangreichen Ergebnisse auszuwerten und zu interpretieren.

Frau Dr. Wilma Harnisch und Herrn Dr. Stefan Kaulitz danke ich für die vielseitigen Hilfestellungen bei Literatursuche und speziellen musikalischen Fragen.

Frau Isabell Fraulob danke ich für die Hilfe bei der Untersuchung der Nebengruppe.

Allen Mitarbeitern der Abteilung für Cochlea-Implantate danke ich für die Unterstützung.

Zu besonderem Dank bin ich allen Probanden verpflichtet, die viel Zeit investierten und viel Geduld während der Versuche bewiesen haben.

## *Danksagung*

## Lebenslauf

Name: Johannes Plank  
Geboren am: 05. November 1980  
In: Kösching  
Konfession: römisch-katholisch  
Familienstand: ledig

### Schulbildung:

1986 - 1990 Grundschule Auf der Schanz in Ingolstadt  
1990 - 1996 Reuchlingymnasium Ingolstadt  
1996 - 2001 Benediktinergymnasium Ettal  
06/2001 Abitur

### Berufsbildung:

#### Studium der Zahnmedizin, Universität Tübingen und Universität Würzburg

2001 - 2004 Vorklinisches Studium (Univ. Tübingen)  
03/2002 Vorphysikum (Univ. Tübingen)  
05/2004 Zahnärztliche Vorprüfung (Univ. Tübingen)  
2004 - 2007 Klinisches Studium (Univ. Würzburg)  
11/2007 Staatsexamen (Univ. Würzburg)

### Berufsausübung:

05/2008 Stelle als Ausbildungsassistent bei Dr. Klaus Regner in Waging am See  
05/2009 Stelle als Ausbildungsassistent bei Dr. Josef Plank in Ingolstadt