

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Untersuchungen zur Perzeption musikalischer Parameter von  
Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000  
im Vergleich zu normalhörenden Probanden

**Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von

Luisa Kunkel

aus

Beckendorf-Neindorf

Magdeburg

2014

## Bibliografische Beschreibung

Kunkel, Luisa

Untersuchungen zur Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000 im Vergleich zu normalhörenden Probanden.  
- 2014, 95 Bl., 25 Abb., 11 Tab., 3 Anl.

## Kurzreferat

Die vorliegende Arbeit untersucht die Perzeption musikalischer Parameter von 24 Cochlea-Implantat-Trägern im Vergleich zu 23 altersgematchten normalhörenden Probanden. Alle 47 Probanden absolvierten die Züricher Musiktestbatterie MACarena. Diese analysiert das Erkennen von Musikinstrumenten, Melodiekonturen, harmonischen Akkorden sowie die Wahrnehmung von Tonhöhenunterschieden. Anschließend erfolgte bei 14 Cochlea-Implantat-Trägern eine Umstellung der Sprachkodierungsstrategie. Die zuvor genutzte Sprachkodierungsstrategie ACE wurde auf die technisch neuere Sprachkodierungsstrategie MP3000 umgestellt. Nach einer Eingewöhnungszeit von mindestens 30 Tagen absolvierten diese 14 Cochlea-Implantat-Träger ein weiteres Mal die Musikhörtests mit MP3000. Eine Anpassung des Sprachprozessors des Cochlea-Implantats oder ein Training erfolgten in diesem Zeitraum nicht. Des Weiteren wurden die Musikhörgewohnheiten aller Probanden mittels eines Fragebogens erfasst.

Wir konnten zeigen, dass Cochlea-Implantat-Träger alle untersuchten musikalischen Parameter schlechter wahrnahmen als normalhörende Probanden. Ein genereller Einfluss der Sprachkodierungsstrategie auf die Musikwahrnehmung konnte nicht nachgewiesen werden, jedoch konnten CI-Träger einige musikalische Parameter mit MP3000 schlechter wahrnehmen als mit ACE. Wir konnten ebenfalls keinen Einfluss der Musikhörgewohnheiten auf die Wahrnehmung der untersuchten Parameter zeigen.

Eine längere Eingewöhnungszeit mit MP3000 sowie eine Anpassung der Sprachprozessoren an den veränderten Höreindruck könnten neben einem strukturierten Musikhörtraining die Perzeption der in unserer Studie untersuchten Fertigkeiten und das reale Musikhörvermögen verbessern.

## **Schlüsselwörter**

Cochlea-Implantat, Sprachkodierungsstrategie, ACE, MP3000, Musikwahrnehmung

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b> .....	1
1.1. Grundlagen.....	2
1.1.1. Anatomie des Ohres .....	2
1.1.2. Physiologie des Ohres .....	4
1.1.3. Zentrale Hörbahn und Hörrinde .....	5
1.2. Hörstörungen .....	6
1.2.1. Schalleitungsschwerhörigkeit .....	7
1.2.2. Schallempfindungsschwerhörigkeit .....	7
1.3. Therapieoptionen von Hörstörungen .....	8
1.3.1. Hörgeräteversorgung .....	8
1.3.2. Das Cochlea-Implantat.....	9
1.3.2.1. Funktion des Cochlea-Implantats .....	9
1.3.2.2. Indikation für die Implantation eines Cochlea-Implantats.....	11
1.4. Problemstellung.....	14
<b>2. Material und Methoden</b> .....	15
2.1. Probanden.....	15
2.1.1. Cochlea-Implantat-Träger .....	15
2.1.2. Normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe .....	17
2.2. Messzeitraum und Durchführung .....	17
2.3. Messinventar .....	18
2.4. Methoden .....	19
2.4.1. Musikwahrnehmungstests.....	19
2.4.2. Fragebogen zu den Musikhörgewohnheiten.....	22
2.4.3. Datenarchivierung .....	22
2.4.4. Statistische Methoden .....	22
<b>3. Ergebnisse</b> .....	23
3.1. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern im Vergleich zu normalhörenden Probanden .....	23
3.1.1. Erkennen von Musikinstrumenten .....	23
3.1.2. Erkennen von Melodiekonturen .....	25
3.1.3. Erkennen von harmonischen Akkorden .....	27
3.1.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden .....	28
3.1.5. Musikalische Ausbildung, Hörgewohnheiten und Zufriedenheit mit dem Musikhören .....	32

3.2. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000 .....	35
3.2.1. Erkennen von Musikinstrumenten .....	35
3.2.2. Erkennen von Melodiekonturen .....	37
3.2.3. Erkennen von harmonischen Akkorden .....	38
3.2.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden .....	39
3.3. Geschlechtsspezifische Unterschiede der Perzeption musikalischer Parameter .....	41
3.3.1. Erkennen von Musikinstrumenten .....	41
3.3.2. Erkennen von Melodiekonturen .....	42
3.3.3. Erkennen von harmonischen Akkorden .....	43
3.3.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden .....	43
3.4. Altersabhängigkeit der Perzeption musikalischer Parameter .....	44
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>45</b>
4.1. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern im Vergleich zu normalhörenden Probanden .....	45
4.1.1. Erkennen von Musikinstrumenten .....	45
4.1.2. Erkennen von Melodiekonturen .....	46
4.1.3. Erkennen von harmonischen Akkorden .....	48
4.1.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden .....	49
4.2. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000 .....	51
4.3. Einflussfaktoren auf die Perzeption musikalischer Parameter .....	54
4.3.1. Musikalische Ausbildung, Hörgewohnheiten und Zufriedenheit mit dem Musikhören .....	54
4.3.2. Effekt des Trainings .....	55
4.3.3. Alter und Geschlecht der Probanden .....	57
4.3.4. Restgehör, bimodale und binaurale Cochlea-Implantat-Versorgung .....	58
4.4. Fazit .....	59
<b>5. Zusammenfassung</b> .....	<b>60</b>
<b>6. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>61</b>
<b>7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>67</b>
<b>8. Danksagungen</b> .....	<b>70</b>
<b>9. Ehrenerklärung</b> .....	<b>71</b>
<b>10. Darstellung des Bildungsweges</b> .....	<b>72</b>
<b>11. Anlagen</b> .....	<b>73</b>

## Abkürzungsverzeichnis

CI	Cochlea-Implantat
ACE	Advanced Combination Encoder- Sprachkodierungsstrategie
MP3000	an das MP3-Komprimierungsverfahren angelehnte Sprachkodierungsstrategie
N.	Nervus
Ncl.	Nucleus
Ncll.	Nuclei
dB	Dezibel- Maßeinheit des Schalldruckpegels
M	Gesamtzahl der Frequenzbänder
N	Anzahl der ausgewählten Frequenzbänder
Hz	Hertz- Maßeinheit der Frequenz
Pps	Pulse pro Sekunde
FS4	Sprachkodierungsstrategie des Cochlea-Implantat Herstellers Med-El
CSSS	Channel-Specific Sampling Sequences
MW	Mittelwert
SD	Standardabweichung
w	weiblich
m	männlich
HTS	Halbtonschritt
BERA	Brainstem Evoked Response Audiometry
HdO	hinter dem Ohr
IdO	in dem Ohr
EEG	Elektroenzephalografie

### 1. Einführung

Die persönliche Bedeutung des Hörens wird zumeist erst bewusst, wenn diese Sinnesfunktion gestört ist. Die sozialen Auswirkungen eines Hörverlusts können heutzutage durch technische Systeme wie Hörgeräte und implantierbare Hörsysteme gut kompensiert werden und hörgeschädigten Menschen eine gute bis sehr gute Sprachwahrnehmung ermöglichen. Die Betroffenen tolerieren die Folgen eines Hörverlusts auf die Musikwahrnehmung meist weniger gut. Besonders beeinträchtigt wird die Perzeption musikalischer Parameter bei bis an Taubheit grenzender Schwerhörigkeit. In diesem Fall ist die Versorgung mit einem Cochlea-Implantat (CI) eine therapeutische Option zur Rehabilitation des Hörvermögens. Brockmeier und Gfeller et al. gaben an, dass CI-Träger Musik im Alltag seltener hören als vor ihrer Ertaubung und dass der Hörgenuss für einen Teil der CI-Träger wenig befriedigend sei [9, 25]. Laneau et al. sowie Drennan und Rubenstien berichteten von einer inadäquaten Musikwahrnehmung mit dem CI und einer besonders eingeschränkten Wahrnehmung von Tonhöhen und Klängen trotz moderner technischer Versorgung und nach erfolgter Hörrehabilitation [47, 17]. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass CI-Träger Musik generell schlechter wahrnehmen als Personen mit normalem Hörvermögen [7, 19, 20, 21, 27, 31, 37, 38, 41, 51, 57, 68].

Die Entwicklungen in der Cochlea-Implantat-Versorgung betreffen sowohl die Sprachprozessoren als auch das Design und sollen den Tragekomfort und das Hörvermögen der CI-Träger verbessern. Zur Kodierung des Schalls in elektrische Signale stehen verschiedene Strategien unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung, die sich in technischen Details voneinander unterscheiden.

Die bisher von CI-Trägern mit Implantaten des Herstellers Cochlear genutzte Sprachkodierungsstrategie Advanced Combination Encoder (ACE) wurde in den 90er Jahren etabliert. Die technisch neuere Sprachkodierungsstrategie MP3000 ist mit ACE verwandt und wurde 2005 von Noguiera et al. entwickelt [58]. MP3000 nutzt andere Auswahlkriterien für die Bearbeitung akustischer Information und überträgt den Schall anhand eines psychoakustischen Modells, welches an das natürliche Hören angelehnt ist.

Bisher liegen von anderen Autoren nur wenige Studien über das Musikhören mit MP3000 vor [12, 13, 14, 45, 55]. Diese untersuchten mit einer geringen Anzahl an Probanden vor allem den Einfluss der Anzahl der Maxima auf die Perzeption einzelner musikalischer Parameter und konnten zeigen, dass die Musikwahrnehmung mit MP3000 gegenüber ACE verbessert werden kann [13, 14, 45].

## 1. Einführung

Andere Studien zeigten eine bessere Wahrnehmung von sprachlicher Information mit MP3000 unter verschiedenen Hörbedingungen [2, 3, 11, 39, 70].

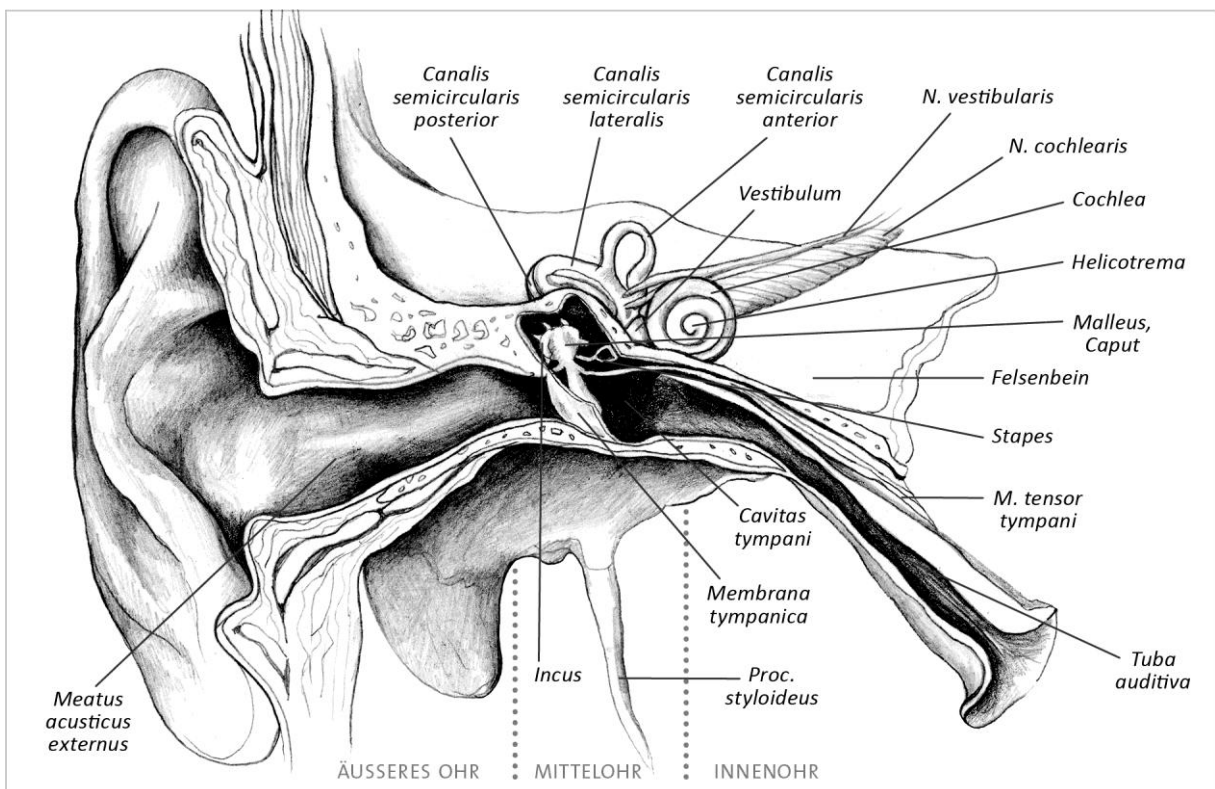
Eine vergleichende Untersuchung von normalhörenden Personen und CI-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000, die verschiedene musikalische Parameter wie das Erkennen von Musikinstrumenten, Melodiekonturen, harmonischen Akkorden sowie von Tonhöhenunterschieden mit einer größeren Anzahl an Probanden untersucht, liegt bisher noch nicht vor.

Zur Wertung der Ergebnisse sollten auch persönliche Parameter der CI-Träger, wie die musikalische Vorbildung, die Musikhörgewohnheiten und die Tragedauer des CIs berücksichtigt werden.

### 1.1. Grundlagen

#### 1.1.1. Anatomie des Ohres

Das Ohr kann funktionell und anatomisch in drei Teile untergliedert werden: in das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr (siehe Abb. 1).



**Abb. 1:** Das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr © Theresa Grieben angelehnt an: Prometheus LernAtlas der Anatomie. p.136 a. 3. Auflage. Georg Thieme Verlag. Stuttgart 2012

## 1. Einführung

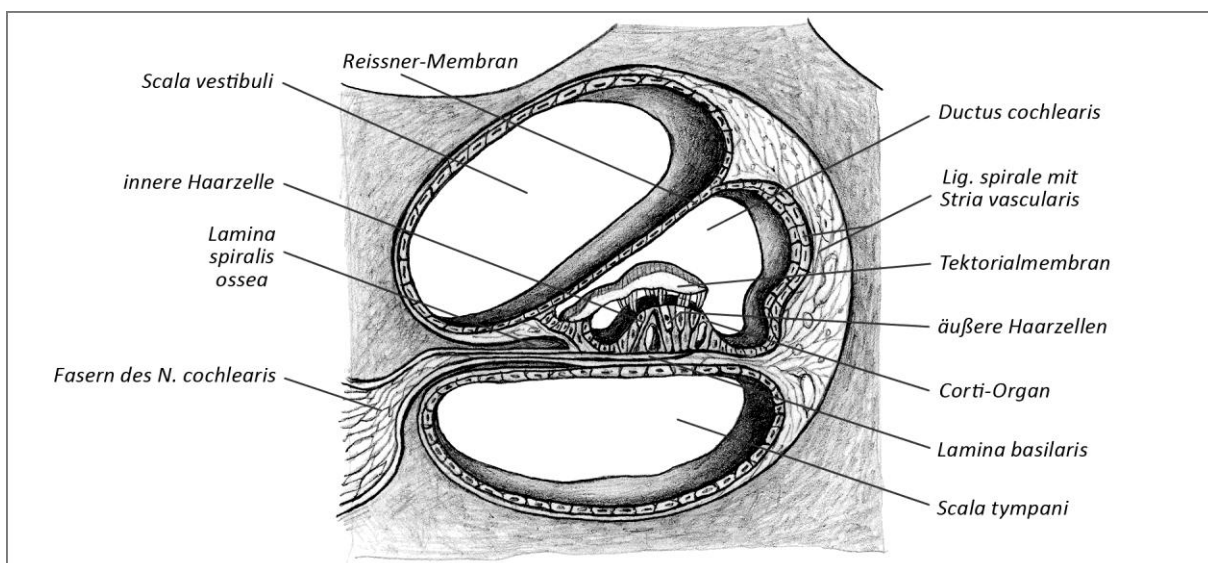
Das äußere Ohr besteht aus der knorpeligen Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang. Der Meatus acusticus externus ist ein Tunnel durch das Os temporale und wird medial durch das Trommelfell, der Membrana tympanica, vom Mittelohr abgegrenzt. Das Mittelohr ist aus lufthaltigen, miteinander kommunizierenden Hohlräumen aufgebaut. Die Cavitas tympani besitzt oberhalb und unterhalb des Trommelfells zwei Recessus und hat außerdem eine Verbindung zum Antrum mastoideum und den darin enthaltenen luftgefüllten Cellulae mastoideae. Über eine Öffnung des Cavum tympani zur Tuba auditiva besteht Kontakt zum Epipharynx. Zusätzlich befinden sich in diesem luftgefüllten Hohlraum die Chorda tympani und Schleimhautfalten. Die im Mittelohr enthaltenen Ossikel sind in einer Kette über ein synoviales Gelenk verbunden: Der Malleus mit dem Incus und dieser wiederum mit dem Stapes. Über die Sehnen des M. stapedius und des M. tensor tympani sind die Gehörknöchelchen mit der knöchernen Wand der Cavitas tympani verbunden. Die Stapesfußplatte ist mittels eines annulären Ligamentes am Rande des ovalen Fensters fixiert und grenzt das Mittelohr vom Innenohr ab. Das Innenohr besteht aus einem System knöcherner Hohlräume im dichten Knochengewebe des Felsenbeins, welches sich an das ovale und das runde Fenster anschließt. Das knöcherne Labyrinth wird unterteilt in die Cochlea, das Vestibulum mit Sacculus und Utriculus, die Ductus semicirculares und den Aqueductes der Cochlea und des Vestibulum. Beginnend vom Vestibulum windet sich der Ductus cochlearis zweieinhalb Mal schneckenhausartig um den Modiolus herum und endet blind an der Spitze der Cochlea. Der zentrale Modiolus führt Gefäße und Nerven zur Cochlea. Die vom Modiolus ausgehende Lamina spiralis enthält das Ganglion spirale Cochleae, in dem sich die Perikarien des Nervus cochlearis befinden.

Die in Abb. 2 dargestellte Cochlea wird von häutigen Membranen ausgekleidet und in drei Gänge gegliedert. Die Basilarmembran ist zwischen der Lamina spiralis und dem Ligamentum spirale aufgespannt und unterteilt die Cochlea anatomisch in die Scala vestibuli und die Scala tympani. Diese beiden Scalae sind gefüllt mit Perilymphe und gehen an der Spitze der Cochlea, dem Helicotrema, ineinander über. Der Ductus cochlearis wird auch als Scala media bezeichnet und ist mit Endolymphe gefüllt. Die Scala media wird nach kaudal durch die Basilarmembran von der Scala tympani getrennt und nach kranial durch die Reissner-Membran von der Scala vestibuli abgegrenzt. Das eigentliche Organ für die Hörwahrnehmung, das Corti-Organ, befindet sich auf der endolympathischen Seite der Basilarmembran. Das Corti-Organ wird aus Rezeptorzellen gebildet, auch Haarzellen genannt, die in drei äußeren und einer inneren Reihe angeordnet sind. Insgesamt besteht es aus ungefähr 3500 inneren Haarzellen und 12000 äußeren Haarzellen. Die Haarzellen



## 1. Einführung

sind am apikalen Pol von Endolymphe umgeben. Die lateralen und basalen Seiten haben Kontakt zur Perilymphe. Jede einzelne Haarzelle ist in starre Stützzellen eingebettet und besitzt am apikalen Pol bis zu 100 Stereozilien. Die längsten Stereozilien der äußeren Haarzellen berühren die gelatinöse Tektorialmembran, während die Stereozilien der inneren Haarzellen nur Kontakt zur Endolymphe unter der Tektorialmembran haben. Über Synapsen kommunizieren die Haarzellen mit dem Hörnerv, dem Nervus (N.) cochlearis. Dessen Axone verlaufen ab dem knöchernen Anteil des Felsenbeines gemeinsam mit den vestibulären Anteilen als Nervus (N.) vestibulocochlearis und treten über den Porus akustikus internus in die hintere Schädelgrube ein. Im Kleinhirnbrückenwinkel geht der N. vestibulocochlearis in die Pons über.



**Abb. 2:** Die Cochlea im Querschnitt © Theresa Grieben angelehnt an: Physiologie des Menschen. Schmidt RF, Lang F. p. 351. Abb. 16.6. 30. Auflage. Springer Medizin Verlag. Heidelberg 2007

### 1.1.2. Physiologie des Ohres

Eintreffende Schallwellen werden über das äußere Ohr zum Trommelfell geleitet und versetzen es in Schwingung. Das Trommelfell sowie der Gehörgang besitzen die Funktion eines Resonators und heben passiv die Lautstärke bestimmter Frequenzen an. Die Gehörknöchelchen verstärken diese Schwingung durch ihre Hebelwirkung und überbrücken die Distanz der Paukenhöhle. Die Ligamente und Sehnen besitzen die Funktion von mechanischen Federn und ermöglichen eine an Energie verlustarme Schallübertragung auf das Innenohr. Die Fußplatte des Stapes überträgt diese Schwingung am ovalen Fenster auf die nicht komprimierbare Flüssigkeit der Scala vestibuli. Der durch Kompression entstehende Druckgradient ruft eine Bewegung dieser Perilymphe hervor. Der Druck der Flüssigkeitssäule kann durch Bewegung der Membran im runden Fenster zum Mittelohr

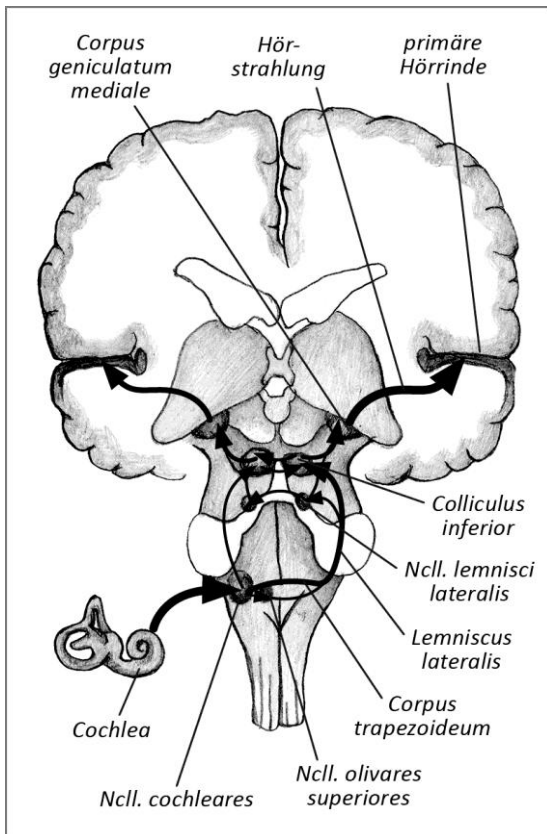
## 1. Einführung

ausgeglichen werden. Dieser Gradient lenkt außerdem die Basilarmembran ab und verursacht durch die entstehende Schwingung eine Wanderwelle. Der Ort der maximalen Auslenkung der Basilarmembran ist aufgrund ihrer Anatomie frequenzspezifisch. Daher rufen hohe Schallfrequenzen ein Schwingungsmaximum an der Basis der Cochlea hervor, tiefe Frequenzen hingegen an der Spitze der Hörschnecke in Richtung Helicotrema. Die Stereozilien der äußeren Haarzellen des Corti-Organs, die bis zur Tektorialmembran reichen, werden durch die Bewegung der Basilarmembran abgeschert. Die erzeugte Oszillation der äußeren Haarzellen erhöht die Schwingung der Basilarmembran und verstärkt die Wanderwelle. Dieser cochleäre Verstärkungsprozess verbessert die Frequenzauflösung und verbreitert den Dynamikbereich [73]. Die Haarzellen, die nicht die Tektorialmembran erreichen, sind die eigentlichen Sinneszellen des Corti-Organs. Die Scherkräfte des entstehenden Sogs an den apikalen Stereozilien verursachen eine Erregungskaskade, die in einer Depolarisation der angekoppelten Nervenfasern resultieren kann. Bei Überschreitung des Schwellenwertes wird ein Aktionspotential im peripheren Dendriten ausgelöst und an die zentralen Fortsätze der Nervenzelle weitergeleitet, welche gebündelt den N. cochlearis bilden.

### 1.1.3. Zentrale Hörbahn und Hörrinde

Der Hörnerv besteht aus afferenten und efferenten Axonen und deren zentralen Fortsätzen. Er verbindet die Cochlea mit den Nuclei (Ncll.) cochleares unter Beibehaltung der spezifischen Frequenzverteilung. In der Pons wird meist die Information einer inneren Haarzelle auf eine einzelne Nervenfasern übertragen (siehe Abb. 3). Im gesamten weiteren Verlauf der zentralen Hörbahn treten Konvergenz und Divergenz der Neurone auf [73]. Zum größten Teil verlaufen die afferenten Nervenfasern des Nucleus (Ncl.) cochlearis anterior im Corpus trapezoideum zur Gegenseite und werden dort in den Ncll. olivares superiores und Ncll. corporis trapezoidei auf das zweite Neuron verschaltet. Die Nervenfasern des Ncl. cochlearis posterior ziehen als Striae acusticae posteriores unverschaltet zur Gegenseite. Als Lemnisci laterales verlaufen die Hörbahnfasern weiter zum Mittelhirn und werden in den Ncll. lemnisci lateralis zum Teil erneut auf das nächste Neuron verschaltet. Ein Teil der Fasern kreuzt zur kontralateralen Seite, bevor sie die Colliculi inferiores erreichen. Einige Fasern kreuzen wiederholt zur Gegenseite um dann zum Corpus geniculatum mediale des Thalamus zu ziehen. Dort erfolgt eine letzte Verschaltung. Von dieser Stelle aus verlaufen die Nervenfasern als Hörstrahlung zu den Heschl-Querwindungen des Temporallappens, welche als primäre Hörrinde bezeichnet wird. Die binaurale Interaktion im

## 1. Einführung



basalen Hirnstamm ermöglicht eine Filterung der Reize vor der Weiterleitung an höhere Zentren. Außerdem erfolgt eine Spezialisierung der Neurone auf das Erkennen von komplexen Schallmustern. Die akustische Information aus beiden Cochleae erreicht über tonotop gegliederte Hörbahnfasern die primäre Hörrinde. An diesem Ort wird die akustische Information bewusst. Die interpretatorische Bewertung im Sinne des Verstehens der Information erfolgt anschließend in den Projektionsfeldern der umgebenden sekundären Hörrinde. Dort findet eine zeitliche Diskrimination statt und komplexe Schallmuster wie Sprache und Musik können als kognitive Funktionen erkannt und zusammen mit anderen Sinnesmodalitäten rational zugeordnet

**Abb. 3:** Zentrale Hörbahn und Hörrinde © Theresa Grieben angelehnt an: Neuroanatomie: Struktur und Funktion. Trepel M. 4. Auflage. p.451. Bahn 6. Elsevier GmbH München 2008

werden. Des Weiteren besitzt der sekundäre auditorische Cortex unterstützende Funktion zur Schalllokalisierung und räumlichen Orientierung.

## 1.2. Hörstörungen

Der Grad der Schwerhörigkeit wird mittels der Hörschwelle des besser hörenden Ohres im Hauptsprachfrequenzbereich von 500-4000 Hz eingeteilt.

Einteilung der Schwerhörigkeit	Hörschwelle bei 500- 4000 Hz
normales Gehör	< 20 dB
geringgradige Schwerhörigkeit	20-40 dB
mittelgradige Schwerhörigkeit	40-70 dB
hochgradige Schwerhörigkeit	70-95 dB
Ertaubung	>95 dB

**Tab. 1:** Einteilung des Grades der Schwerhörigkeit nach dem Vorschlag der europäischen Expertengruppe (European Working Group on Genetics of Hearing Impairment, Mailand 1996)

## 1. Einführung

Nach Angaben von Birkenhäger et al. aus dem Jahre 2007 waren ungefähr 1 von 1000 Neugeborenen bei der Geburt oder innerhalb der ersten Lebensjahre von einer hochgradigen bis schweren Hörstörung betroffen, die zu etwa 50% durch eine genetische Komponente verursacht wurde [5]. Alice et. al beschrieben 2013, dass 50 bis 60% der Bevölkerung ab einem Alter von 70 Jahren an einem Hörverlust litten [4]. Bei 0,6 bis 1,1% der Bevölkerung wurde dieser Hörverlust als hochgradig oder bis an Taubheit grenzend beschrieben und eine Verbesserung des Hörvermögens konnte durch maximale Hörgeräteversorgung nicht erreicht werden [4]. Nach Bericht des Statistischen Bundesamtes litten im Jahre 2001 allein in Deutschland rund 256.000 Personen (113.000 Frauen und 143.000 Männer) an hochgradiger Schwerhörigkeit oder Taubheit [67]. Die beobachteten Hörstörungen werden je nach Ort der Schädigung in Schalleitungsstörungen und Schallempfindungsstörungen eingeteilt.

### 1.2.1. Schalleitungsschwerhörigkeit

Eine Schalleitungsschwerhörigkeit entsteht durch Behinderung oder Unterbrechung der mechanischen Schallübertragung vom äußeren Ohr auf das Innenohr und beträgt maximal 60 dB [59]. Als Ursache für eine Schalleitungsschwerhörigkeit kommen sowohl durch exogene Faktoren als auch durch genetische Faktoren hervorgerufene Erkrankungen des äußeren Ohres, des Mittelohres und eine Kombination beider in Frage.

### 1.2.2. Schallempfindungsschwerhörigkeit

Eine Schallempfindungsschwerhörigkeit ist meist permanent und kann cochleär in der Hörschnecke oder retrocochlear in der neuronalen Weiterleitung verursacht werden. Der Zeitpunkt des Erwerbs einer Innenohrschwerhörigkeit kann pränatal, perinatal und postnatal liegen. Für die Fragestellung der vorliegenden Studie ist die postnatal nach Abschluss des Lautspracherwerbs aufgetretene beidseitige cochleäre Schallempfindungsstörung von besonderem Interesse. Diese wird auch als postlinguale Ertaubung bezeichnet und kann nach Angaben des Robert-Koch-Instituts durch das Zusammenwirken der Altersschwerhörigkeit, lärmbedingter Komponenten und nicht lärmbedingter altersunabhängiger Faktoren verursacht werden [67]. Ein progredienter Verlauf des Hörverlusts ist typisch, jedoch kann dieser auch plötzlich auftreten. Nach Auswertung von 218 Publikationen durch Sara et al. im Jahre 2014 [63] setzte die plötzliche bilaterale Schallempfindungsschwerhörigkeit durchschnittlich mit 40,1 Jahren ein und war am häufigsten toxischer Genese (29,1%), gefolgt von neoplastischen (16,5%), vaskulären (16,5%) und autoimmunen (16,5%) Prozessen. Nur 5,8% der

## 1. Einführung

plötzlichen bilateralen Schallempfindungsschwerhörigkeit traten nach Angabe der Autoren idiopathisch auf [63].

### 1.3. Therapieoptionen von Hörstörungen

Abhängig von der Ursache der vorliegenden Hörstörung ist eine Verbesserung des Hörvermögens anzustreben. Eine erhebliche Verbesserung des Hörvermögens kann bei Schalleitungsstörungen mit bekannter Ursache durch operative Rekonstruktion im Rahmen von sanierenden Ohr-Operationen, Tympanoplastiken, Stapesplastiken und der Abtragung von Gehörgangsexostosen erreicht werden. Als konservative Maßnahme ist bei Schalleitungsstörungen und Schallempfindungsstörungen eine Hörgeräteversorgung möglich.

#### 1.3.1. Hörgeräteversorgung

Nach Angaben des Robert-Koch-Instituts besaßen 2006 schätzungsweise 3 Millionen Deutsche beziehungsweise 2 bis 2,5% der befragten Personen ein Hörgerät [67]. Die Hörgeräteversorgung als konservative Therapieoption einer Schwerhörigkeit ist in der 2012 erfolgten Neufassung der Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Verordnung von Hilfsmitteln in der vertragsärztlichen Versorgung geregelt. Voraussetzung für eine beidseitige Hörgeräteversorgung ist demnach ein Hörverlust von mindestens 30 dB auf dem besser hörenden Ohr in mindestens einer Prüffrequenz zwischen 500 und 4000 Hz und einer Verstehensquote von maximal 80% bei 65 dB im Freiburger Einsilbertest. Eine einseitige Hörgeräteversorgung ist bei einem Hörverlust von mindestens 30 dB bei 2000 Hz oder mindestens zwei Frequenzen im Hauptsprachbereich zwischen 500 und 4000 Hz indiziert [1].

Hörgeräte nehmen die Geräusche der Umgebung über ein Mikrofon auf und filtern diese. Nach Verstärkung gewünschter Frequenzen werden die Schallwellen mittels eines Lautsprechers in den Gehörgang abgegeben. Es gibt Geräte, deren digitaler Signalprozessor hinter dem Ohr (HdO-Geräte) getragen wird und sich nur der Lautsprecher in einem Passstück im äußeren Gehörgang befindet. Zusätzlich gibt es Geräte, bei denen das Mikrofon, der Sprachprozessor und der Lautsprecher in einem kleinen Gehäuse integriert sind und im äußeren Gehörgang (IdO-Geräte) getragen werden können. Wenn bei einer Schalleitungsschwerhörigkeit ein konventionelles Hörgerät aufgrund von medizinischen Kontraindikationen wie chronisch rezidivierenden Otitiden und Fehlbildungen des äußeren Ohres nicht genutzt werden kann, ist die Implantation einer knochenverankerten Hörhilfe möglich, welche das äußere Ohr und das Mittelohr umgeht. Wenn auch bei bester

## 1. Einführung

Hörgeräteversorgung kein ausreichendes Sprachverstehen erreicht werden kann, ist die Implantation eines Cochlea-Implantats als elektrische Hörprothese zu erwägen.

### 1.3.2. Das Cochlea-Implantat

Das Cochlea-Implantat unterliegt ständigen technologischen Entwicklungen zur Verbesserung des Tragekomforts und der Sprachverständlichkeit. Trotz grundsätzlich übereinstimmender Bauart und Funktion unterscheiden sich die CIs unterschiedlicher Hersteller in einzelnen Aspekten wie unterschiedlichem Elektrodendesign und Soundprozessierung voneinander.

#### 1.3.2.1. Funktion des Cochlea-Implantats

Cochlea-Implantate wandeln akustische Signale in elektrische Impulse um, die den Hörnerv direkt reizen und übernehmen somit die Funktion des ausgefallenen Innenohres. Nicoletti et al. beschrieben, dass Cochlea-Implantate auch im Jahre 2010 nur näherungsweise normale neuronale Erregungsmuster nachbilden konnten, um beim Träger einen Höreindruck zu erzeugen [56]. Limitiert durch die begrenzte Übertragungskapazität der Kanäle kann auch heutzutage nur ein Bruchteil eines komplexen Schallsignales durch das CI übertragen werden. Daher muss eine Vorauswahl der primären Merkmale getroffen werden, die beim Nutzer eine Wahrnehmung erzeugen sollen.

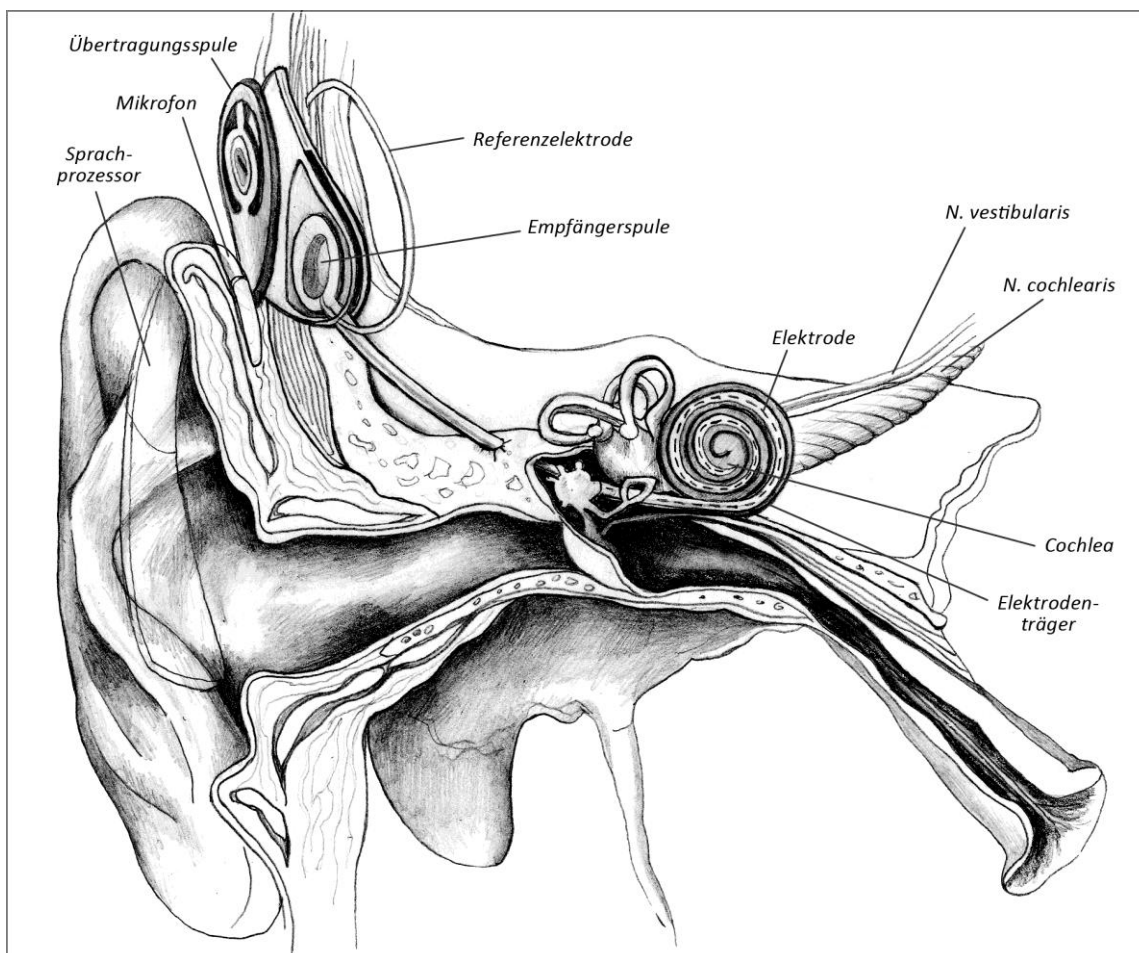


**Abb. 4:** interne und externe Komponenten eines Cochlea-Implantats-Systems  
( Cochlear™ Nucleus® Serie CI500 Implantat und CP810 Soundprozessor)

Die externe Komponente des Cochlea-Implantats (siehe Abb. 4) wird mithilfe eines Bügels hinter dem Ohr getragen. Der darin integrierte Sprachprozessor nimmt mit ein bis zwei Mikrofonen die Schallsignale der Umgebung auf. Je nach Art des Sprachprozessors sind diese mit Sprachvorverarbeitungsalgorithmen ausgestattet. Der Sprachprozessor filtert den Schall und

## 1. Einführung

wandelt die Geräusche nach individueller Einstellung, wie der Sprachkodierungsstrategie und der Sprachprozessoranpassung in digitale Signale um. Die kodierten Signale werden über ein flexibles Kabel auf die Übertragungsspule übertragen, die magnetisch von außen an der Kopfhaut über der Empfängerspule befestigt ist (siehe Abb. 5). Durch transkutane Induktion werden das Signal und die Energie per Hochfrequenzimpulse auf die interne CI-Komponente im Knochenbett des Schädelknochens übertragen. Die interne Komponente des CIs (siehe Abb. 4) besteht aus einer geschützten Empfängerspule mit Magnet, welche mit einer Referenzelektrode und einem in die Scala tympani eingeführten Elektrodenarray verbunden ist. Die Empfängerspule dekodiert das Signal und sendet es an die entsprechenden in der Cochlea befindlichen Elektroden. Es erfolgt die Induktion eines Aktionspotentials in den Ganglienzellen des Hörnervs. Durch direkte Stimulation des Hörnervs werden akustische Informationen an die zentrale Hörbahn geleitet und ein Höreindruck entsteht.



**Abb. 5:** Schematische Darstellung eines implantierten CI-Systems

## 1. Einführung

### 1.3.2.2. Indikation für die Implantation eines Cochlea-Implantats

Laut der aktuellen Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e. V. aus dem Jahre 2012 [49] kommen Personen für die Implantation eines CIs in Frage, bei denen durch die Versorgung mit einem Hörgerät kein besseres Hören und Sprachverstehen absehbar zu erreichen sind. Bei beidseitig gegebener Indikation ist laut Leitlinie eine beidseitige Implantation durchzuführen [49]. Eine CI-Versorgung wird von Müller-Deile auch bei einem wesentlich besseren Zahlenverständnis von bis zu 100% im Freiburger Mehrsilber Test angeraten, wenn eine befriedigende Kommunikation im Alltag nicht möglich ist [54]. Grundsätzlich ist die Seitenwahl für die Erstimplantation eines CIs eine Individualentscheidung. Die Seite der Implantation wird anhand des Ausmaßes, der Dauer und der Ursache des Hörverlusts beider Ohren ausgewählt. In der Regel wird das schlechter hörende Ohr unter Berücksichtigung der noch möglichen Hörleistung mit Hörgeräteversorgung einer Implantation vorgezogen. Eine obere Altersgrenze besteht nicht. Eine dringliche Indikationsstellung besteht bei postmeningitischer Taubheit aufgrund der drohenden Cochlea-Obliteration. Aus gleichem Grund sollte bei traumatisch bedingter Ertaubung eine Implantation in den ersten Wochen nach Ereignis angestrebt werden. Bei Mehrfachbehinderungen ist eine Gesamtbeurteilung des Kasus nach Art und Schweregrad der Behinderung zur Indikationsstellung notwendig. Falls die Ertaubung länger als 10 Jahre zurück liegt, werden besondere Anforderungen an die Therapie und postoperative Rehabilitation gestellt.

Neben dem Ausschluss von medizinischen Kontraindikationen und der Feststellung der persönlichen Motivation sowie des Allgemeinzustandes und Entwicklungszustandes des Patienten ist eine umfangreiche Diagnostik vor der Implantation eines CIs erforderlich. Sie dient zur Überprüfung des Hörnervs, retrocochleärer Strukturen und der Anatomie des Innenohres zum Ausschluss von Innenohrmissbildungen und intraoperativer Komplikationen.

Die präoperative Diagnostik beinhaltet laut Leitlinien [49] neben einer eingehenden persönlichen Beratung und Aufklärung des Patienten folgende Untersuchungen:

- Allgemeinzustand und HNO-Status
- Ton- und Sprachaudiometrie
- Hörgeräteüberprüfung und -optimierung mit audiometrischen Verfahren im freien Schallfeld
- Berücksichtigung psychischer Faktoren



## 1. Einführung

- objektive Hörprüfungen wie otoakustische Emissionen, Impedanzaudiometrie, BERA
- Promontoriumstest (optional), Elektrocochleographie (optional)
- Labyrinthfunktionsprüfung mit kalorischer Prüfung
- Neuroradiologische Diagnostik (hochauflösendes Felsenbein-CT)
- hochauflösende Kernspintomographie vom Schläfenbein und Kleinhirnbrückenwinkel

Absolute Kontraindikationen für die Implantation eines CIs sind laut Leitlinien [49]:

- fehlende Cochlea oder fehlender Hörnerv
- nicht sichergestellte postoperative Rehabilitation und Nachsorge
- fehlende Rehabilitationsfähigkeit bei der CI-Versorgung
- zentrale Taubheit mit Funktionsstörungen im Bereich der zentralen Hörbahn

Relative Kontraindikationen für die Implantation eines CIs sind [49]:

- Mittelohrinfektionen (nach Sanierung ist Implantation möglich)
- negativer subjektiver Promontoriumstest
- schwere Allgemeinerkrankungen
- therapieresistentes Krampfleiden

Nach Implantation sind eine Basis- und Folgetherapie sowie eine lebenslange Nachsorge essentiell.

### 1.3.2.3. Sprachkodierungsstrategien

Die Kodierung des mittels Mikrofon aufgenommenen Schalls in elektrische Stimuli unterliegt ständigen technischen Entwicklungen. Diese betreffen sowohl die Schallaufbereitung als auch dessen Analyse durch den Sprachprozessor des CIs. Das Ziel jeder Sprachkodierungsstrategie ist die Nachbildung der natürlichen Zeit- und Ortskodierung des Schalls. Das Schallsignal besteht aus einer einhüllenden Komponente, welche Informationen über Veränderungen in der Lautstärke und der Frequenz beinhaltet und hauptsächlich zur Übertragung sprachlicher Information beiträgt. Die Frequenz des Stimulus wird durch die zeitliche Struktur des Signals übertragen. Zusätzlich wird durch die Feinstruktur des Stimulus die schnell wechselnde Komponente des Schallsignals abgebildet, welche die entscheidenden Details für die Musikwahrnehmung enthält. Auf die in unserer Studie genutzten Sprachkodierungsstrategien soll im Folgenden eingegangen werden.

## 1. Einführung

**Advanced Combination Encoder (ACE).** Die CI-Träger unserer Studie mit Implantaten des Herstellers Cochlear nutzten die Sprachkodierungsstrategie ACE. Nach Aufnahme des Schalls über das Mikrofon des Sprachprozessors erfolgt die Filterung und Komprimierung des Schallsignals in einem voreingestellten Dynamikbereich. Das Eingangssignal wird in Frequenzbänder (M) zerlegt, die in ihrer Anzahl den aktivierten Elektroden, maximal 22, entsprechen. Zwei Elektrodenpole bilden dazu einen Kanal, auf welchen die Frequenz proportional zum Eingangssignal gelegt wird. Nach Analyse der spektralen Maxima erfolgt die Selektion von 8-12 aus maximal 22 relevanten Frequenzbändern (N) anhand der maximalen Amplitude für die Stimulation des Hörnervs. Diese Art der Sprachkodierung wird auch als N-of-M-Strategie bezeichnet. Die Stimulation der einzelnen Kanäle erfolgt daraufhin nicht simultan, sondern dynamisch durch sequentielle Ansteuerung der einzelnen Elektroden. Die Lautstärke entspricht der Intensität der pulsartigen Ansteuerung der Kanäle. Dies wird in Pulse pro Sekunde (pps) angegeben und ist bis zu einer Gesamtbandbreite von 14400 pps möglich [69, 66].

**MP3000™.** Die früher als PACE (psychoacoustic ACE) bezeichnete Sprachkodierungsstrategie MP3000 wurde 2005 von Noguiera et al. entwickelt und nutzt andere Selektionskriterien als die verwandte ACE-Strategie [58]. Sie wurde in unserer Studie von den CI-Trägern mit Implantaten des Herstellers Cochlear im Falle einer Umstellung der Sprachkodierungsstrategie getragen. Die Sprachkodierungsstrategie MP3000 ahmt die Hörfähigkeit normalhörender Personen nach. Dazu nutzt MP3000 ein psychoakustisches Modell mit Maskierungsfunktion, welches an das MP3-Komprimierungsverfahren angelehnt ist und die vom normalen Gehör wahrnehmbaren Komponenten für die Übertragung auswählt. MP3000 wählt die Anzahl (N) aus den Frequenzbändern (M) nicht anhand der absoluten Maxima aus, sondern nur diejenigen Amplituden, welche eine vorher festgelegte Maskierungsschwelle überschreiten. Somit werden die redundanten Signalanteile aussortiert. Ziel ist die Übertragung der relevanten Information des Schallsignals durch Vermeiden einer Stimulation benachbarter Elektroden. Demnach werden eher entfernte Elektroden mit einer geringeren Gesamtzahl an Pulsen stimuliert als mit ACE. Dieses Verfahren soll das Datenvolumen ohne hörbaren Verlust der Klangqualität reduzieren.

## 1. Einführung

**FS4.** Die Sprachkodierungsstrategie FS4 wurde von allen an der Studie teilnehmenden CI-Trägern mit Implantaten des Herstellers Med-El genutzt. In unserer Studie wurde FS4 nicht modifiziert oder weiterführend betrachtet, weshalb technische Details dieser Sprachkodierungsstrategie nur ergänzend erwähnt werden sollen. Mit der Sprachkodierungsstrategie FS4 kann über virtuelle Kanäle und „Channel-Specific Sampling Sequences“ (CSSS) der Hörnerv über die gesamte Länge der Elektrode erregt werden. Die virtuellen Kanäle übertragen die einhüllende Komponente des Schallsignals durch Stimulation zweier benachbarter Elektroden. Zusätzlich wird die Feinstruktur des Signals über zumeist vier CSSS-Kanäle auf den unteren vier Elektroden in einem tieftonalen bis mittleren Frequenzbereich bis 1000 Hz kodiert.

### **1.4. Problemstellung**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist ein Vergleich der Perzeption musikalischer Parameter von CI-Trägern und normalhörenden Probanden. Dazu wurden die Fertigkeiten der Probanden mit der Züricher Musiktestbatterie MACarena untersucht. Desweiteren soll mit Bezug auf die bisherige Studienlage beurteilt werden, inwieweit die Umstellung der Sprachkodierungsstrategie ACE auf die technisch neuere Sprachkodierungsstrategie MP3000 bei CI-Trägern die Wahrnehmung der untersuchten musikalischen Parameter beeinflusst. Es erfolgte im Rahmen der Studie lediglich eine Umstellung der Sprachkodierungsstrategie der Sprachprozessoren des CIs und kein Training der Probanden. Keine weiteren Einstellungen des Sprachprozessors wurden verändert. Die Anzahl der individuell voreingestellten Maxima der Sprachkodierungsstrategie ACE wurde mit MP3000 beibehalten und sind daher nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Außerdem soll der Einfluss von persönlichen Faktoren auf das Musikhören mit dem CI bewertet werden. Dazu gehören neben der Tragedauer des CIs auch das Alter und Geschlecht der Probanden, deren musikalische Ausbildung, Musikhörgewohnheiten und Zufriedenheit mit dem Musikhören.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Probanden

An unserer Studie nahmen 24 postlingual ertaubte CI-Träger teil [8 weiblich (w), 16 männlich (m)] und absolvierten in deren Rahmen Musikhörtests. Als Vergleichsgruppe für die CI-Träger dienten 23 normalhörende Probanden.

#### 2.1.1. Cochlea-Implantat-Träger

Alle 24 Probanden mit Cochlea-Implantat wurden aus dem Patientenkollektiv der HNO-Klinik des Universitätsklinikums Magdeburg und des kooperierenden Cochlea-Implant-Rehabilitationszentrum des Landes Sachsen-Anhalt in Halberstadt rekrutiert. Das Alter der CI-Träger betrug bei Durchführung unserer Studie zwischen 40 und 79 Jahre [Mittelwert (MW) 61,5 Jahre; Standardabweichung (SD) 11,6]. Die Tragedauer des CIs betrug zum Zeitpunkt der Teilnahme zwischen 0,7 und 12,7 Jahre (MW 3,3 Jahre; SD 2,9). 19 CI-Träger waren auf dem für die Musikhörtests genutzten Ohr mit einem CI des Herstellers Cochlear versorgt, weitere 5 CI-Träger mit Systemen der Firma Med-El. Insgesamt 10 Probanden der 24 CI-Träger waren zum Zeitpunkt unserer Wahrnehmungsstudie mit einem Hörgerät auf der kontralateralen Seite versorgt, weitere 8 Probanden trugen beidseits ein CI (siehe Tab. 2).

Alle Probanden mit Cochlea-Implantat haben darüber hinaus folgende Einschlusskriterien für die Studienteilnahme erfüllt:

- rein postlinguale Ertaubung
- Mindesttragedauer des Cochlea-Implantats von 6 Monaten nach Implantation
- an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit auf dem besser hörenden Ohr
- Mindestalter von 18 Jahren
- komplikationsloser postoperativer Verlauf
- Sprachverständnis von mindestens 50% im Oldenburger Satztest bei einem größerem Schalldruckpegel des Störschalls als der Sprache
- Freiburger Sprachverständlichkeitstest mit einem Diskriminationsverlust von weniger als 20% bei 65 dB
- keine kognitiven oder körperlichen Defizite, die eine Testdurchführung behindern

## 2. Material und Methoden

CI-Träger	Alter des Probanden	Geschlecht des Probanden	Hersteller des CIs	Tragedauer des CIs in Jahren	Eingewöhnungszeit mit MP3000 in Tagen	Versorgung des kontralateralen Ohres
mit Umstellung der Sprachkodierungsstrategie von ACE auf MP3000	57	m	Cochlear	2,3	78	Hörgerät
	68	m	Cochlear	1,8	65	Hörgerät
	76	m	Cochlear	2,5	90	Hörgerät
	42	w	Cochlear	5,1	34	CI
	69	m	Cochlear	2,0	45	Hörgerät
	74	w	Cochlear	4,1	34	CI
	63	m	Cochlear	2,0	36	keine
	54	m	Cochlear	11,2	37	keine
	75	m	Cochlear	2,2	31	keine
	49	m	Cochlear	5,5	50	keine
	67	m	Cochlear	3,2	34	CI
	48	w	Cochlear	2,8	42	Hörgerät
	52	m	Cochlear	2,6	39	keine
79	m	Cochlear	2,3	36	Hörgerät	
ohne Umstellung der Sprachkodierungsstrategie	69	w	Med-El	1,1	keine	Hörgerät
	52	m	Med-El	1,1	keine	CI
	68	w	Cochlear	3,6	keine	CI
	55	m	Cochlear	2,7	keine	keine
	40	w	Cochlear	1,8	keine	CI
	47	w	Cochlear	2,4	keine	CI
	57	m	Med-El	12,7	keine	Hörgerät
	71	m	Med-El	1,9	keine	Hörgerät
	72	m	Med-El	0,7	keine	Hörgerät
71	w	Cochlear	2,5	keine	CI	

**Tab. 2:** Demografische Details der CI-Träger

## 2. Material und Methoden

### 2.1.2. Normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe

Für jeden CI-Träger wurde ein normalhörender Proband gleichen Alters und Geschlechts gematcht. Das Geburtsjahr der Vergleichsperson wich nicht mehr als ein Jahr vom Geburtsjahr des CI-Trägers ab. Die Probanden der Vergleichsgruppe im Alter von 41 bis 80 Jahren (MW 61,4 Jahre; SD 11,8) wurde zum größten Teil aus dem Probandenpool des Leibniz-Institut für Neurobiologie in Magdeburg rekrutiert und mit stationärem Patientenkontinuum der Klinik für HNO-Heilkunde des Universitätsklinikums Magdeburg ergänzt. Zwei CI-Träger gleichen Alters und Geschlechts wurden doppelt einem normalhörenden Probanden zugeteilt. Daher gehören 23 normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe an.

Für die Studienteilnahme mussten die normalhörenden Probanden folgende Voraussetzungen erfüllen:

- keine Beeinträchtigung des sozialen Gehörs
- keine Hörgeräteversorgung beider Ohren
- keine kognitiven oder körperlichen Defizite, die eine Testdurchführung behindern

Zur Sicherung dieser Teilnahmekriterien wurde vor Testbeginn ein Tonschwellenaudiogramm des für die Messung genutzten Ohres angefertigt.

### 2.2. Messzeitraum und Durchführung

Die Tests unserer Wahrnehmungsstudie wurden nach dem Einverständnis der Ethikkommission der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg für den Ethikantrag mit dem Votum 61/10 unter Einhaltung der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Die Messungen erfolgten in einem Zeitraum von 15 Monaten von September 2011 bis Dezember 2012. Die Probanden nahmen freiwillig nach vorher erfolgter Aufklärung und schriftlicher Einverständniserklärung an der Studie teil. Die Dauer einer Versuchsreihe betrug je Proband ungefähr 60 Minuten. Die Durchführung der Musikhörtests wurde im gesamten Zeitraum von einem Versuchsleiter angewiesen und schriftlich in einem vorher für die Musikwahrnehmungstests definierten Messprotokoll (siehe Anlage 1) festgehalten. Alle Messungen erfolgten monaural. Dazu erfolgte bei den normalhörenden Probanden eine Vertäubung der kontralateralen Seite des in der Studie genutzten Ohres mittels eines Audiometers mit einem festgelegten Breitbandrauschen von 50 dB über einen Kopfhörer. Das jeweilige zu vertäubende Ohr des normalhörenden Probanden entsprach dem nicht im Rahmen der Studie genutzten Ohr des gematchten CI-Trägers. Die partizipierenden CI-Träger nutzten für die

## 2. Material und Methoden

Musikhörtests in der Regel das CI des zuerst implantierten Ohres. Im Falle einer Versorgung des nicht für die Messung genutzten Ohres mit einem Hörgerät oder einem CI (siehe Tab. 2) wurde dies vom CI-Träger für den Messzeitraum nicht genutzt und ein eventuell bestehendes Restgehör ebenfalls mittels eines Audiometers mit 50 dB Breitbandrauschen vertäubt. Des Weiteren wurde von den CI-Trägern die im Alltag genutzte Einstellung des Sprachprozessors beibehalten. Lediglich die Lautstärke des CIs konnte von den CI-Trägern vor Testbeginn variiert werden.

Nach erfolgreicher Testdurchführung wurde bei 15 der 24 CI-Träger die zuvor genutzte Sprachkodierungsstrategie der Sprachprozessoren von ACE auf die technisch neuere Sprachkodierungsstrategie MP3000 umgestellt. Eine Anpassung des Sprachprozessors auf die veränderte Hörsituation erfolgte im Studienzeitraum nicht, auch die Anzahl der Maxima wurde beibehalten. Ebenso absolvierten die CI-Träger kein Training. Insgesamt 14 der 15 CI-Träger nutzten die geänderte Sprachkodierungsstrategie MP3000 dauerhaft im Alltag. Ein einziger Studienteilnehmer konnte schon zu Beginn der Eingewöhnungszeit das neue Programm MP3000 nicht tolerieren, da nur eine Umstellung und keine Anpassung an die geänderte Hörsituation erfolgten. Aus diesem Grund absolvierten 14 CI-Träger nach einer Eingewöhnungszeit von mindestens 30 Tagen (MW 46,5 Tage; SD 18,3) mit der nun genutzten Sprachkodierungsstrategie MP3000 ein weiteres Mal die Musikhörtests. Diese zweite Sitzung dauerte ebenfalls maximal 60 Minuten je Proband.

### 2.3. Messinventar

Die Präsentation der Stimuli erfolgte in einer Audiometrikabine der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde des Universitätsklinikums Magdeburg bei einer kalibrierten Lautstärke von 65 dB im freien Schallfeld. Zur Präsentation der Stimuli wurden eine digitale Soundkarte (Terratec DMX 6Fire USB) und frontal zur Testperson ausgerichtete Nahfeldmonitore (Behringer® Monitor Speaker 1C) in einem Abstand von einem Meter zum Probanden verwandt. Der Versuchsteilnehmer beantwortete die Tests über Berührung eines der Antwortfelder auf dem Touchscreen eines ASUS ALL-in-one PC (ET1611 Series). Die Vertäubung des nicht für die Musikhörtests genutzten Ohres erfolgte per Kopfhörer über das Audiometer Präcitronic MA 31.

## 2. Material und Methoden

### 2.4. Methoden

#### 2.4.1. Musikwahrnehmungstests

In unserer Studie wurden Musikwahrnehmungstests der Züricher Musiktestbatterie MACarena angewandt [10]. Diese stellten die Autoren der Testbatterie freundlicherweise zu Studienzwecken zur Verfügung. Von der Musiktestbatterie MACarena wurden vier Perzeptionstests ausgewählt, welche jeder Proband in festgelegter Folge absolvierte.

Diese Tests untersuchten:

- das Erkennen von Musikinstrumenten
- das Erkennen von Melodiekonturen
- das Erkennen von harmonischen Akkorden
- das Erkennen von Tonhöhenunterschieden

Vor Durchführung der ersten Messreihe wurden die Teilnehmer mit den auditiven Stimuli, dem Testablauf und der Benutzung des Touchscreens mittels eines festgelegten Schemas vertraut gemacht. Nach der akustischen Präsentation der einzelnen zu erwartenden Stimuli erfolgte ein kurzes Training mit Feedback (siehe Messprotokoll Anlage 1). Anschließend erfolgte die Durchführung der Wahrnehmungsstudie. Die Probanden wählten den vermutlich gehörten Stimulus manuell via Touchscreen aus den gegebenen Antwortmöglichkeiten aus.

##### 2.4.1.1. Erkennen von Musikinstrumenten

Die Perzeption von Klangunterschieden verschiedener Musikinstrumente aus unterschiedlichen Instrumentenfamilien wurde nichtadaptiv getestet. Dazu wurde die Melodie des schwedischen Liedes „Vem kan segla förutan vind?“ (siehe Abb. 6) von acht verschiedenen Musikinstrumenten (Trompete, Posaune, Querflöte, Klarinette, Violine, Cello, Gitarre und Klavier) des Kollegiums des Orchesters der Oper in Zürich in gleicher Artikulation, Lautstärke und Tempo eingespielt.



**Abb. 6:** Melodie des schwedischen Liedes „Vem kan segla förutan vind?“ aus dem Handbuch der Züricher Musiktestbatterie [10]



## 2. Material und Methoden

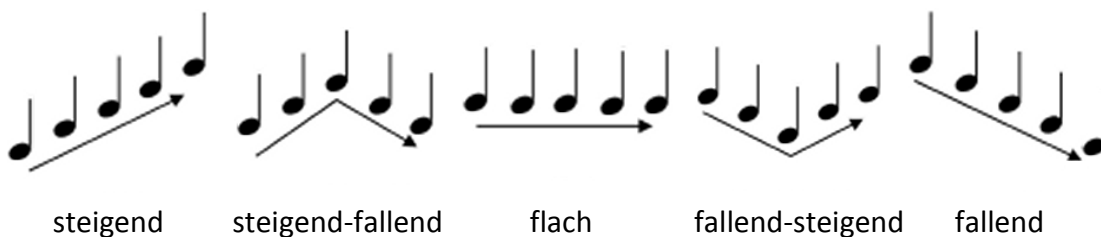
Anschließend wurde die achttaktige Melodie in vier Segmente aus je 2 Takten unterteilt. Somit spielte jedes der acht Instrumente 4 von 32 Tonbeispielen. Diese wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Eine Lautstärkevariation von +/- 6 dB erschwerte den Wiedererkennungswert der Musikinstrumente anhand komplexer Klangmuster und erhielt dennoch ihren individuellen Charakter. Die Tonaufnahme selbst erfolgte in einem für das Instrument repräsentativen Frequenzbereich (siehe Tab. 3). Dazu wurde die Melodie in D-Moll transponiert.

Instrumentenfamilie	Instrument	Tonart	Frequenzbereich in Hz
Holzblasinstrumente	Querflöte	D5-Moll	440-1175
	Klarinette	D4-Moll	220-587
Blechblasinstrumente	Trompete	D4-Moll	220-587
	Posaune	D3-Moll	110-293
Saiteninstrumente	Violine	D4-Moll	220-587
	Cello	D3-Moll	110-293
	Gitarre	D3-Moll	110-293
Tasteninstrument	Klavier	D4-Moll	220-587

**Tab. 3:** Dargebotene Frequenzbereiche der im Test verwandten Musikinstrumente [10]

### 2.4.1.2. Erkennen von Melodiekonturen

Das Erkennen von Melodiekonturen wurde mittels eines nichtadaptiven Tests untersucht, den Galvin et. al im Jahre 2009 etablierten [24]. Aus diesem Test wurden für die Züricher Musiktestbatterie MACarena fünf verschiedene Tonfolgen ausgewählt. Diese bestanden aus je 5 Einzeltönen und wurden in 60 Beispielen in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Jede Tonfolge begann bei einem Grundton [A3 (220 Hz), A4 (440 Hz), oder A5 (880 Hz)] und folgte chromatisch den in Abb. 7 dargestellten Tonverläufen. Die Einzeltöne wurden im Test mit einer Dauer von 250ms im Abstand von 50ms präsentiert und bestanden aus drei Komponenten: der Grundfrequenz F0 und den Formanten F1 (-3dB) und F2 (-6dB). Nach Präsentation der Stimuli konnten die Probanden die vermutlich gehörte Melodiekontur auf dem Touchscreen auswählen.



**Abb. 7:** Schematische Darstellung der Melodiekonturen aus dem Handbuch der Züricher Musiktestbatterie [10]

## 2. Material und Methoden

### 2.4.1.3. Erkennen von harmonischen Akkorden

In diesem nichtadaptiven Test wurden den Probanden insgesamt 30 Tonbeispiele in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Die für die Züricher Musiktestbatterie MACarena genutzten Klänge entstammen einer Arbeit von Mary Grasmeyer und Mark Lutman, Institute of Sound and Vibration Research, Southampton. Jedes Tonbeispiel bestand aus zwei aufeinanderfolgenden Stimuli im Abstand von einer Sekunde. Den Probanden wurden aus vier Tönen bestehende Dur-Akkorde und Moll-Akkorde dargeboten, die von einem elektronischen Klavier eingespielt wurden. Vom harmonischen Akkord wurden jeweils zwei Töne einen Halbtonschritt nach oben und zwei Töne einen Halbtonschritt nach unten versetzt, um einen disharmonischen Akkord zu erzeugen. Der Proband wählte im Anschluss aus, welcher dieser beiden Akkorde harmonischer gewesen sei.

### 2.4.1.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden

Zur Untersuchung des Wahrnehmungsvermögens von Tonhöhenunterschieden wurden den Studienteilnehmern mit der Züricher Musiktestbatterie MACarena Töne der Klarinette nichtadaptiv in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Als Grundlage zur Tonsynthese wurden die Töne der Klarinette aus der im Jahre 2004 von Goto etablierten RWC Musikdatenbank entnommen [36]. Es wurde die Klarinette mit normaler Artikulation und mittlerer Dynamik genutzt. Für jeden Stimulus wurde ein kurzer Tonabschnitt ausgewählt. Nach Analyse des spektralen Profils des Klarinetten-Tons wurde ein synthetischer Ton aus fünf Partialen erzeugt, der die Grundfrequenz und die vier größten Obertöne in linearem Verhältnis enthielt. Dieses Verfahren sollte Rückschlüsse auf die Tonhöhe reduzieren, die aufgrund der veränderten Resonanz des Musikinstrumentes möglich gewesen wären. Das erzeugte Tonbeispiel wurde auf 500 ms verlängert und mit einem Lautstärkeanstieg und -abfall von 50 ms versehen. Anschließend erfolgte ein Ausgleich der Lautstärke der einzelnen Stimuli. Für den Test wurden jeweils zwei Töne der Oktaven 3, 4 und 5 verwandt und aufeinanderfolgend dargeboten. Ausgehend von den Tönen D3, D4 und D5 unterschied sich der folgende Ton in einem Intervall von 1, 3 oder 6 Halbtonschritten (HTS) nach oben oder unten vom vorherigen Ton. Die insgesamt neun möglichen Paare wurden jeweils achtmal im Test dargeboten. Die Teilnehmer sollten bei insgesamt 72 Beispielen beurteilen, welcher der dargebotenen Töne der Höhere gewesen sei.

## 2. Material und Methoden

### 2.4.2. Fragebogen zu den Musikhörgewohnheiten

Der in unserer Studie gebrauchte nicht validierte Fragebogen (siehe Anlage 2) basiert auf dem zur Musiktestbatterie MACarena zugehörigen Züricher Musikfragebogen [10]. Dieser erfragte neben persönlichen Angaben die musikalische Vorbildung und die Musikhörerfahrung. Des Weiteren erfasste der Fragebogen die Musikhörgewohnheiten zu den verschiedenen Zeitpunkten: „vor der Implantation/Ertaubung“, „nach der Implantation“ und „nach Umstellung der Sprachkodierungsstrategie“. Die normalhörenden Probanden wurden nur bezüglich ihrer aktuellen Hörgewohnheiten befragt, CI-spezifische Fragen wurden ausgelassen. Die Auswahl der Musikstile wurde um „Oper“ und „Religiöse Musik“ erweitert.

### 2.4.3. Datenarchivierung

Alle in der Studie erfassten Daten wurden anonymisiert in dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel von Microsoft in einer Tabelle gespeichert. Aus diesen Daten gingen lediglich studienspezifische Informationen hervor.

### 2.4.4. Statistische Methoden

Die Testergebnisse wurden in einer Excel-Tabelle erfasst und mit Unterstützung des Instituts für Biometrie und Medizinische Informatik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg mit dem Statistikprogramm SPSS ausgewertet. Als Signifikanzniveau wurde, falls nicht anders angegeben, für alle statistischen Tests  $p < 0,05$  festgelegt. Dabei kamen folgende Verfahren zur Anwendung:

- Kruskal-Wallis-Test
- Mann-Whitney-Test
- Wilcoxon-Test
- Rangkorrelationskoeffizient nach Kendall-Tau-b
- t-Test.

Die Erstellung der Grafiken erfolgte ebenfalls mit SPSS. In den Tabellen 4-11 sind für jede Versuchspersonengruppe die Extremwerte sowie der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Die Abbildungen 8-13 sowie die Abbildungen 18-25 zeigen die Daten als Kastengrafik mit Median und Interquartilsbereich. Die Antennen zeigen den Antwortbereich ohne Ausreißer. Die Ausreißer zwischen dem 1,5fachen und dem 3fachen des Interquartilsabstands sind mit Punkten gekennzeichnet. Extremwerte, die mehr als 3 Interquartilsweiten außerhalb der Box liegen, werden mit Kreuzen dargestellt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern im Vergleich zu normalhörenden Probanden

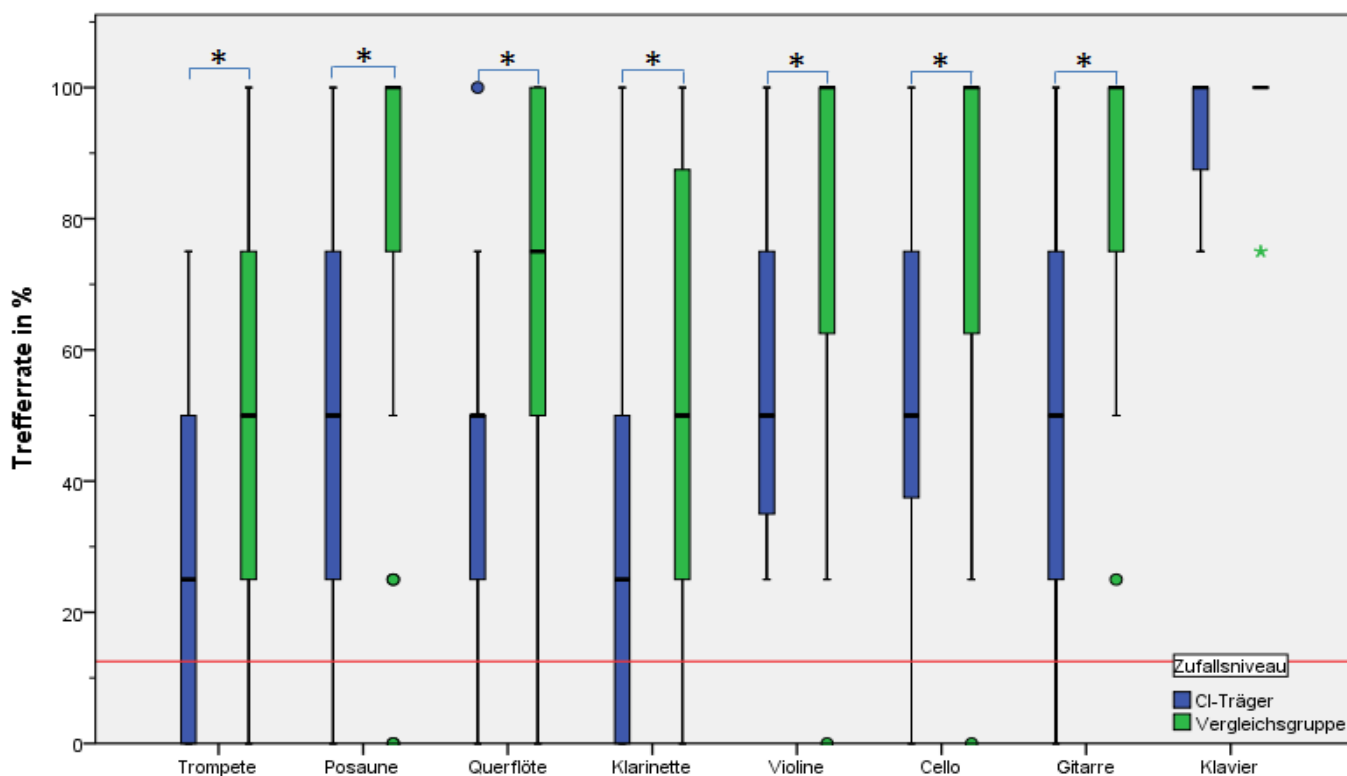
##### 3.1.1. Erkennen von Musikinstrumenten

Hörvermögen der Probanden	Musikinstrument	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
CI-Träger	Trompete	0	75	26,0	26,0
	Posaune	0	100	47,9	32,1
	Querflöte	0	100	43,8	25,8
	Klarinette	0	100	32,3	29,0
	Violine	25	100	57,1	25,1
	Cello	0	100	57,3	29,9
	Gitarre	0	100	53,1	28,8
	Klavier	75	100	93,8	11,1
normalhörende Vergleichsgruppe	Trompete	0	100	56,5	33,0
	Posaune	0	100	77,2	33,6
	Querflöte	0	100	68,4	33,0
	Klarinette	0	100	59,8	31,7
	Violine	0	100	77,2	30,1
	Cello	0	100	79,4	28,9
	Gitarre	25	100	87,0	22,4
	Klavier	75	100	96,7	8,6

**Tab. 4:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Musikinstrumenten durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Tests zum Erkennen von Musikinstrumenten sind in Abb. 8 dargestellt und wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz geprüft. CI-Träger erkannten alle Musikinstrumente signifikant schlechter als normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (Trompete 0,002; Posaune 0,003; Querflöte 0,005; Klarinette 0,004; Violine 0,000; Cello 0,000; Gitarre 0,008), ausgenommen das Klavier (0,461). Das Klavier erkannten beiden Probandengruppen so gut, dass die Ergebnisse in der Sättigung waren. Die Trefferraten der einzelnen Musikinstrumente variierten individuell sehr stark und lagen sowohl für CI-Träger als auch für normalhörende Probanden zwischen 0-100%. Dies resultierte in einer großen Streuung der Ergebnisse. Die Trefferraten beider Probandengruppen lagen bei allen Musikinstrumenten im Mittelwert deutlich über dem Zufallsniveau von 12,5%. Am schlechtesten erkannten CI-Träger die Trompete (MW 26,0%), gefolgt von der Klarinette (MW 32,3%). Am häufigsten wurde von den CI-Trägern das Klavier korrekt erkannt (MW 93,8%). Normalhörende Probanden erkannten ebenfalls die Trompete am schlechtesten (MW 56,6%). Am besten gelang ihnen die Zuordnung des Klaviers (MW 96,7%).



**Abb. 8:** Erkennen von Musikinstrumenten durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

### 3. Ergebnisse

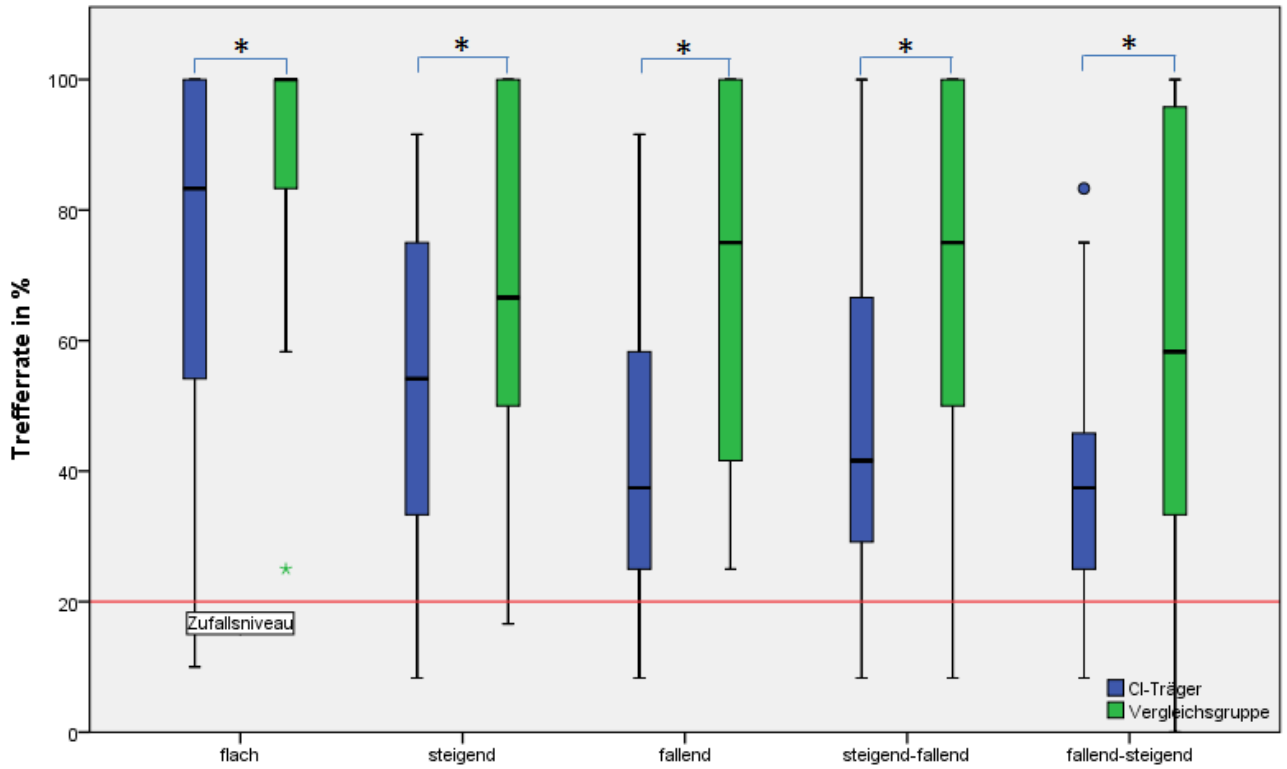
#### 3.1.2. Erkennen von Melodiekonturen

Hörvermögen der Probanden	Melodiekontur	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
CI-Träger	flach	10,0	100,0	74,7	25,4
	steigend	8,3	91,6	52,0	23,1
	fallend	8,3	91,6	43,7	24,3
	steigend-fallend	8,3	100,0	48,2	23,8
	fallend-steigend	8,3	83,3	39,9	20,6
normalhörende Vergleichsgruppe	flach	25,0	100,0	89,5	19,5
	steigend	16,6	100,0	70,3	29,2
	fallend	25,0	100,0	70,6	28,9
	steigend-fallend	8,3	100,0	68,5	31,3
	fallend-steigend	0,0	100,0	57,6	33,8

**Tab. 5:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

Die Ergebnisse des Tests zum Erkennen von Melodiekonturen sind in Abb. 9 veranschaulicht. Die Daten wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz geprüft. CI-Träger erkannten den Verlauf aller dargebotenen Melodiekonturen signifikant schlechter als normalhörende Probanden (flach 0,013; steigend 0,023; fallend 0,001; steigend-fallend 0,023; fallend-steigend 0,045). Beide Probandengruppen erkannten den flachen Melodieverlauf am häufigsten korrekt. Der fallend-steigende Melodieverlauf wurde von beiden Gruppen am schlechtesten erkannt. Die Trefferraten der einzelnen Melodiekonturen zeigten große individuelle Schwankungen und lagen je nach Melodiekontur und Hörvermögen zwischen 0-100%. Dies resultierte auch in einer großen Streuung der Ergebnisse beider Probandengruppen. CI-Träger sowie normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe konnten alle Melodiekonturen im Mittelwert deutlich über dem Zufallsniveau von 20% erkennen. Die Ergebnisse der flachen Melodiekontur waren bei den normalhörenden Probanden in der Sättigung.

### 3. Ergebnisse



**Abb. 9:** Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

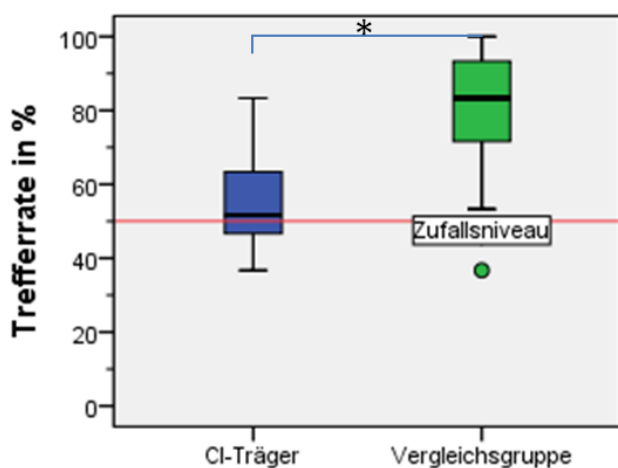
### 3. Ergebnisse

#### 3.1.3. Erkennen von harmonischen Akkorden

Hörvermögen der Probanden	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
CI-Träger	36,7	83,3	56,0	12,9
normalhörende Vergleichsgruppe	36,7	100,0	79,7	16,7

**Tab. 6:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

Die in Abb. 10 veranschaulichten Ergebnisse des Tests zum Erkennen von harmonischen Akkorden wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz geprüft. Den CI-Trägern gelang das Erkennen von harmonischen Akkorden signifikant schlechter als den normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (0,000). Die individuellen Trefferraten lagen zwischen 36,7-100% (CI-Träger 36,7-83,3%; normalhörende Probanden 36,7-100%). CI-Träger erkannten harmonische Akkorde im Mittelwert nur 6% über dem Zufallsniveau von 50%, wohingegen normalhörende Probanden den harmonischen Akkord im Mittelwert 29,7% über dem Zufallsniveau erkannten. Die Ergebnisse waren bei den CI-Trägern (SD 12,9) etwas weniger gestreut als bei den normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (SD 16,7).



**Abb. 10:** Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)



### 3. Ergebnisse

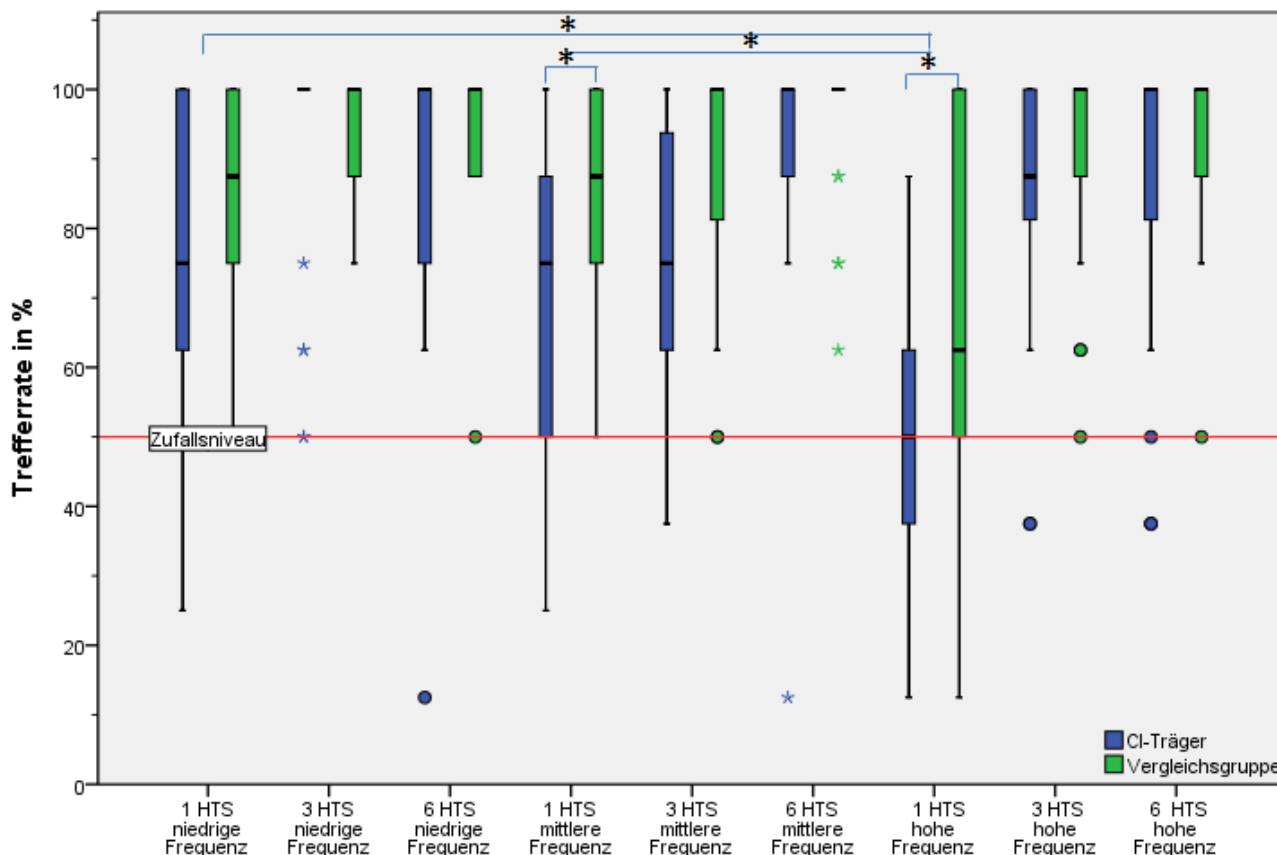
#### 3.1.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden

Hörvermögen der Probanden	Tonhöhenunterschied	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
CI-Träger	niedrige Frequenz 1 HTS	25,0	100,0	77,7	20,6
	niedrige Frequenz 3 HTS	50,0	100,0	91,3	17,4
	niedrige Frequenz 6 HTS	12,5	100,0	86,4	22,0
	mittlere Frequenz 1 HTS	25,0	100,0	67,9	20,6
	mittlere Frequenz 3 HTS	37,5	100,0	77,7	18,4
	mittlere Frequenz 6 HTS	12,5	100,0	91,8	19,1
	hohe Frequenz 1 HTS	12,5	87,5	51,6	20,1
	hohe Frequenz 3 HTS	37,5	100,0	85,9	19,3
	hohe Frequenz 6 HTS	37,5	100,0	87,5	21,0
normalhörende Vergleichsgruppe	niedrige Frequenz 1 HTS	50,0	100,0	88,0	14,3
	niedrige Frequenz 3 HTS	75,0	100,0	92,9	10,5
	niedrige Frequenz 6 HTS	50,0	100,0	94,6	11,2
	mittlere Frequenz 1 HTS	50,0	100,0	83,2	16,7
	mittlere Frequenz 3 HTS	50,0	100,0	87,5	16,9
	mittlere Frequenz 6 HTS	62,5	100,0	95,2	10,5
	hohe Frequenz 1 HTS	12,5	100,0	67,9	28,4
	hohe Frequenz 3 HTS	50,0	100,0	89,1	14,7
	hohe Frequenz 6 HTS	50,0	100,0	92,9	11,8

**Tab. 7:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

### 3. Ergebnisse

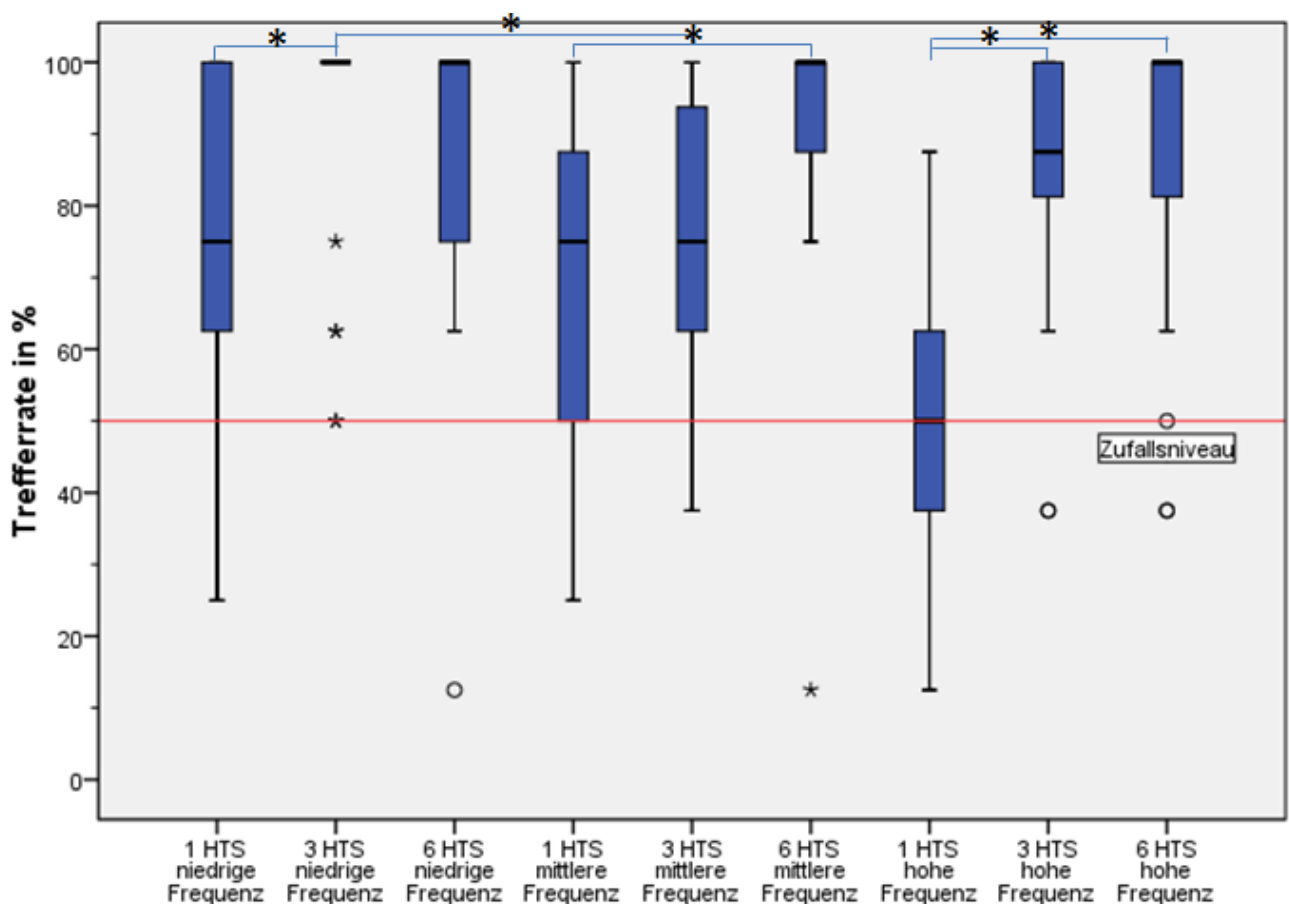
Die Tests zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz geprüft. In Abb. 11 werden beide Probandengruppen vergleichend dargestellt. CI-Träger erkannten 1 HTS in mittlerer Frequenz (0,010) und 1 HTS in hoher Frequenz (0,033) signifikant schlechter als normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe. Alle anderen Tonhöhenunterschiede nahmen CI-Träger nicht signifikant schlechter wahr. Die Trefferraten der einzelnen Probanden beider Gruppen lagen im Bereich von 12,5-100%. Beide Probandengruppen erkannten alle Tonhöhenunterschiede im Mittelwert über dem Zufallsniveau von 50%. Sowohl CI-Träger als auch normalhörende Probanden konnten nach Analyse der Ergebnisse mit dem Wilcoxon-Test signifikant besser 1 HTS im niedrigen Frequenzbereich unterscheiden als im hohen Frequenzbereich (CI-Träger 0,000; normalhörende Probanden 0,000) und 1 HTS im mittleren Frequenzbereich besser erkennen als 1 HTS im hohen Frequenzbereich (CI-Träger 0,007; normalhörende Probanden 0,002). Die Ergebnisse der normalhörenden Probanden waren, mit Ausnahme des Intervalls von 1 HTS in hoher Frequenz, weniger gestreut als die Ergebnisse der CI-Träger. Mit Zunahme des Tonabstandes erreichten beide Probandengruppen eine Sättigung der Ergebnisse. Die Unterschiede waren mit zunehmendem Tonhöhenunterschied nicht signifikant.



**Abb. 11:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

### 3. Ergebnisse

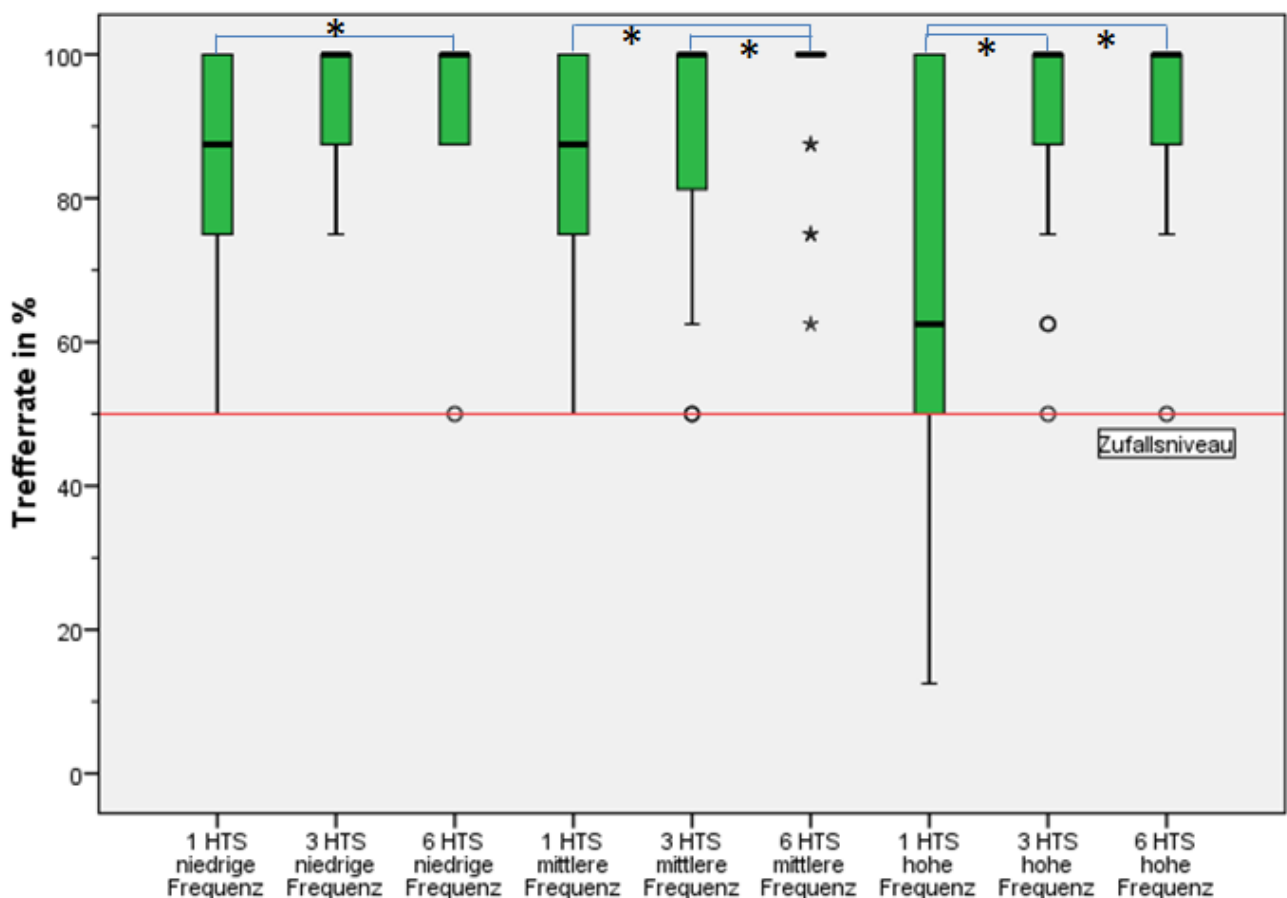
Die Ergebnisse der CI-Träger sind separat in Abb. 12 veranschaulicht. In unserer Studie erkannten CI-Träger den Tonhöhenunterschied von 1 HTS im hohen Frequenzbereich am schlechtesten (MW 51,6%). Am besten wurde von der genannten Gruppe der Tonhöhenunterschied von 6 HTS im mittleren Frequenzbereich erkannt (MW 91,8%). Die Ergebnisse zeigen, dass CI-Träger große Tonhöhenunterschiede besser erkannten als kleine Tonhöhenunterschiede. Nach Überprüfung der Ergebnisse mit dem Wilcoxon-Test erkannten CI-Träger in allen Frequenzbereichen 3 HTS besser als 1 HTS (niedrige Frequenz 0,013; mittlere Frequenz 0,062; hohe Frequenz 0,000). Intervalle von 6 HTS erkannten CI-Träger in allen Frequenzbereichen besser als 1 HTS (niedrige Frequenz 0,080; mittlere Frequenz 0,000; hohe Frequenz 0,000). Des Weiteren scheint sich optisch mit Zunahme der Frequenz das Erkennen von Tonhöhenunterschieden bei kleinen Intervallen zu verschlechtern. Den Tonhöhenunterschied von 3 HTS nahmen CI-Träger im niedrigen Frequenzbereich signifikant besser (0,008) wahr als im mittleren Frequenzbereich. Auf andere Frequenzbereiche war dieses Ergebnis nicht reproduzierbar.



**Abb. 12:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch die CI-Träger (n=24)

### 3. Ergebnisse

Die Abb. 13 zeigt das Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch normalhörende Probanden. Die Vergleichsgruppe erkannte am schlechtesten den Tonhöhenunterschied von 1 HTS im hohen Frequenzbereich (MW 67,9%). Am besten nahmen normalhörende Probanden das Intervall von 6 HTS im mittleren Frequenzbereich (MW 95,1%) wahr. Die normalhörenden Probanden erkannten mit Zunahme des Tonhöhenabstands besser Tonhöhenunterschiede. Nach Analyse der Ergebnisse mit dem Wilcoxon-Test nahmen die normalhörenden Probanden im niedrigen Frequenzbereich signifikant besser einen Tonhöhenunterschied von 6 HTS als einen Unterschied von 1 HTS (0,037) wahr. Im mittleren Frequenzbereich konnte die Vergleichsgruppe signifikant besser einen Tonhöhenunterschied von 6 HTS wahrnehmen als einen Unterschied von 3 HTS (0,046) und 6 HTS besser als 1 HTS (0,002). Im hohen Frequenzbereich erkannten normalhörende Probanden signifikant besser einen Tonhöhenunterschied von 3 HTS als einen Unterschied von 1 HTS (0,000) und einen Tonhöhenunterschied von 6 HTS signifikant besser als einen Unterschied von 1 HTS (0,000). Trotzdem es dem Betrachter optisch nahe gelegt wird, erkannten normalhörende Probanden Tonhöhenunterschiede im niedrigen und mittleren Frequenzbereich nicht signifikant besser als im hohen Frequenzbereich.

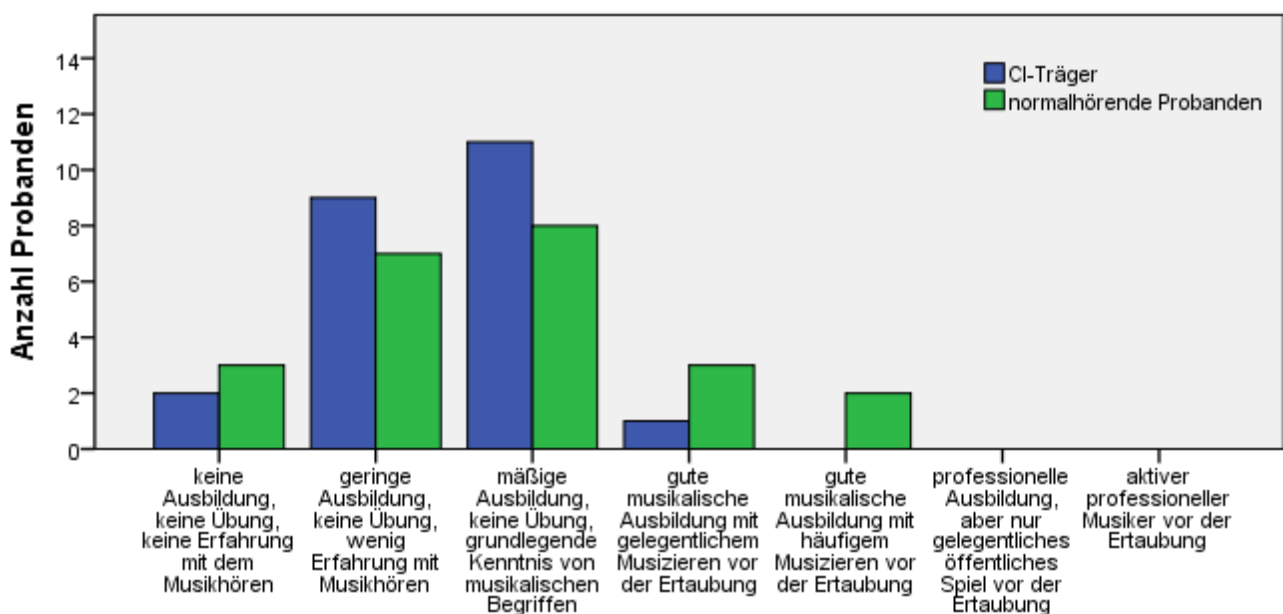


**Abb. 13:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch die normalhörende Vergleichsgruppe (n=23)

### 3. Ergebnisse

#### 3.1.5. Musikalische Ausbildung, Hörgewohnheiten und Zufriedenheit mit dem Musikhören

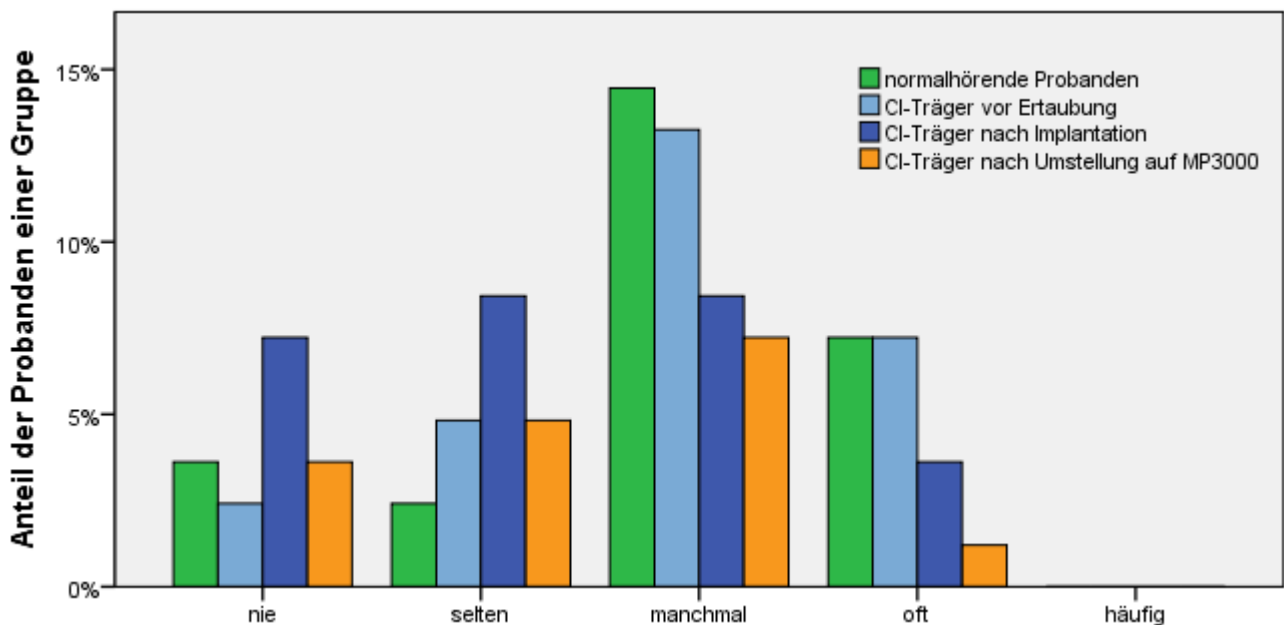
Die musikalische Ausbildung der Probanden unserer Studie ist in Abb. 14 dargestellt. Die Angabe des Zeitpunktes „vor der Ertaubung“ entsprach bei den normalhörenden Probanden dem aktuellen Hörvermögen. Die CI-Träger gaben an, dass sie eine musikalische Ausbildung auf geringem bis mäßigem Niveau (MW 1,5; SD 0,7) besaßen. Die musikalische Ausbildung der CI-Träger war weniger geringer als die der normalhörenden Probanden (MW 1,7; SD 1,1). Der größte Teil der CI-Träger (11 Probanden) und der normalhörenden Vergleichsgruppe (8 Probanden) besaß eine mäßige musikalische Ausbildung ohne Übung und mit grundlegenden Kenntnissen von musikalischen Begriffen. Zwei CI-Träger und drei normalhörende Probanden gaben an, keine musikalische Ausbildung, keine Übung und keine Erfahrung mit dem Musikhören zu besitzen. Zwei normalhörende Probanden gaben an, eine gute musikalische Ausbildung zu besitzen und regelmäßig zu musizieren. Eine professionelle musikalische Ausbildung genoss keiner der Probanden.



**Abb. 14:** Musikalische Ausbildung von CI-Trägern (n=24) und normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (n=23)

### 3. Ergebnisse

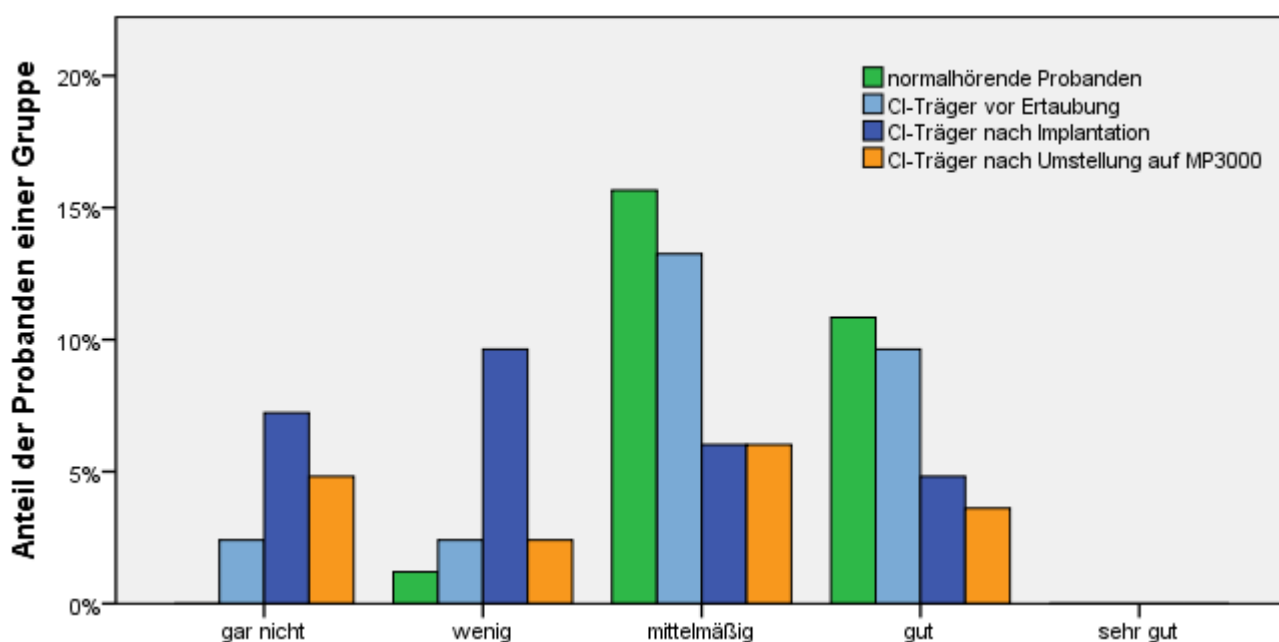
In Abb. 15 ist die Häufigkeit des Musikhörens zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Die Häufigkeit des Musikhörens wurde von den CI-Trägern vor der Ertaubung (MW 2,9; SD 0,9) sowie von den normalhörenden Probanden (MW 2,9; SD 0,9) zwischen selten (2) und manchmal (3) angegeben. Der größte Teil der CI-Träger (12 Probanden) sowie der normalhörenden Vergleichsgruppe (9 Probanden) hörte vor der Ertaubung manchmal Musik. Zwei CI-Träger und drei normalhörende Probanden hörten vor ihrer Ertaubung nie Musik. Kein Proband hörte vor seiner Ertaubung häufig Musik. Nach der Implantation (MW 2,3; SD 1,0) hörten CI-Träger signifikant weniger Musik als vor ihrer Ertaubung (Mann-Whitney-Test: 0,039). Die Häufigkeit des Musikhörens nach Implantation und mit der neuen Sprachkodierungsstrategie MP3000 unterschied sich nicht signifikant (MW 2,4, SD 0,9).



**Abb. 15:** Häufigkeit des Musikhörens von normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (n=23) und CI-Trägern zu verschiedenen Zeitpunkten [vor Ertaubung (n=24), nach Implantation (n=24), nach Umstellung auf MP3000 (n=14)]

### 3. Ergebnisse

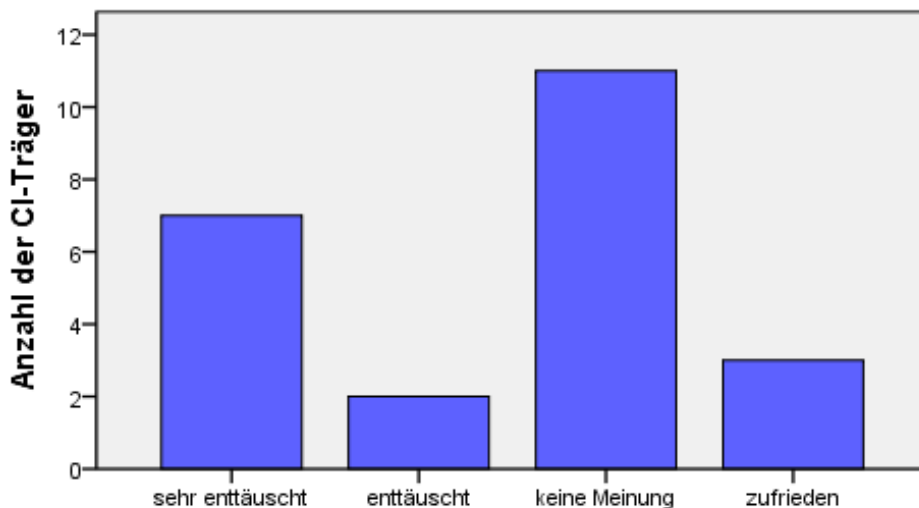
In Abb. 16 ist der Gefallen am Musikhören zu verschiedenen Zeitpunkten dargestellt. Der Gefallen am Musikhören wurde von den CI-Trägern vor der Ertaubung (MW 3,1; SD 0,9) sowie von der normalhörenden Vergleichsgruppe (MW 3,4; SD 0,6) zwischen mittelmäßig (3) und gut (4) angegeben. Dem größten Teil der CI-Träger (13 Probanden) sowie der normalhörenden Vergleichsgruppe (13 Probanden) gefiel das Musikhören vor der Ertaubung mittelmäßig. Keinem Probanden gefiel das Musikhören vor der Ertaubung sehr gut. Nach Implantation (MW 2,3; SD 1,1) sank der Gefallen der CI-Träger am Musikhören signifikant ab (Mann-Whitney-Test: 0,011). Nach Implantation und mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 unterschied sich der Gefallen am Musikhören nicht signifikant (MW 2,5; SD 1,2).



**Abb. 16:** Gefallen am Musikhören von normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (n=23) und CI-Trägern zu verschiedenen Zeitpunkten [vor Ertaubung (n=24), nach Implantation (n=24), nach Umstellung auf MP3000 (n=14)]

Die teilnehmenden CI-Träger gaben ihre Zufriedenheit mit dem Musikhören (siehe Abb. 17) zu Beginn unserer Studie an (MW 2,4; SD 1,1). So waren 7 CI-Träger vom Musikhören sehr enttäuscht, weitere 2 CI-Träger gaben an, enttäuscht zu sein. 11 CI-Träger hatten keine Meinung. Nur 3 der 24 CI-Träger gab an, mit dem Musikhören zufrieden zu sein. Kein CI-Träger war mit dem Musikhören sehr zufrieden. Die Umstellung der Sprachkodierungsstrategie von ACE (MW 2,5; SD 0,9) auf MP3000 (MW 2,5; SD 0,9) beeinflusste nicht die Zufriedenheit der CI-Träger.

### 3. Ergebnisse



**Abb. 17:** Zufriedenheit der CI-Träger (n=24) mit dem Musikhören zu Beginn der Studie

## 3.2. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000

### 3.2.1. Erkennen von Musikinstrumenten

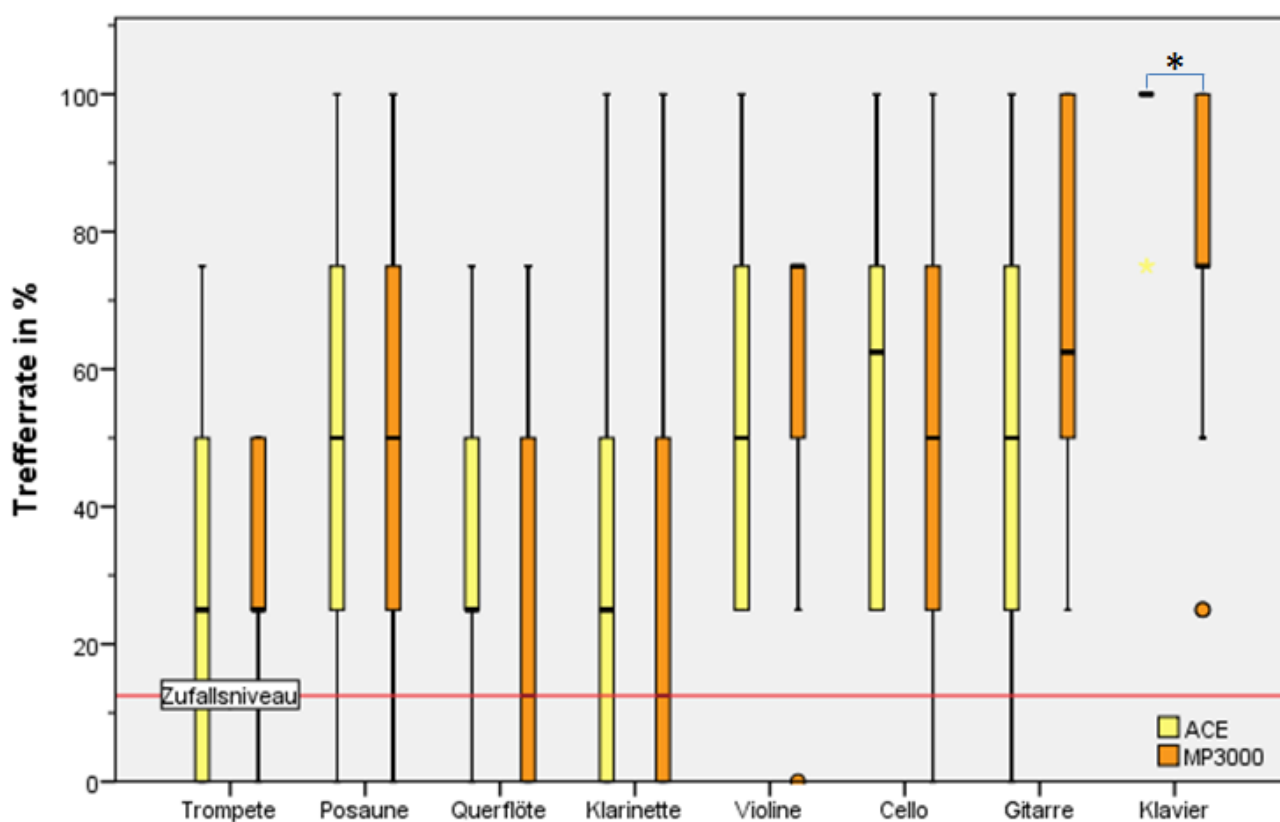
Sprachkodierungsstrategie	Musikinstrument	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standard- abweichung
ACE (vor Umstellung)	Trompete	0	75	28,6	30,8
	Posaune	0	100	55,3	32,8
	Querflöte	0	75	33,9	25,2
	Klarinette	0	100	30,4	31,3
	Violine	25	100	51,8	22,9
	Cello	25	100	60,7	28,9
	Gitarre	0	100	51,8	26,8
	Klavier	75	100	94,6	10,6
MP3000 (nach Umstellung)	Trompete	43,3	76,7	28,6	19,3
	Posaune	0	50	53,6	35,2
	Querflöte	0	100	25,0	29,4
	Klarinette	0	75	25,0	31,0
	Violine	0	100	58,9	23,2
	Cello	0	75	51,8	34,6
	Gitarre	0	100	66,1	27,0
	Klavier	25	100	78,8	26,8

**Tab. 8:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Musikinstrumenten durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)



### 3. Ergebnisse

In Abb. 18 ist das Erkennen von Musikinstrumenten mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000 im Vergleich dargestellt. In unserer Studie beeinflusste die Sprachkodierungsstrategie lediglich das Erkennen des Klaviers signifikant. Nach Analyse der Ergebnisse mit dem Wilcoxon-Test erkannten CI-Träger mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 das Klavier signifikant schlechter (0,016) als mit der Sprachkodierungsstrategie ACE. Die Mittelwerte der Trefferraten aller Musikinstrumente lagen sowohl mit ACE als auch mit MP3000 über dem Zufallsniveau von 12,5%. Am schlechtesten wurde mit beiden Sprachkodierungsstrategien in steigender Reihenfolge die Trompete, die Klarinette und die Querflöte erkannt, am besten das Klavier. Eine Sättigung der Ergebnisse war mit beiden Sprachkodierungsstrategien ausschließlich beim Klavier zu verzeichnen.



**Abb. 18:** Erkennen von Musikinstrumenten mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

### 3. Ergebnisse

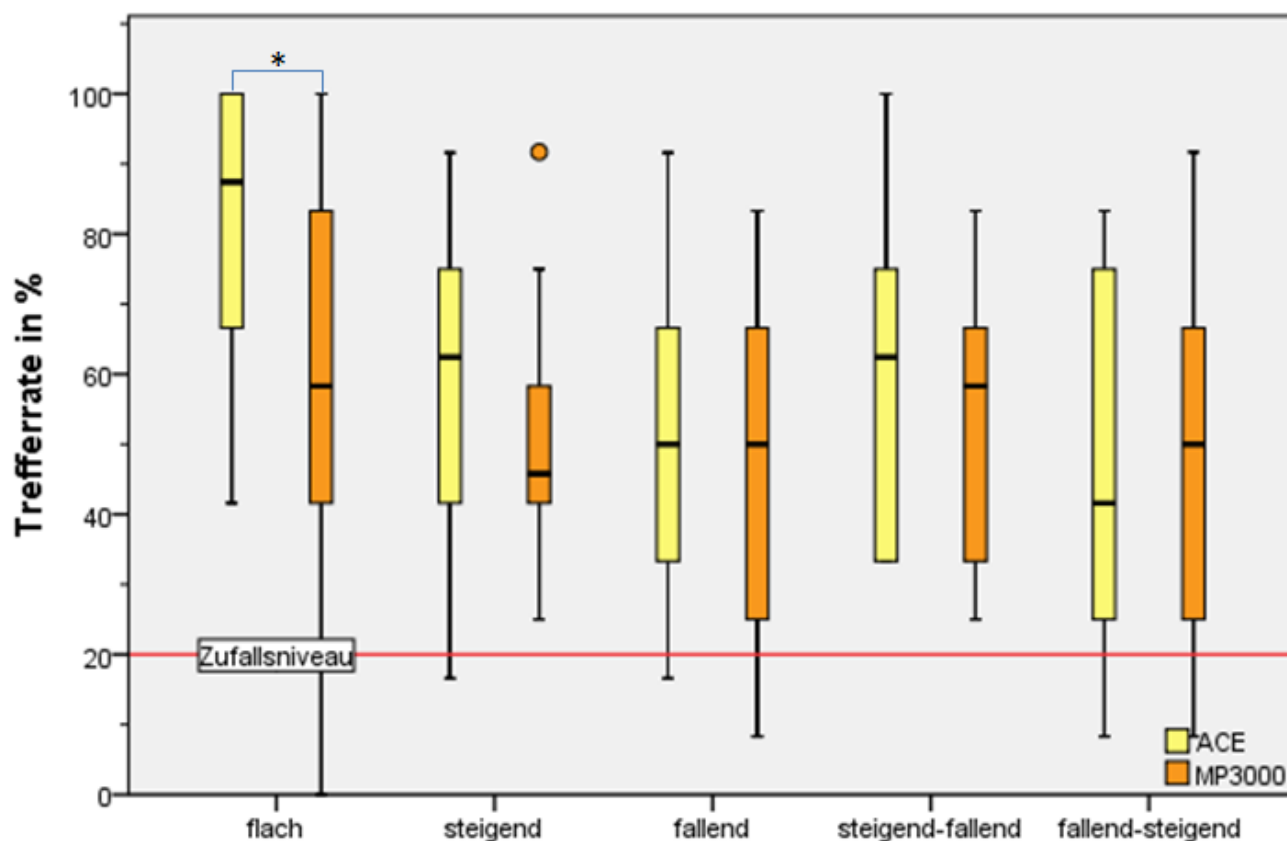
#### 3.2.2. Erkennen von Melodiekonturen

Sprachkodierungsstrategie	Melodiekontur	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
ACE (vor Umstellung)	flach	41,6	100,0	83,3	19,9
	steigend	16,6	91,6	60,1	21,7
	fallend	16,6	91,6	50,0	24,4
	steigend-fallend	33,3	100,0	57,1	21,2
	fallend-steigend	8,3	83,3	44,0	23,9
MP3000 (nach Umstellung)	flach	0,0	100,0	57,7	30,2
	steigend	25,0	91,7	50,0	19,4
	fallend	8,3	83,3	49,4	23,0
	steigend-fallend	25,0	83,3	54,1	18,4
	fallend-steigend	8,3	91,7	47,6	23,0

**Tab. 9:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

Das Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000 ist in Abb. 19 veranschaulicht. In unserer Studie beeinflusste die Sprachkodierungsstrategie nur das Erkennen der flachen Melodiekontur signifikant. Nach statistischer Auswertung der Ergebnisse mit dem Wilcoxon-Test erkannten CI-Träger mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 signifikant schlechter die flache Melodiekontur (0,004) als mit der Sprachkodierungsstrategie ACE. Die steigende Melodiekontur wurde mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 tendenziell schlechter (0,055) erkannt als mit der Sprachkodierungsstrategie ACE. Die Trefferraten lagen für beide Sprachkodierungsstrategien im Mittelwert über dem Zufallsniveau von 20%. Eine Sättigung der Ergebnisse erreichte die flache Melodiekontur mit der Sprachkodierungsstrategie ACE. Am besten wurde mit beiden Sprachkodierungsstrategien die flache Melodiekontur erkannt, am schlechtesten gelang die korrekte Zuordnung der fallend-steigenden Melodiekontur.

### 3. Ergebnisse



**Abb. 19:** Erkennen von Melodiekonturen mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

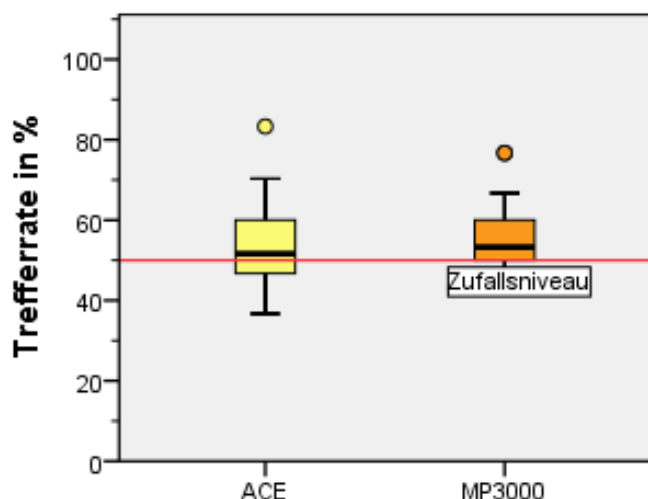
#### 3.2.3. Erkennen von harmonischen Akkorden

Sprachkodierungsstrategie	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
ACE (vor Umstellung)	36,7	83,3	54,3	13,0
MP3000 (nach Umstellung)	43,3	76,7	56,7	10,6

**Tab. 10:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

In Abb. 20 ist das Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000 dargestellt. In unserer Studie beeinflusste die Sprachkodierungsstrategie nicht signifikant das Erkennen von harmonischen Akkorden. Die Streuung der Ergebnisse wurde ebenfalls nicht von der Sprachkodierungsstrategie beeinflusst. Die Mittelwerte der Trefferraten lagen für beide Sprachkodierungsstrategien nahe dem Zufallsniveau von 50%. Eine Sättigung der Ergebnisse wurde nicht erreicht.

### 3. Ergebnisse



**Abb. 20:** Erkennen von harmonischen Akkorden mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

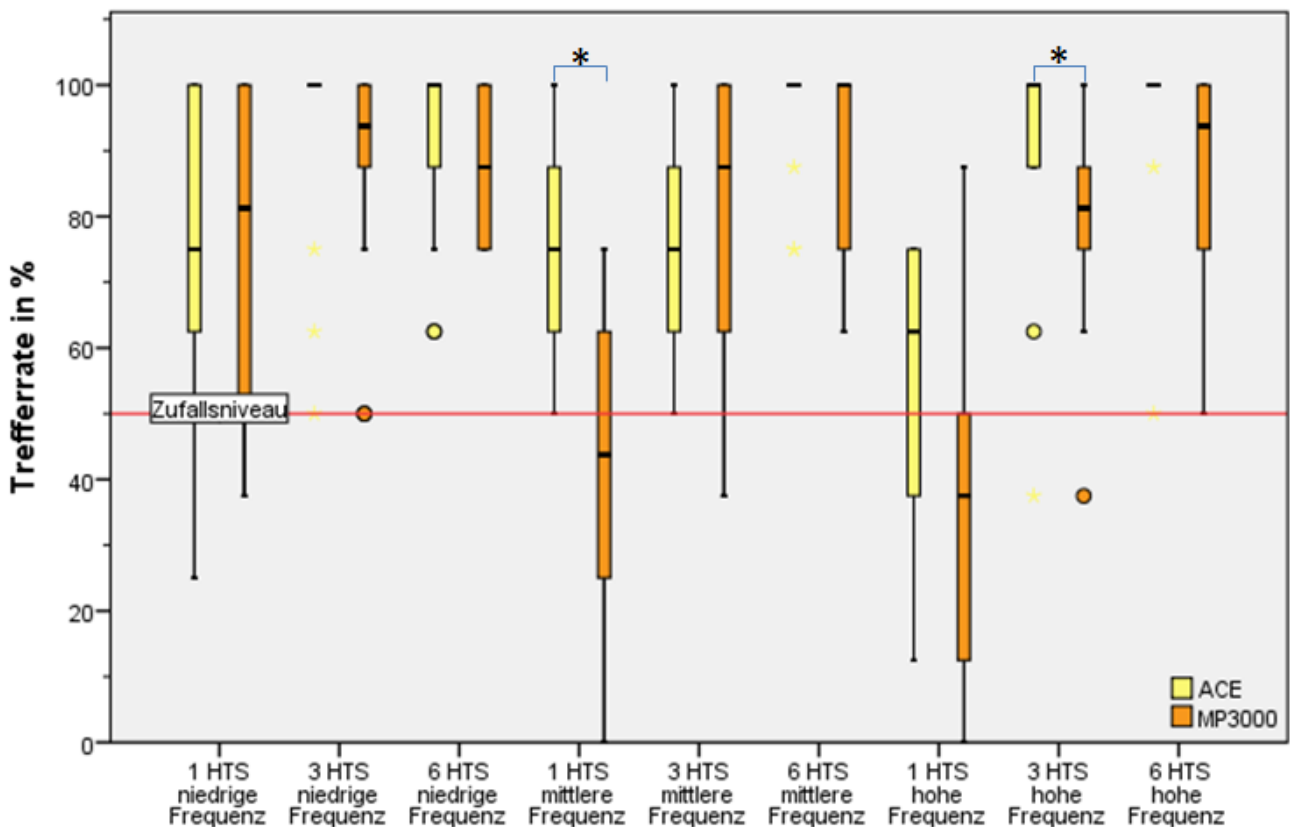
#### 3.2.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden

Sprachkodierungsstrategie	Tonhöhenunterschied	Minimum in %	Maximum in %	Mittelwert in %	Standardabweichung
ACE (vor Umstellung)	niedrige Frequenz 1 HTS	25,0	100,0	76,9	23,9
	niedrige Frequenz 3 HTS	50,0	100,0	91,3	17,2
	niedrige Frequenz 6 HTS	62,5	100,0	90,4	14,6
	mittlere Frequenz 1 HTS	50,0	100,0	73,1	16,8
	mittlere Frequenz 3 HTS	50,0	100,0	78,8	16,4
	mittlere Frequenz 6 HTS	75,0	100,0	95,2	9,6
	hohe Frequenz 1 HTS	12,5	75,0	52,9	21,1
	hohe Frequenz 3 HTS	37,5	100,0	88,5	18,7
	hohe Frequenz 6 HTS	50,0	100,0	95,2	14,0
MP3000 (nach Umstellung)	niedrige Frequenz 1 HTS	37,5	100,0	74,1	23,2
	niedrige Frequenz 3 HTS	50,0	100,0	87,5	17,7
	niedrige Frequenz 6 HTS	75,0	100,0	89,3	10,8
	mittlere Frequenz 1 HTS	0,0	75,0	44,6	24,9
	mittlere Frequenz 3 HTS	37,5	100,0	78,6	21,6
	mittlere Frequenz 6 HTS	62,5	100,0	91,1	13,4
	hohe Frequenz 1 HTS	0,0	87,5	37,5	23,5
	hohe Frequenz 3 HTS	37,5	100,0	78,6	16,6
	hohe Frequenz 6 HTS	50,0	100,0	87,5	16,3

**Tab. 11:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden sind in Abb. 21 dargestellt und wurden mit dem Wilcoxon-Test auf Signifikanz geprüft. Im mittleren Frequenzbereich erkannten CI-Träger mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 einen Tonhöhenunterschied von 1 HTS signifikant schlechter (0,03) als mit der Sprachkodierungsstrategie ACE. Im hohen Frequenzbereich konnten CI-Träger mit MP3000 signifikant schlechter den Tonhöhenunterschied von 3 HTS (0,047) erkennen. Die Sprachkodierungsstrategie beeinflusste im niedrigen Frequenzbereich nicht das Erkennen von Tonhöhenunterschieden. Mit Zunahme des Tonhöhenabstandes gelang mit beiden Sprachkodierungsstrategien das Erkennen der Tonhöhenunterschiede besser. Die Streuung der Ergebnisse wurde nicht durch die Sprachkodierungsstrategie beeinflusst. Die Mittelwerte der Trefferraten lagen mit MP3000 für 1 HTS im mittleren Frequenzbereich sowie für 1 HTS im hohen Frequenzbereich unterhalb des Zufallsniveaus von 50%. Eine Sättigung der Ergebnisse war mit Zunahme des Tonhöhenunterschiedes mit beiden Sprachkodierungsstrategien in allen Frequenzbereichen zu verzeichnen.



**Abb. 21:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14)

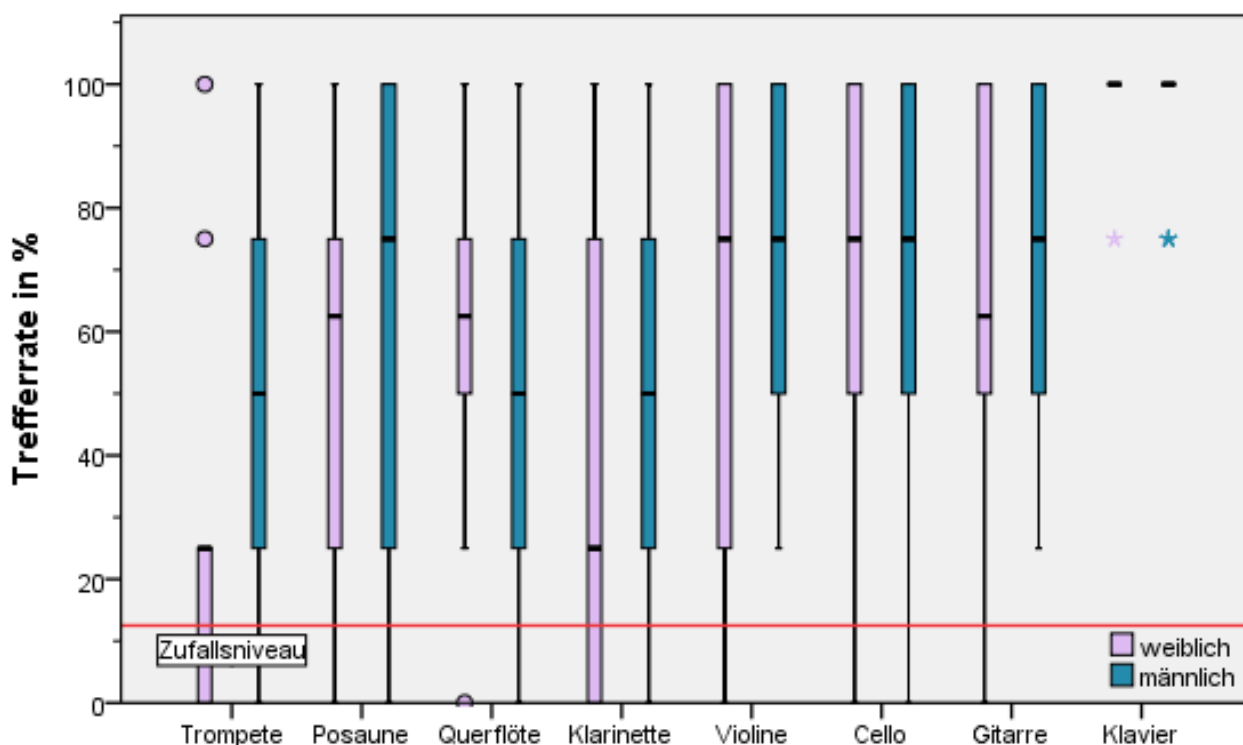
### 3. Ergebnisse

#### 3.3. Geschlechtsspezifische Unterschiede der Perzeption musikalischer Parameter

Die unausgewogene Geschlechterverteilung der Gruppe der CI-Träger (18m, 6w) wirkte sich durch das Matching auf die anschließend rekrutierten normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe aus. Aufgrund der wenigen weiblichen Studienteilnehmerinnen ist eine geschlechtsabhängige Betrachtung der Ergebnisse unserer Studie nur eingeschränkt aussagekräftig.

##### 3.3.1. Erkennen von Musikinstrumenten

Die Ergebnisse zum Erkennen von Musikinstrumenten sind in Abb. 22 unabhängig vom Hörvermögen nach Geschlechtern getrennt dargestellt. Die Daten unserer Studie wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz geprüft. In unserer Studie konnten männliche Probanden tendenziell besser (0,053) die Trompete erkennen als weibliche Studienteilnehmerinnen. Bei separater Betrachtung der CI-Träger (0,291) und der normalhörenden Probanden (0,227) war dieses Ergebnis nicht signifikant. Für andere Musikinstrumente zeigte sich ebenfalls kein geschlechtsspezifischer Unterschied.

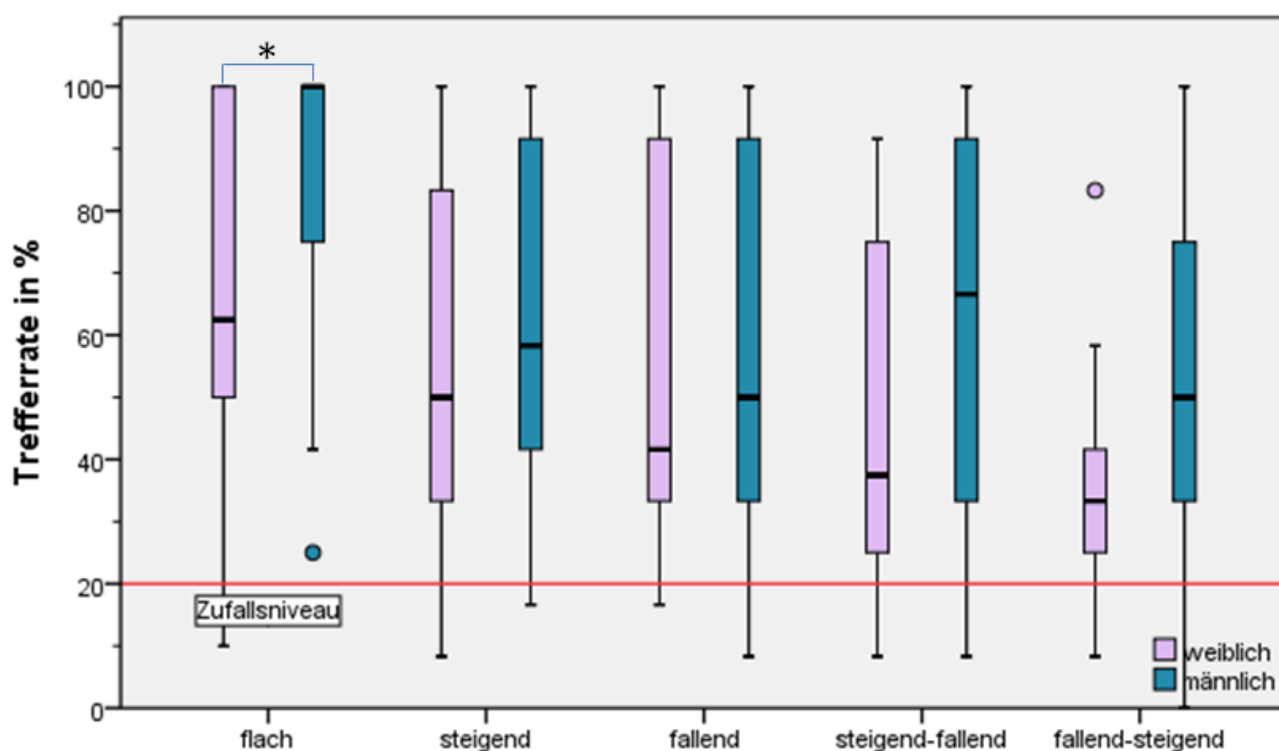


**Abb. 22:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von Musikinstrumenten unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m)

### 3. Ergebnisse

#### 3.3.2. Erkennen von Melodiekonturen

Die Ergebnisse zum Erkennen von Melodiekonturen sind in Abb. 23 unabhängig vom Hörvermögen nach Geschlechtern getrennt dargestellt. Nach Überprüfung der Ergebnisse mit dem Mann-Whitney-Test konnten Männer in unserer Studie die flache Melodiekontur signifikant besser erkennen als Frauen (0,016). Innerhalb der Gruppe der CI-Träger (8w, 16m) war dieses Ergebnis ebenfalls signifikant (0,002). Für andere Melodieverläufe zeigte sich bei Betrachtung aller Probanden und innerhalb der einzelnen Probandengruppen kein signifikanter geschlechtsabhängiger Unterschied.

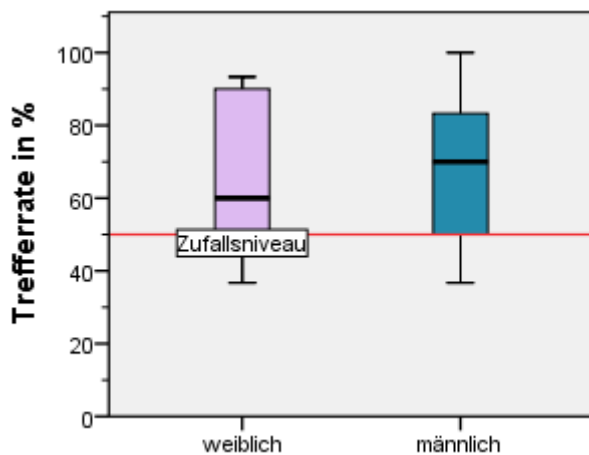


**Abb. 23:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von Melodiekonturen unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m)

### 3. Ergebnisse

#### 3.3.3. Erkennen von harmonischen Akkorden

Die Ergebnisse zum Erkennen von harmonischen Akkorden sind in Abb. 24 unabhängig vom Hörvermögen nach Geschlechtern getrennt dargestellt. Die Ergebnisse wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz getestet. In unserer Studie zeigte sich kein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied für das Erkennen von harmonischen Akkorden.



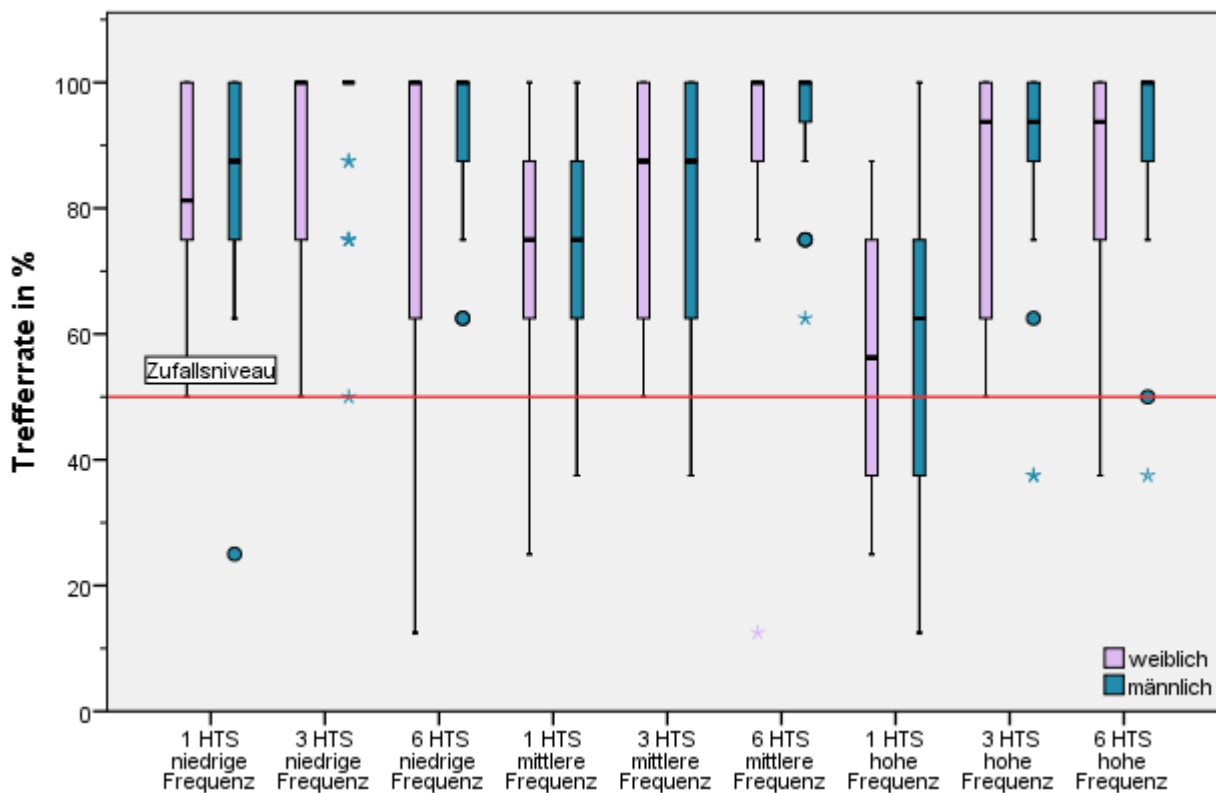
**Abb. 24:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von harmonischen Akkorden unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m)

#### 3.3.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden

Die Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden sind in Abb. 25 unabhängig vom Hörvermögen der Probanden nach Geschlechtern getrennt dargestellt. Die Ergebnisse wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf Signifikanz getestet. In unserer Studie konnte weder bei Betrachtung aller Probanden noch bei separater Betrachtung der einzelnen Gruppen ein statistisch signifikanter geschlechtsabhängiger Unterschied für das Erkennen von Tonhöhenunterschieden gezeigt werden.



### 3. Ergebnisse



**Abb. 25:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von Tonhöhenunterschieden unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m)

#### 3.4. Altersabhängigkeit der Perzeption musikalischer Parameter

Die im Rahmen unserer Studie erhobenen Daten wurden auf einen linearen Zusammenhang des Alters der Probanden und der Trefferraten in den einzelnen Perzeptionstests untersucht. Der Anteil der durch Regression erklärbaren Streuung der y-Werte (Testergebnis in %) war bei allen Musikinstrumenten und allen Melodiekonturen nur schwach bis mäßig ausgeprägt. Der lineare Zusammenhang von Alter und Trefferrate beim Erkennen von Harmonien und beim Erkennen von Tonhöhenunterschieden war nur schwach ausgeprägt. Die grafische Darstellung der Altersabhängigkeit der einzelnen Perzeptionstests erfolgte in Form von Streudiagrammen im Anhang 3. Die Wahrscheinlichkeit des linearen Zusammenhangs ( $R^2$ ) wird jeweils angegeben.

## 4. Diskussion

### 4.1. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern im Vergleich zu normalhörenden Probanden

#### 4.1.1. Erkennen von Musikinstrumenten

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass CI-Träger in der Lage waren, Musikinstrumente anhand ihrer Klangeigenschaften zu unterscheiden. Dennoch erkannten CI-Träger alle Musikinstrumente, ausgenommen das Klavier, signifikant schlechter als normalhörende Probanden. Auch andere Autoren wie Hsiao et al. und Nimmons et al. konnten zeigen, dass CI-Träger bekannte Musikinstrumente signifikant schlechter erkannten als normalhörende Probanden [38, 57].

In unserer Studie unterschieden CI-Träger sowie normalhörende Probanden von allen dargebotenen Musikinstrumenten das Klavier am besten. Des Weiteren zeigte sich, dass beide Gruppen gezupfte und geschlagene Saiteninstrumente (Gitarre und Klavier) im Mittelwert um 23,8% besser erkannten als Blasinstrumente (Trompete, Posaune, Querflöte und Klarinette). Auch Gfeller et al. wiesen nach, dass CI-Träger bei einer großen Auswahl an Musikinstrumenten und ohne Training das Klavier am besten erkannten und dass CI-Trägern die Zuordnung der Trompete besonders schlecht gelang [32, 33]. Gfeller et al. berichteten außerdem, dass CI-Träger Musikinstrumente anhand eines einzelnen Hörbeispiels nur selten über dem Zufallsniveau erkannten [28]. Dies gelang jedoch den CI-Trägern unserer Studie im Mittelwert besser und immer oberhalb des Zufallsniveaus. Die unterschiedlichen Trefferraten sind plausibel, da in unserer Studie vor der eigentlichen Testdurchführung laut Protokoll ein Angewöhnen der Stimuli sowie ein Probelauf erfolgten. Auch Fujita et al. konnten in ihrer Studie nachweisen, dass CI-Träger allgemein bekannte, elektronisch imitierte Musikinstrumente nach einem dem Test vorausgehenden Training oberhalb des Zufallsniveaus erkennen können [20].

Für die Bewertung der Ergebnisse unserer Studie muss beachtet werden, dass das Erkennen von Musikinstrumenten durch die Tonaufnahme der realen Musikinstrumente und deren Präsentation per Lautsprecher beeinflusst worden sein könnte. So war durch die Lautstärkeanpassung und den geringen Tonumfang der präsentierten Melodien eine Verzerrung des natürlichen Klanges eines eigentlich bekannten Instrumentes möglich. Jedoch wurden die Stimuli des Tests nicht weitergehend synthetisch bearbeitet und die Melodie von den Herstellern in einen

## 4. Diskussion

Frequenzbereich transponiert, welcher die charakteristische Tonhöhe der einzelnen Musikinstrumente abbildet. Somit wurde reduziert, dass die Probanden aufgrund der dargebotenen Tonhöhe falsche Schlüsse auf das Musikinstrument ziehen konnten. Für die Eignung der im Test genutzten synthetisch bearbeiteten Stimuli zur Präsentation der Musikinstrumente spricht auch eine Arbeit von Landwehr et al. [46]. Die Autoren konnten aufzeigen, dass eine größere Veränderung des spektralen Schwerpunktes und der spektralen Irregularität bei der Synthese von Tönen nötig war, um eine Änderung des Tonhöhenempfindens bei CI-Trägern zu erzeugen [46].

Eine Ursache für das schlechte Erkennen einzelner Musikinstrumente, besonders der Blasinstrumente, könnte der Aufbau des Tests selbst gewesen sein. Direkt vor Beginn einer Messung erfolgte ein kurzes Training der Probanden, welches jedoch individuell nicht ausreichend gewesen sein könnte. Weiterhin wurden die in unserer Studie dargebotenen Musikinstrumente als bekannt vorausgesetzt. Da dem einzelnen Probanden unbekannte Musikinstrumente nicht vom Test ausgeschlossen werden konnten, ist eine Verfälschung des Ergebnisses möglich. Mittels des Fragebogens wurde im Rahmen unserer Studie die Vertrautheit mit den Musikinstrumenten nicht abgefragt, jedoch lassen die bevorzugten Musikstile Rückschlüsse auf deren Bekanntheit zu. In der von den Probanden unserer Studie gehörten Pop (55%)- und Rockmusik (60%) werden besonders häufig Soloinstrumente wie Gitarre oder Klavier eingesetzt und beeinflussen die Hörerfahrung. Ein geringerer Teil der Probanden gab an, komplex gestaltete Musikstile mit wesentlich vielfältigeren Musikinstrumenten wie Klassik (45%) und Oper (47%) gehört zu haben, wo unter anderem auch Querflöte und Klarinette Verwendung finden.

### 4.1.2. Erkennen von Melodiekonturen

Wir konnten in unserer Studie nachweisen, dass CI-Träger Melodiekonturen um durchschnittlich 19,5% schlechter erkannten als normalhörende Probanden, wobei beide Probandengruppen die flache Melodiekontur am besten und die fallend-steigende Melodiekontur am schlechtesten erkannten. Auch andere Autoren wie Gfeller et al., Gahleitner et al. und Böckmann-Barthel et al. zeigten ein generell schlechteres Perzeptionsvermögen von CI-Trägern für Melodien [27, 21, 7].

Galvin et al. etablierten in mehreren Studien das in der Züricher Musiktestbatterie MACarena präsentierte Testmaterial unter Verwendung weiterer Melodiekonturen [22, 23, 24]. Die Autoren zeigten in allen Studien, dass CI-Träger signifikant zwischen 24,5% und 41,5% schlechter und mit großen individuellen Schwankungen einfache Melodiekonturen identifizieren konnten als

#### 4. Diskussion

normalhörende Probanden. Des Weiteren beschrieben Galvin et al., dass CI-Träger am häufigsten die flache Melodiekontur erkannten [24, 22, 23].

Die CI-Träger der vorliegenden Studie erkannten Melodiekonturen, bestehend aus nicht komplexen synthetischen Tönen, im Mittelwert deutlich über dem Zufallsniveau. In einer Studie von Dorman et al. aus dem Jahre 1991 erkannte ein großer Teil der CI-Träger mit einem heutzutage obsoleten Ineraid Cochlea-Implantat nicht, ob eine auf der Klaviertastatur gespielte Melodie stieg oder fiel [16]. Kong et al. sowie Gfeller et al. konnten unter Verwendung von wesentlich komplexeren Melodien zeigen, dass CI-Träger Melodien ohne rhythmische Begleitung nur in Höhe des Zufallsniveaus erkennen konnten [43, 28]. Den Einfluss der Art der genutzten Stimuli auf die Performance konnten auch Singh et al. zeigen. Die Autoren stellten fest, dass CI-Träger Melodien, bestehend aus Reintönen, signifikant besser erkannten als Melodien aus komplexen harmonischen Tönen und Komponenten in allen Frequenzbereichen [65].

Es ist zu diskutieren, inwieweit das Ergebnis unserer Studie das tatsächliche Perzeptionsvermögen für Melodiekonturen abbildet. Zum einen waren die Melodiekonturen sehr einfach gestaltet und im Gegensatz zu realer Musik unter optimalen Hörbedingungen und ohne weitere begleitende Musikinstrumente präsentiert, die den eigentlichen Melodieverlauf verdeckt haben könnten.

Galvin et al. [23] zeigten, dass das Perzeptionsvermögen der CI-Träger abnahm, wenn neben den Melodiekonturen simultan weitere Töne präsentiert wurden, welche die Melodie maskierten. Normalhörende Probanden wurden durch die Maskierung der Melodie weniger stark beeinträchtigt [23]. Daher wäre unter realen Bedingungen ein noch schlechteres Ergebnis bei den CI-Trägern zu erwarten als in unserer Studie. Andererseits enthielten die von uns verwandten Stimuli weder sprachliche noch rhythmische Information, welche das Erkennen realer Melodien beeinflussen könnte. Nach Arbeiten von Schulz und Kerber, Gfeller et al., Kong et al., Fujita et al., Leal et al. und McDermott et al. verbessern sowohl rhythmische Information als auch sprachliche Information durch die enthaltenen Worte deutlich das Erkennen von Melodien [64, 43, 28, 29, 20, 27, 48, 53]. Interessanterweise konnten einzelne CI-Träger unserer Studie Melodiekonturen auf dem Niveau eines normalhörenden Probanden erkennen. Diese großen individuellen Unterschiede und deren Zusammenhang mit persönlichen Faktoren werden nachfolgend besprochen.

## 4. Diskussion

### 4.1.3. Erkennen von harmonischen Akkorden

Wir zeigten in unserer Studie, dass normalhörenden Probanden die Perzeption von harmonischen Akkorden signifikant um durchschnittlich 23,7% besser gelang als den CI-Trägern. Die CI-Träger erkannten harmonische Akkorde im Mittelwert nur 6% über dem Zufallsniveau. Böckmann-Barthel et al. zeigten ebenfalls, dass CI-Träger schlechter Akkorde unterscheiden konnten als normalhörende Probanden [7]. Am Beispiel von einfachen Kadenz wiesen die Autoren nach, dass CI-Träger die harmonische Funktion von Akkorden nicht über dem Rateniveau erkennen konnten [6]. Als Ursache für die schlechte Performance der CI-Träger in unserer Studie kommen die komplexe Struktur der Stimuli und die kleinen Unterschiede der Akkorde in Frage. Die im Test dargebotenen Dur- und Moll-Akkorde waren aus vier Einzeltönen aufgebaut. Jeweils zwei Töne wurden einen Halbtonschritt nach oben und nach unten versetzt. Den geringen Tonhöhenunterschied von 1 HTS konnte nicht jeder normalhörende Proband (MW 79,7%) und CI-Träger noch schlechter (MW 65,5%) wahrnehmen (siehe Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden), weshalb die entstandene harmonische Dissonanz für einige Probanden kaum hörbar gewesen sein könnte.

Auch Knobloch et al. wiesen nach, dass CI-Träger schlechter einen harmonisch sinnvollen Schlussakkord erkannten als normalhörende Probanden und berichteten von einem weniger intuitiven Verhalten in der Perzeption von Harmonien [41]. Diese Aussage könnte das schlechte Abschneiden der CI-Träger unserer Studie erklären. Weder die musikalische Vorbildung, noch die Häufigkeit des Musikhörens, das Gefallen am Musikhören oder die Tragedauer des CIs zeigten bei beiden Probandengruppen einen signifikanten Zusammenhang mit dem Erkennen von harmonischen Akkorden. Auch bestand weder bei CI-Trägern noch bei normalhörenden Probanden ein Zusammenhang zwischen dem Erkennen von harmonischen Akkorden und den anderen in unserer Studie durchgeführten Perzeptionstests. Dies deutet darauf hin, dass der Test andere, wahrscheinlich höhere Anforderungen an die Probanden stellte als die übrigen Musikhörtests. Für den hohen Schwierigkeitsgrad des diskutierten Perzeptionstests spricht auch, dass nur drei normalhörende Probanden in unserer Studie alle Harmonien korrekt erkannt haben und dass diese Probanden nach eigenen Angaben eine gute musikalische Ausbildung besaßen. Keiner der CI-Träger nahm alle Stimuli korrekt wahr, jedoch waren die individuellen Unterschiede sehr groß. So gaben die zwei CI-Träger mit dem besten Ergebnis (83,3%) eine etwas geringere musikalische Vorbildung an als die beiden CI-Träger, die im Test am schlechtesten abschnitten (36,7%). Dies deutet darauf

## 4. Diskussion

hin, dass die Vertrautheit mit musikalischen Begriffen nur für den normalhörenden Probanden von Vorteil gewesen sein könnte.

Des Weiteren bleibt das Verständnis der Probanden für die Aufgabe zu klären, besonders mit Hinblick auf die unterschiedlich ausgeprägte musikalische Vorbildung. Nach dem Angewöhnen vor Testbeginn haben alle Teilnehmer ihr Verständnis für den zu absolvierenden Test signalisiert, jedoch konnte kein tieferes musikalisches Wissen über das Entstehen von Harmonie und Dissonanz überprüft werden. Auch das vor dem Test erfolgte Angewöhnen der Stimuli könnte nicht für alle Teilnehmer ausreichend gewesen sein, um sie für die kleinen Unterschiede der Akkorde zu sensibilisieren.

### 4.1.4. Erkennen von Tonhöhenunterschieden

In unserer Studie erkannten normalhörende Probanden (MW 87,9%) die untersuchten Tonhöhenunterschiede komplexer Klänge im Mittelwert um durchschnittlich 8,5% besser als CI-Träger (MW 79,4%). Unter Zusammenfassung aller betrachteten Frequenzbereiche konnten CI-Träger in unserer Studie durchschnittlich den Tonhöhenunterschied von 1 HTS um 13,9%, 3 HTS um 4,9% und 6 HTS um 5,7% schlechter erkennen als normalhörende Probanden. Das bessere Frequenzauflösungsvermögen des natürlichen Gehörs konnten auch andere Autoren wie Fujita et al., Haumann et al., Looi et al., Sucher et al., Gfeller et al., Fearn, sowie Hsiao et al. zeigen [20, 37, 51, 68, 31, 19, 38].

Fujita et al. beschrieben, dass normalhörende Probanden Reintöne mit Tonhöhenunterschieden von 1 Hz im Bereich von 200-400 Hz bei einer Lautstärke von 40 dB erkannten, was 0,04-0,09 HTS entspricht [20]. Haumann et al. zeigten, dass normalhörende Probanden komplexe Töne verschiedener Instrumente mit einem Unterschied von 1 HTS meist erkennen konnten [37]. Haumann et al. wiesen außerdem nach, dass CI-Träger Tonhöhenunterschiede wesentlich schlechter wahrnahmen als normalhörende Probanden. Die Unterscheidungsschwelle betrug je nach Musikinstrument zwischen 2,7 und 11,7 HTS [37]. Der kleinste in einer Studie von Fujita et al. von CI-Trägern wahrgenommene Tonhöhenunterschied für synthetische Klaviertöne lag bei 4 HTS, wobei ein Teil der Probanden einen Unterschied von 12 HTS nicht erkennen konnte [20]. Looi et al. [51] berichteten des Weiteren, dass CI-Träger in ihrer Studie gesungene Töne mit einem Intervall von einer viertel Oktave auf Höhe des Zufallsniveaus (51,8%) erkannten. Die Wahrnehmung eines Tonhöhenunterschiedes oberhalb des Zufallsniveaus gelang bei einem Tonabstand von einer halben (64,3%) und ganzen Oktave (68%) [51].

#### 4. Diskussion

Sucher et al. [68] zeigten ebenfalls, dass CI-Träger den Tonhöhenunterschied komplexer Töne mit einer Grundfrequenz zwischen 98 und 740 Hz signifikant schlechter wahrnahmen als normalhörende Probanden. Jedoch waren die Unterschiede zwischen beiden Probandengruppen wesentlich größer als in unserer Studie, da die CI-Träger 1 HTS um 32,2% und 6 HTS um 28,8% schlechter erkannten als normalhörende Probanden [68]. Dieser große gemessene Unterschied zwischen beiden Probandengruppen könnte durch eine von Sucher et al. nicht durchgeführte Testeinführung und die fehlende Sättigung der Messergebnisse hervorgerufen worden sein.

Jung et al. untersuchten bei koreanischen CI-Trägern das Unterscheidungsvermögen von komplexen Klängen [40]. Sie stellten fest, dass Klänge mit Grundfrequenzen im Bereich von 262 Hz einen Tonhöhenunterschied von  $2.7 \pm 1.7$  HTS besitzen mussten, um unterschieden zu werden. Mit zunehmender Grundfrequenz musste den CI-Trägern ein größerer Abstand präsentiert werden, um einen Tonhöhenunterschied wahrzunehmen ( $4.4 \pm 4.2$  HTS bei 330 Hz (E4);  $8.1 \pm 3.0$  HTS bei 391 Hz (G4)) [40]. Auch in unserer Studie konnten beide Probandengruppen Tonhöhenunterschiede komplexer Töne im niedrigen Frequenzbereich besser wahrnehmen als im hohen Frequenzbereich. Interessanterweise konnte dieses Ergebnis von Gfeller et al. [31] nicht gezeigt werden, vielmehr wurde von den Autoren ein entgegengesetzter Effekt beschrieben. Unter Testung von Reintönen im Frequenzbereich von 131 Hz und 1048 Hz zeigten die Autoren, dass von CI-Trägern mit zunehmender Tonhöhe besser Tonhöhenunterschiede erkannt werden [31]. Die unterschiedlichen Ergebnisse können jedoch im Folgenden erläutert werden. In unserer Studie wurden keine Reintöne, sondern komplexe Stimuli basierend auf echten Klarinetten mit Grundfrequenzen im Bereich von D3 und G#5 verwandt. Die fundamentale Frequenz und die 4 größten Formanten wurden bei der Synthese der Stimuli beibehalten. Durch das Testmaterial konnten wesentlich höhere Frequenzen angesprochen und mehr Elektroden stimuliert werden als durch Reintöne. Aus diesem Grund könnte das in unserer Studie verwandte Testmaterial eine höhere Aussagekraft für das reale Hörvermögen besitzen als einfache Sinustöne. Auch Gfeller et al. nahmen an, dass der Erfolg in der Musikwahrnehmung und der Hörerlebnis besser mit realen Tönen vorhergesagt werden kann, als mit den genutzten Reintönen [31]. Dafür sprechen auch Untersuchungen von Digeser et al., die zeigten, dass von obertonreichen Tönen aufgrund verzerrter spektraler Zuordnung die Tonhöhe deutlich schlechter unterschieden werden konnte als von Sinustönen [13].

In unserer Studie gelang den normalhörenden Probanden sowie den CI-Trägern mit zunehmendem Tonhöhenunterschied das Erkennen des höheren Tons zumeist signifikant besser. Diese Aussage konnte sowohl im virtuellen CI-Modell mit ähnlichem Testmaterial, Testaufbau und identischen

## 4. Diskussion

Tonhöhenunterschieden von Omran et al. sowie von Gfeller et al. und Sucher et al. unter realen Bedingungen bestätigt werden [60, 31, 68]. McDermott et al. beschrieben, dass die Tonhöhenwahrnehmung auch bei CI-Trägern vom Ort der Erregung abhängt [52]. Interessanterweise konnten Boëx et al. zeigen, dass die akustische Information und elektrisch übertragene Tonhöhe bis zu zwei Oktaven voneinander abweichen konnten und dass auch die Stimulationsrate der Elektroden die Tonhöhenempfindung der CI-Träger beeinflusste [8]. Pressnitzer et al. stellten fest, dass eine verminderte Übertragung von zeitlicher und spektraler Information auf den Hörnerven die schlechte Tonhöhenwahrnehmung verursachen könnte [61].

Des Weiteren kann das abweichende Perzeptionsvermögen von CI-Trägern und normalhörenden Probanden durch unterschiedliche neuronale Verarbeitung erklärt werden. Sucher et al. zeigten, dass CI-Träger die Richtung des Tonhöhenunterschieds häufiger verwechselten [68]. Sandmann et al. [62] untersuchten die auditorische Diskriminationsfähigkeit von CI-Trägern mittels eines Mismatch-Negativity Paradigma in der Elektroenzephalografie (EEG). Die Autoren wiesen nach, dass CI-Träger schlechter musikalische Klänge hinsichtlich Frequenz, Lautstärke und Dauer voneinander unterscheiden konnten als normalhörende Probanden. Außerdem interpretierten die Autoren die Ergebnisse als eine reduzierte Sensitivität der CI-Träger für kleine akustische Unterschiede. Entscheidend war laut Sandmann et al. nicht nur der technisch reduzierte Reiz, sondern auch die neuronale Adaptation aufgrund von Reizdeprivation vor und nach der Implantation des CIs [62].

### **4.2. Perzeption musikalischer Parameter von Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000**

Die Perzeption einzelner musikalischer Parameter gelang den CI-Trägern unter Beibehaltung der zuvor genutzten Anzahl an Maxima mit MP3000 signifikant schlechter als mit ACE, jedoch konnten wir in unserer Studie kein generell schlechteres Musikhörvermögen nach Umstellung der Sprachkodierungsstrategie nachweisen.

Das Erkennen des Klaviers gelang mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 signifikant um durchschnittlich 15,8% schlechter als mit der Sprachkodierungsstrategie ACE, auch die flache Melodiekontur wurde mit MP3000 signifikant um durchschnittlich 25,5% schlechter erkannt. Nur wenige kleine Tonhöhenunterschiede konnten mit MP3000 schlechter wahrgenommen werden. So gelang den CI-Trägern in unserer Studie das Erkennen von 1 HTS im mittleren Frequenzbereich und von 3 HTS im hohen Frequenzbereich mit MP3000 signifikant schlechter als mit ACE.



#### 4. Diskussion

Bisher liegen von anderen Autoren nur wenige Studien über das Musikhören mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 vor [45, 13, 14, 55, 12]. In einer Pilotstudie von Lai und Dillier wurden bei zwei CI-Trägern die Sprachkodierungsstrategien ACE mit 10 Maxima und MP3000 mit 4 und 8 Maxima verglichen [45]. Die Autoren nutzten einen Teil der Züricher Musiktestbatterie und untersuchten das Erkennen von Musikinstrumenten und Tonhöhenunterschieden. In der Pilotstudie konnten die CI-Träger Musikinstrumente deutlich über dem Zufallsniveau erkennen. Die Autoren konnten keinen deutlichen Unterschied zwischen ACE mit 10 Maxima und MP3000 mit 4 Maxima nachweisen, jedoch gelang beiden Probanden das Erkennen von Musikinstrumenten mit MP3000 und 8 Maxima schlechter als mit ACE. Das Erkennen von Tonhöhenunterschieden wurde nicht durch die Sprachkodierungsstrategie und die Anzahl der Maxima beeinflusst [45]. Dieses Ergebnis konnten wir in unserer Studie nicht reproduzieren, da die Anzahl der zuvor mit ACE genutzten Maxima mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 beibehalten wurde.

Digester et al. untersuchten in einer Studie mit 11 CI-Trägern, ob diese mit MP3000 mit 4 Maxima besser die Frequenzen einzelner Töne unterscheiden konnten als mit ACE mit 8 Maxima [13]. Dazu führten die Autoren einen adaptiven Test in  $\frac{1}{4}$ -Tonschritten durch. Sie nutzten sowohl Sinustöne als auch obertonreiche „sägezahnförmige“ Klänge mit einer Grundfrequenz von 196-3951 Hz. Die Autoren stellten fest, dass CI-Träger Sinustöne mit einer Frequenz von 196 Hz und 988 Hz mit MP3000 (4 Maxima) signifikant schlechter erkennen konnten als mit ACE (8 Maxima). Die Wahrnehmung von Frequenzen „sägezahnartiger“ Klänge gelang mit MP3000 generell (bei 1976 Hz signifikant) besser als mit ACE [13]. Digester et al führten eine weitere Studie durch, in der 14 CI-Träger einen ähnlichen Test zur Frequenzdiskrimination absolvierten [14]. Die Autoren konnten zeigen, dass Sinustöne sowie „sägezahnartige“ Klänge ausgehend von einer Grundfrequenz von 196 Hz und 496 Hz mit MP3000 mit 8 Maxima besser unterschieden werden konnten als mit ACE mit 8 Maxima [14].

Hingegen zeigten Neben et al., dass Probanden mit MP3000 signifikant schlechter kleine Tonhöhenunterschiede wahrnehmen konnten, aber beschrieben, dass dies ohne klinische Relevanz sei. Die Autoren konnten keinen Einfluss der Sprachkodierungsstrategie auf das Erkennen von Melodien nachweisen [55].

Trotz der objektiv schlechteren Musikwahrnehmung konnten einige CI-Träger unserer Studie im Alltag subjektiv von der Sprachkodierungsstrategie MP3000 profitieren. Ihre Hörerfahrungen gingen zum Teil mit Studien anderer Autoren einher, die auf eine verbesserte Wahrnehmung von akustischer Information mit MP3000 hinwiesen [71, 39, 11, 70, 3, 2]. So beurteilten drei CI-Träger

#### 4. Diskussion

unserer Studie das Hören mit MP3000 in geräuschvoller Umgebung als subjektiv besser, ein CI-Träger berichtete das Gegenteil. Zwei CI-Träger erfuhren mit MP3000 eine verbesserte Sprachwahrnehmung im Störschall. Hu und Loizou sowie Büchner et al. zeigten auch objektiv ein besseres Sprachverstehen mit MP3000 im Störschall [39, 11]. Zwei CI-Träger unserer Studie beschrieben mit MP3000 eine subjektiv schlechtere Sprachwahrnehmung in Ruhe, wohingegen Weber et al. im HSM-Satztest bei 9 CI-Trägern ein um durchschnittlich 3,3% besseres Sprachverstehen mit MP3000 zum Zeitpunkt der Erstanpassung nachwiesen [70]. Des Weiteren berichteten drei CI-Träger unserer Studie von einem differenzierteren sowie weniger anstrengendem Musikhören mit MP3000. Zwei CI-Träger bemängelten jedoch eine verzerrte Tonwiedergabe und schlechte Tonqualität mit MP3000. Außerdem gaben vier CI-Träger an, mit MP3000 allgemein leiser zu Hören. Eine veränderte Prosodiewahrnehmung beschrieb kein CI-Träger während der Eingewöhnungszeit, jedoch deuten Studien von Agrawal et al. darauf hin, dass mit MP3000 besser emotionale Prosodie erkannt werden könnte als mit ACE [3, 2].

Subjektiv bevorzugten nach Abschluss unserer Studie 57,1% der teilnehmenden CI-Träger die vorher benutzte Sprachkodierungsstrategie ACE, wohingegen von 42,9% MP3000 präferierten. Weber et al. berichteten, dass 5 von 9 CI-Trägern eher MP3000 bevorzugen [70], während Buechner et al. keine signifikante Präferenz der CI-Träger für ACE oder MP3000 aufzeigen konnten [12].

Interessanterweise zeigten 5 von 6 CI-Trägern, die sich nach Abschluss unserer Studie für die Sprachkodierungsstrategie MP3000 entschieden, eine um 5% bis 12,5% schlechtere (MW 7,6 %) Wahrnehmung von Tonhöhenunterschieden. Jeweils 3 CI-Träger, die MP3000 beibehielten, erkannten nach Umstellung harmonische Akkorde besser oder schlechter. Bei einigen CI-Trägern war schon kurz nach der Umstellung der Sprachkodierungsstrategie eine persönliche Bevorzugung zu erkennen, wohingegen andere CI-Träger bis zum Ende der Eingewöhnungszeit keine Unterschiede zwischen ACE und MP3000 beschreiben konnten.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse kann man erklären, wenn man bedenkt, dass im Eingewöhnungszeitraum keine Anpassung der Sprachprozessoren auf den veränderten Höreindruck erfolgt ist. Zusätzlich könnte die Eingewöhnungszeit von mindestens 30 Tagen für einige CI-Träger zu kurz gewesen sein, um sich an den veränderten Höreindruck zu adaptieren. Die abweichenden subjektiven Hörerfahrungen mit MP3000 deuten auf einen Einfluss individueller Faktoren hin, welchen wir mit unserem Testmaterial nicht erfassen konnten.

## 4. Diskussion

Trotz des schlechteren Erkennens einiger musikalischer Parameter mit MP3000 sind die Ergebnisse unserer Studie bemerkenswert, da das CI mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 andere Informationen für die Übertragung auf den Hörnerv ausgewählt, ohne generell das Musikhören zu beeinträchtigen. Daher könnte sich die Musikwahrnehmung der CI-Träger verbessern, wenn man eine Anpassung der Sprachprozessoren auf den veränderten Höreindruck durchführen und den Eingewöhnungszeitraum verlängern würde.

### **4.3. Einflussfaktoren auf die Perzeption musikalischer Parameter**

#### **4.3.1. Musikalische Ausbildung, Hörgewohnheiten und Zufriedenheit mit dem Musikhören**

Im Rahmen unserer Studie wurden die musikalische Ausbildung, Hörgewohnheiten und die Zufriedenheit mit dem Musikhören jedes Probanden mittels eines Fragebogens erhoben. Deren Einfluss auf das Musikhören ist im Folgenden zu bewerten.

Die musikalische Ausbildung der CI-Träger war im Vergleich nur wenig geringer als die der normalhörenden Probanden. Gfeller et al. stellten im Rahmen mehrerer Studien fest, dass die musikalische Ausbildung ein Parameter war, der bei CI-Trägern und normalhörenden Probanden das Erkennen von Tonhöhenunterschieden vorhersagte [30, 34]. Dies konnte in unserer Studie für beide Probandengruppen nicht bestätigt werden, da die musikalische Vorbildung keinen signifikanten Zusammenhang mit einem der absolvierten Musikhörtests zeigte. Auch Kong et al. konnten keinen Zusammenhang des Erkennens melodischer Konturen und der musikalischen Vorbildung der CI-Träger nachweisen [43].

In unserer Studie gaben beide Probandengruppen an, gleichermaßen häufig Musik vor der Ertaubung beziehungsweise mit normalem Hörvermögen gehört zu haben. Dieses Ergebnis haben wir erwartet, da alle an der Studie teilnehmenden CI-Träger postlingual ertaubten und sich daher nach unserer Annahme vor der Ertaubung nicht generell in ihren Musikhörgewohnheiten unterschieden. Die Häufigkeit des Musikhörens sank nach Angabe der CI-Träger nach Implantation des CIs signifikant. Gfeller et al. stellten ebenfalls fest, dass nach Implantation individuell variierend weniger Musik konsumiert wurde als vor dem Hörverlust [25].

Im Rahmen unserer Studie konnte kein statistischer Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Musikhörens und der Performance in einem Test der Züricher Musiktestbatterie MACarena gezeigt werden. Gfeller et al. wiesen dies hingegen im Rahmen verschiedener Studien nach. Die Autoren stellten fest, dass die Musikhörerfahrung nach Implantation des CIs ein aussagekräftiger Parameter für das Erkennen von Musikinstrumenten war [25, 30].

## 4. Diskussion

Wir konnten keinen signifikanten Unterschied des Gefallens am Musikhören zwischen CI-Trägern vor ihrer Ertaubung und den normalhörenden Probanden nachweisen. Dieses Ergebnis haben wir ebenfalls erwartet. Da alle CI-Träger ihr Hörvermögen nach Abschluss des Spracherwerbs verloren haben, entsprach ihr Gefallen am Musikhören vor der Gehörlosigkeit dem der normalhörenden Probanden. Des Weiteren konnten wir zeigen, dass sich das Gefallen der CI-Träger am Musikhören nach der Implantation signifikant reduzierte. Auch in einer Studie von Leal et al. gaben CI-Träger an, nach der Implantation weniger Gefallen am Musikhören zu haben [48]. Der Gefallen am Musikhören zeigte keinen signifikanten Zusammenhang mit der Performance in den einzelnen Tests der Züricher Musiktestbatterie MACarena. Bei Bestimmung der nicht parametrischen Korrelation mit Kendalls-Tau-b auf einem Signifikanzniveau von 0,05 konnte gezeigt werden, dass bei CI-Trägern die Häufigkeit des Musikhörens (Sig. 0,00; Korrelationskoeffizient 0,701) und der Gefallen am Musikhören (Sig. 0,00; Korrelationskoeffizient 0,786) stark mit der Zufriedenheit am Musikhören als Ausdruck des Hörgenusses korrelierten. Ähnliche Ergebnisse beschrieben auch Gfeller et al. in verschiedenen Studien. Die Autoren stellten fest, dass die Freude am Musikhören mit der damit verbrachten Zeit korreliert. Die Freude am Musikhören war nach ihrer Aussage assoziiert mit besserer tonaler Wahrnehmung und Perzeption realer Musik [25, 27, 29]. Interessanterweise konnte in unserer Studie nur ein Zusammenhang zwischen einer großen Zufriedenheit mit dem Musikhören und einem einzigen Parameter des MACarena gezeigt werden, wonach die Zufriedenheit mit dem Erkennen der Gitarre korrelierte (Sig. 0,036; Korrelationskoeffizient 0,379). Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass ein subjektiver Hörgenuss und ein objektiv gutes Perzeptionsvermögen für die in unserer Studie untersuchten musikalischen Parameter nicht unbedingt einander bedingt haben. Es ist daher nicht sicher, ob die von uns untersuchten Fertigkeiten vollständig die realen Musikhörfähigkeiten und den Hörgenuss abbilden konnten.

### 4.3.2. Effekt des Trainings

Der Musikhörgenuss und die Zufriedenheit mit dem Musikhören kann von CI-Trägern für die Bewertung einer erfolgreichen Implantation genutzt werden. Die Dauer der CI-Nutzung wirkte sich bei den an unserer Studie teilnehmenden CI-Trägern nicht signifikant auf die Häufigkeit, den Gefallen oder die Zufriedenheit mit dem Musikhören als Ausdruck des Musikhörgenusses aus. Dies weist darauf hin, dass der Musikhörgenuss der CI-Träger nicht durch das alleinige Tragen des CIs gesteigert werden kann.

#### 4. Diskussion

Auch Gfeller et al. konnten in verschiedenen Studien zeigen, dass die Erfahrung mit dem CI nicht automatisch die Musikwahrnehmung verbesserte. Nach Angabe der Autoren steigerte die Erfahrung weder die musikalische Aktivität, noch die Tonhöhenwahrnehmung. Lediglich das Erkennen von bekannten Melodien und Musikstücken mit linguistischer Information in Form von Gesang verbesserte sich leicht in zwei aufeinander folgenden Jahren. Die Autoren schlossen daher auf ein stabiles Musikhörvermögen, welches durch ein inzidentielles Musikhören im Alltag nicht signifikant verbessert werden kann oder den Hörgenuss nicht positiv beeinflusst [31, 25, 30, 26].

Vielmehr könnten CI-Träger von einem strukturierten Musikhörtraining einen größeren Nutzen haben als von einer längeren Tragedauer des CIs ohne Training. Im Folgenden soll besprochen werden, inwieweit die Musikwahrnehmung von CI-Trägern durch ein Training verbessert werden könnte.

Wilson und Dorman berichteten, dass das Gehör der CI-Träger von einem angemessenen strukturierten Training aufgrund der Plastizität des Gehirns profitieren kann [72]. Digeser et al. untersuchten die Fertigkeiten von CI-Trägern zur Tonhöhenunterscheidung nach vorangegangener Übungsphase unter Verwendung verschiedener Intervalle von mindestens einem Viertel-Tonschritt. Die Autoren zeigten, dass bei der Wiederholung des gleichen Tests nach einem Zeitraum von 4 Wochen kein signifikant besseres Erkennen von Tonhöhenunterschieden erfolgte und deuteten dies als nicht vorhandenen Trainingseffekt durch einmalige Präsentation der Stimuli [15]. Hsiao et al. stellten fest, dass durch engagiertes Training, welches das Spielen und das aktive Zuhören eines Instrumentes beinhaltet, die Wahrnehmung isolierter Tonhöhen verbessert werden konnte [38]. Galvin et al. zeigten, dass sich das Erkennen von Melodiekonturen durch ein Training an fünf Tagen die Woche für eine halbe Stunde in 1-4 aufeinanderfolgenden Wochen im Mittel um 6,4% verbesserte [24]. Auch Fujita et al. konnten nachweisen, dass Teilnehmer mit dem meisten musikalischen Training bekannte Melodien am besten erkennen konnten [20]. Von Gfeller et al. und Hsiao et al. konnte gezeigt werden, dass durch ein Musikhörtraining eine signifikante Verbesserung der Klangerkennung von Instrumenten im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Training erfolgt ist [32, 38]. Dies deutet nach Meinung von Gfeller et al. darauf hin, dass gelegentliches Musikhören nach Implantation allein nicht das Erkennen von Musikinstrumenten verbessert und dem fehlenden Feedback beim beiläufigen Musikhören geschuldet sein kann [32]. Gfeller et al. bewerteten ein ausführliches Musikhörtraining als beste Voraussetzung Musik ohne linguistische Information zu erkennen und den Hörgenuss und das Hörempfinden zu verbessern [30].

## 4. Diskussion

Daher wäre für weiterführende Studien ein strukturiertes Musikhörtraining und eine anschließende Testung mit der Züricher Musiktestbatterie MACarena zu erwägen, um dessen Auswirkung auf die Wahrnehmung der von uns untersuchten musikalischen Parameter zu beurteilen.

### 4.3.3. Alter und Geschlecht der Probanden

Das Matching der beiden Probandengruppen erfolgte, um die Alters- und Geschlechterverteilung der normalhörenden Vergleichsgruppe an die der CI-Träger anzupassen und somit mögliche Einflussfaktoren auf die Ergebnisse unserer Studie zu reduzieren. Dies führte einerseits zu einer ähnlichen Altersstruktur beider Probandengruppen, jedoch andererseits zu einer sehr unausgewogenen Verteilung der Geschlechter (CI-Träger: 8w, 16m; normalhörende Probanden: 7w, 16m). Daher ist der gemessene geschlechtsabhängige Einfluss auf das Erkennen der flachen Melodiekontur nur zurückhaltend zu beurteilen.

Bisherige Studien von Evers et al., Ghaffaripour et al. und Koelsch et al. zeigten zwar, dass Frauen Musik und linguistische Information zentral anders verarbeiten als Männer, jedoch konnten die Autoren keine Aussage bezüglich generell besserer Fähigkeiten eines Geschlechts zur Musikwahrnehmung treffen [18, 35, 42].

Das Ergebnis unserer Studie könnte bei der geringen Anzahl an weiblichen Teilnehmerinnen durch zwei normalhörende Probandinnen verfälscht worden sein. Diese absolvierten die Musikhörtests besonders schlecht und erkannten Melodiekonturen und Musikinstrumente schlechter als die gematchte CI-Trägerin.

Der in unserer Studie gemessene schwach bis mittelgradig ausgeprägte Einfluss des Alters der Probanden auf die Perzeption von musikalischen Parametern geht mit den Ergebnissen bisheriger Studien einher, die altersspezifische Veränderungen des Musikhörens untersuchten. Das Erkennen von realer Musik durch CI-Träger nahm laut Gfeller et al. mit dem Alter ab [27]. Gfeller et al. und Brockmeier et al. zeigten außerdem eine mäßige negative Korrelation zwischen dem Alter der CI-Träger und tonaler Wahrnehmung [29, 34, 9], der Wahrnehmung von Rhythmus [34] und dem Erkennen von Ausschnitten aus Musikstücken mit und ohne Text [30].

Gfeller et al. wiesen ebenfalls nach, dass das Alter negativ mit Gefallen und Zufriedenheit am Musikhören selbst korrelierte [25]. Diesen beschriebenen Effekt des Alters konnten wir in unserer Studie nicht bestätigen. Interessanterweise konnte von Wendt et al. [71] ein größerer negativer Zusammenhang zwischen dem Alter und der Wahrnehmung emotionaler Prosodie gezeigt werden als in unserer Studie. Die Senioren mit einem Alter von über 67 Jahren nahmen bei Wendt et al.

## 4. Diskussion

Emotionen signifikant schlechter wahr als Erwachsene und Kinder [71]. Die Autoren vermuten, dass der gemessene Einfluss des Alters von den unterschiedlichen kognitiven Anforderungen des Musikhörens und der Wahrnehmung von Sprache und Prosodie hervorgerufen worden sein könnte [71]. Für zukünftige Studien wäre es sinnvoll, die Musikwahrnehmung mit einer größeren Anzahl an Probanden und einer ausgewogeneren Geschlechterverteilung zu überprüfen.

### **4.3.4. Restgehör, bimodale und binaurale Cochlea-Implantat-Versorgung**

In der Studie erfolgte zur besseren Vergleichbarkeit der Probandengruppen lediglich die monaurale Präsentation der Stimuli unter Vertäubung eines eventuell bestehenden Restgehörs. Wir untersuchten nicht, inwieweit die geänderten Hörbedingungen die Performance der CI-Träger beeinflusst haben. Auf der Gegenseite des Messohres waren im Alltag 8 teilnehmende CI-Träger mit einem CI und 10 CI-Träger mit einem Hörgerät versorgt. Nur 6 CI-Träger nutzten keine weitere akustische oder elektrische Hörhilfe. Looi et al. untersuchten die Musikwahrnehmung von CI-Trägern im direkten Vergleich mit Hörgeräteträgern, welche die Kriterien für die Implantation eines CIs erfüllten. In ihrer Studie nahmen Hörgeräteträger signifikant besser Tonhöhen und Melodien wahr als CI-Träger [50]. Eine verbesserte Musikwahrnehmung hätte auch durch akustische Verstärkung des bestehenden Restgehörs der implantierten Seite im Rahmen einer bimodalen CI-Versorgung erreicht werden können. Eine bimodale Versorgung konnte nach Aussage von Gfeller et al., Kong et al., Gahleitner et al. sowie von Looi et al. abhängig vom Restgehör die Perzeption von musikalischen Parametern durch Übertragung der tieftonalen Feinstruktur verbessern [31, 27, 44, 21, 50].

Der Nutzen einer beidseitigen CI-Versorgung für das Musikhören wurde in bisherigen Studien unterschiedlich bewertet. Während Gahleitner et al. beschrieben, dass bilateral versorgte CI-Träger im Median um 30% besser Melodien bekannter Volkslieder erkannten, zeigten Gfeller et al. diesen Vorteil für Melodien ohne Text nicht [21, 27]. Wir nehmen an, dass die CI-Träger mit dem im Alltag genutzten Restgehör, Hörgerät oder CI in unseren Musikhörtests besser abgeschnitten hätten.

Für die Beurteilung des realen Musikhörvermögens ist immer die maximale Hörverbesserung auf dem neusten technischen Stand anzustreben, soweit es von den CI-Trägern akzeptiert wird. Jedoch war für unsere Studie der Vergleich der Probandengruppen mit einheitlichen Hörbedingungen und Sprachkodierungsstrategien zielführend, sodass wir darauf verzichtet haben.

### 4.4. Fazit

In unserer Studie nahmen CI-Träger musikalische Parameter schlechter wahr als normalhörende Probanden. Die Daten der CI-Träger und normalhörenden Probanden sind auf unterschiedlichem Absolutniveau gleich verteilt. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass kein in unserer Studie untersuchter Parameter der Züricher Musiktestbatterie MACarena durch das CI unnatürlich verzerrt wiedergegeben wurde. Mit der Sprachkodierungsstrategie MP3000 werden andere Informationen für die Übertragung ausgewählt als mit der Sprachkodierungsstrategie ACE. Jedoch unterschied sich in unserer Studie die Performance der CI-Träger mit beiden Sprachkodierungsstrategien nicht generell voneinander. Um den Einfluss der zuvor diskutierten Faktoren auf das Musikhören mit dem Cochlea-Implantat zu untersuchen, wären weitere Studien mit einer größeren Anzahl an Probanden sinnvoll. So könnten CI-Träger, welche die Sprachkodierungsstrategie MP3000 nutzen, von einer Anpassung der Sprachprozessoren und einer längeren Eingewöhnungszeit profitieren. Des Weiteren wäre zu erwägen, ein strukturiertes Musikhörtraining durchzuführen und dessen Einfluss auf die mit der Züricher Musiktestbatterie MACarena untersuchten Fertigkeiten zu bewerten. Für die Beurteilung der Musikwahrnehmung unter realen Hörbedingungen wäre es sinnvoll, die Musikhörtests mit im Alltag genutzter binauraler CI-Versorgung, Hörgerät oder unvertäubtem Restgehör durchzuführen. Weiterhin wäre eine adaptive Testdurchführung zu erwägen, da einige Perzeptionstests für normalhörende Probanden nicht nah genug an der Unterscheidungsschwelle lagen, wohingegen diese für einige CI-Träger zu schwer waren.

Wir konnten nicht klären, inwieweit die von uns untersuchten Fertigkeiten eine Aussagekraft für die reale Fähigkeit des Musikhörens und den Hörgenuss haben. Jedoch kann dieser von den CI-Trägern zur Bewertung einer erfolgreichen Implantation genutzt werden. Da durch das alleinige Tragen des CIs keine Steigerung des Musikhörgenusses zu erwarten ist, sollten CI-Träger je nach ihren Interessen und Erwartungen zum aktiven Musikhören ermutigt werden. Wahrscheinlich führt eine Kombination aus individueller Betreuung, Musikhörtraining, optimaler Anpassung und moderner technischer Versorgung zu einer größtmöglichen Zufriedenheit der CI-Träger.



## 5. Zusammenfassung

Bei einer hochgradigen bis an Taubheit grenzenden Schallempfindungsschwerhörigkeit ist das Cochlea-Implantat (CI) eine Option zur Rehabilitation des Hörvermögens und ermöglicht den meisten CI-Trägern ein gutes Sprachverständnis, jedoch gelingt einem Teil der CI-Träger das Musikhören nur wenig zufriedenstellend. Die vorliegende Studie verglich die Musikwahrnehmung von CI-Trägern und normalhörenden Probanden und untersuchte, ob eine technisch neuere Sprachkodierungsstrategie diese beeinflussen konnte.

Zu diesem Zweck absolvierten 24 postlingual ertaubte CI-Träger und 23 altersgematchte normalhörende Probanden die Züricher Musiktestbatterie MACarena, welche das Erkennen von Musikinstrumenten, Melodiekonturen, harmonischen Akkorden sowie verschiedener Tonhöhenunterschiede untersuchte. Des Weiteren wurden die Musikhörgewohnheiten mittels eines Fragebogens erfasst. Anschließend erfolgte bei 14 CI-Trägern eine Umstellung der zuvor genutzten Sprachkodierungsstrategie ACE auf die technisch neuere Sprachkodierungsstrategie MP3000 mit anderen Selektionskriterien für die Übertragung des Schalls auf den Hörnerven. Diese 14 CI-Träger absolvierten nach einer festgelegten Eingewöhnungszeit von mindestens 30 Tagen ein weiteres Mal die Musikhörtests. Die Anzahl der zuvor genutzten Maxima wurde beibehalten. Eine Anpassung des Sprachprozessors oder ein Musikhörtraining wurden nicht durchgeführt.

Die Analyse der Ergebnisse mit dem Mann-Whitney-Test zeigte, dass CI-Träger ( $n=24$ ) generell schlechter die untersuchten Parameter wahrnehmen konnten als normalhörende Probanden ( $n=23$ ) [Musikinstrumente (0,000); Melodiekonturen (0,006); harmonische Akkorde (0,000); Tonhöhenunterschiede (0,032)]. Weiterhin konnten wir nachweisen, dass CI-Träger einzelne musikalische Parameter mit MP3000 schlechter erkennen konnten als mit ACE. Nach Auswertung der Daten mit dem Wilcoxon-Test identifizierten CI-Träger den flachen Melodieverlauf (0,004), das Klavier (0,016) sowie die Tonhöhenunterschiede von 1 HTS in mittlerer Frequenz (0,003) und 3 HTS in hoher Frequenz (0,047) mit MP3000 ( $n=14$ ) signifikant schlechter als mit ACE ( $n=14$ ). Jedoch war die Musikwahrnehmung mit MP3000 nicht generell schlechter. Einzelne CI-Träger konnten subjektiv von einer Änderung der Sprachkodierungsstrategie profitieren und beschrieben eine bessere Sprachwahrnehmung im Störschall oder ein verbessertes Musikhören mit MP3000. Nach Abschluss der Studie behielten 42,9% der CI-Träger MP3000 bei. Eine zusätzliche Anpassung des Sprachprozessors sowie ein strukturiertes Musikhörtraining könnten das Musikhörvermögen und den Hörgenuss der CI-Träger weiter verbessern.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Verordnung von Hilfsmitteln in der vertragsärztlichen Versorgung (Hilfsmittel-Richtlinie/ HilfsM-RL). Neufassung. In Kraft getreten am 1. April 2012. Bundesanzeiger. 20 (2012)
2. Agrawal D, Thorne JD, Viola FC, Timm L, Debener S, Büchner A, Dengler R, Wittfoth M: Electrophysiological responses to emotional prosody perception in cochlear implant users. *Neuroimage Clin.* 2. 229–238 (2013)
3. Agrawal D, Timm L, Viola FC, Debener S, Büchner A, Dengler R, Wittfoth M: ERP evidence for the recognition of emotional prosody through simulated cochlear implant strategies. *BMC Neurosci.* 13:113. 1–10 (2012)
4. Benatti A, Montino S, Girasoli L, Trevisi P, Bovo R: Cochlear implantation in the elderly: surgical and hearing outcomes. *BMC Surg.* 13. Suppl 2: S1. 1-5 (2013)
5. Birkenhäger R, Aschendorff A, Schipper J, Laszig R: Nicht-syndromale hereditäre Schwerhörigkeiten. *Laryngorhinootologie.* 86. 299–313 (2007)
6. Böckmann-Barthel M, Knobloch M, Ziese M, Arens C, Verhey JL: Wahrnehmung musikalischer Harmonien mit dem Cochlea-Implantat. Vortrag. 15. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Erlangen. Programm Abstracts. 149 (2012) [http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/dga2012\\_finale\\_druckfreigabe.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/dga2012_finale_druckfreigabe.pdf)
7. Böckmann-Barthel M, Mühler R, Ziese M, Rostalski D, Vorwerk U: Einfluss der Sprachkodierungsstrategie und der Tonhöhe auf die musikalische Wahrnehmung von CI-Trägern. Vortrag. 12. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Innsbruck (2009) <http://www.uzh.ch/orl/dga2009/programm/wissprog/vortraege/vortraege.html>
8. Boëx C, Baud L, Cosendai G, Sigrist A, Kós M, Pelizzone M: Acoustic to Electric Pitch Comparisons in Cochlear Implant Subjects with Residual Hearing. *J Assoc Res Otolaryngo.* 7(2). 110–124 (2006)
9. Brockmeier SJ: Musikhören mit CI- eine Studie. *Schnecke.* 38. 37–38 (2002)
10. Büchler M: The Zurich Music Test Battery. Version 1.2. University Hospital Zurich. ENT Dept. Exp Audiology. Handbuch. 1-25 (2008)
11. Buechner A, Kludt E, Lenarz T: Berücksichtigung zeitlicher Maskierungseffekte bei der Sprachverarbeitungsstrategie MP3000. Vortrag. 16. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Audiologie „Alterndes Hören – hörend altern“, Rostock. Programm Abstracts. 134 (2013) <https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/tagungsbaende/tagungsbaende.html>
12. Buechner A, Beynon A, Szyfter W, Niemczyk K, Hoppe U, Hey M et al.: Clinical evaluation of cochlear implant sound coding taking into account conjectural masking functions, MP3000™. *Cochlear Implants Int.* 12(4). 194–204 (2011)

## 6. Literaturverzeichnis

13. Digeser F, Hast A, Hessel H, Hoppe U: Einfluss von Obertönen auf die Frequenzdiskrimination bei CI-Trägern. Vortrag. 11. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Kiel. Programm Abstracts. 224 (2008)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/08-02-28\\_Programm-final.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/08-02-28_Programm-final.pdf)
14. Digeser F, Liebscher T, Hast A, Hessel H, Hoppe U: Vergleich der Frequenzdiskrimination bei CI - Trägern: Soundkodierungsstrategien MP3000 und ACE bei jeweils 8 Maxima. Vortrag. 16. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Audiologie „Alterndes Hören – hörend altern“, Rostock. Programm Abstracts .135 (2013)  
<https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/tagungsbaende/tagungsbaende.html>
15. Digeser F, Pogorzelski J, Hast A, Hessel H, Hoppe U: Test-Retest Reliabilität der Frequenzdiskrimination bei Cochlear Implant Trägern. Vortrag. 13. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Frankfurt am Main. Programm Abstracts. 198 (2010)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02\\_dga10\\_hauptprogramm\\_final-druck.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02_dga10_hauptprogramm_final-druck.pdf)
16. Dorman M, Basham K, McCandless G, Dove H: Speech Understanding and Music Appreciation With the Ineraid Cochlear Implant. *Hear J.* 44(6). 34–37 (1991)
17. Drennan W, Rubenstien JT: Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. *J Rehabil Res Dev.* 45(5). 779–789 (2008)
18. Evers S, Dannert J, Rödding D, Ringelstein EB: The cerebral haemodynamics of music perception: A transcranial Doppler sonography study. *Brain.* 122(1). 75–85 (1999)
19. Fearn R: Music and Pitch Perception of Cochlear Implant Recipients. PhD Thesis. Faculty of Science. University of NSW. Sydney (2001)
20. Fujita S, Ito J: Ability of Nucleus Cochlear Implantees to Recognize Music. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 108(7). 634–640 (1999)
21. Gahleitner C, Rader T, Baumann U: Studie zur Untersuchung der Wahrnehmung von Tonhöhen und Musik mit Cochlea Implantat. Vortrag. 13. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Frankfurt am Main. Programm Abstracts. 85 (2010)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02\\_dga10\\_hauptprogramm\\_final-druck.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02_dga10_hauptprogramm_final-druck.pdf)
22. Galvin JJ, Fu Q, Oba S: Effect of instrument timbre on melodic contour identification by cochlear implant users. *J Acoust Soc Am.* 124(4). 189–195 (2008)
23. Galvin JJ, Fu Q, Oba SI: Effect of a competing instrument on melodic contour identification by cochlear implant users. *J Acoust Soc Am.* 125(3). 98-103 (2009)
24. Galvin JJ, Fu Q, Shannon RV: Melodic Contour Identification and Music Perception by Cochlear Implant Users. *Ann N Y Acad Sci.* 1169. 518–533 (2009)

## 6. Literaturverzeichnis

25. Gfeller K, Christ A, Knutson JF, Witt S, Murray KT, Tyler RS: Musical Backgrounds, Listening Habits, and Aesthetic Enjoyment of Adult Cochlear Implant Recipients. *J Am Acad Audiol.* 11(7). 390–406 (2000)
26. Gfeller K, Jiang D, Oleson J, Driscoll V, Knutson JF: Temporal Stability of Music Perception and Appraisal Scores of Adult Cochlear Implant Recipients. *J Am Acad Audiol.* 21(1). 28–34 (2010)
27. Gfeller K, Jiang D, Oleson J, Driscoll V, Olszewski C, Knutson JF, Turner C, Gantz B: The Effects of Musical and Linguistic Components in Recognition of Real-World Musical Excerpts by Cochlear Implant Recipients and Normal-Hearing Adults. *J Music Ther.* 49(1). 68–101 (2012)
28. Gfeller K, Lansing CR: Melodic, Rhythmic, and Timbral Perception of Adult Cochlear Implant Users. *J Speech Hear Res.* 34(4). 916–920 (1991)
29. Gfeller K, Lansing CR: Musical Perception of Cochlear Implant Users as Measured by the Primary Measures of Music Audition: An Item Analysis. *J Music Ther.* 29(1). 18–39 (1992)
30. Gfeller K, Oleson J, Knutson JF, Breheny P, Driscoll V, Olszewski C: Multivariate Predictors of Music Perception and Appraisal by Adult Cochlear Implant Users. *J Am Acad Audiol.* 19(2). 120–134 (2008)
31. Gfeller K, Turner C, Oleson J, Zhang X, Gantz B, Fromann R, Olszewski C: Accuracy of Cochlear Implant Recipients on Pitch Perception, Melody Recognition, and Speech Reception in Noise. *Ear Hear.* 28(3). 412–423 (2007)
32. Gfeller K, Witt S, Adamek M, Mehr M, Rogers J, Stordahl J, Ringgenberg S: Effects of Training on Timbre Recognition and Appraisal by Postlingually Deafened Cochlear Implant Recipients. *J Am Acad Audiol.* 13(3). 132–145 (2002)
33. Gfeller K, Witt S, Woodworth G, Mehr M, Knutson JF: Effects of Frequency, Instrumental Family, and Cochlear Implant Type on Timbre Recognition and Appraisal. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 111(4). 349–356 (2002)
34. Gfeller K, Woodworth G, Robin DA, Witt S, Knutson JF: Perception of Rhythmic and Sequential Pitch Patterns by Normally Hearing Adults and Adult Cochlear Implant Users. *Ear Hear.* 18(3). 252–260 (1997)
35. Ghaffaripour S, Mahmoudi H, Sahmeddini MA, Alipour A, Choledri A: Music can effectively reduce pain perception in women rather than men. *Pak J Med Sci.* 29(1).128-131 (2013)
36. Goto M: Development of the RWC Music Database. *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics.* 1. 553-556 (2004)
37. Haumann S, Mühler R, Ziese M, Specht H: Diskrimination musikalischer Tonhöhen bei Patienten mit Kochleaimplantat. *HNO.* 55. 613–619 (2007)

## 6. Literaturverzeichnis

38. Hsiao F, Gfeller K: Music Perception of Cochlear Implant Recipients with Implications for Music Instruction: A Review of Literature. *Update Univ S C Dep Music*. 30(2). 5–10 (2012)
39. Hu Y, Loizou PC: A new sound coding strategy for suppressing noise in cochlear implants. *J Acoust Soc Am*. 124(1). 498-509 (2008)
40. Jung KH, Cho Y, Cho JK, Park GY, Kim EY, Hong SH, Chung WH, Won JH, Rubinstein JT: Clinical assessment of music perception in Korean cochlear implant listeners. *Acta Otolaryngol*. 130(6). 716–723 (2010)
41. Knobloch M, Verhey J, Ziese M, Nitschmann M, Rostalski D, Arens C: Wahrnehmung musikalischer Harmonien und Kadenzfolgen mit dem Cochlea-Implantat. Vortrag. 16. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Rostock. Programm Abstracts. 165 (2013)  
<https://www.uzh.ch/orl/dga-ev/publikationen/tagungsbaende/tagungsbaende.html>
42. Koelsch S, Maess B, Grossmann T, Friederici A: Electric brain responses reveal gender differences in music processing. *Neuroreport*. 14(5). 709–713 (2003)
43. Kong Y, Cruz R, Jones JA, Zeng F: Music perception with Temporal Cues in Acoustic and Electric Hearing. *Ear Hear*. 25(2). 173–185 (2004)
44. Kong Y, Stickney GS, Zeng F: Speech and melody recognition in binaurally combined acoustic and electric hearing. *J Acoust Soc Am*. 117(3). 1351–1361 (2005)
45. Lai W, Dillier N: Investigating the MP3000 coding strategy for music perception. Vortrag. 11. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Kiel. Programm und Abstractband. 218-219 (2008)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/08-02-28\\_Programm-final.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/08-02-28_Programm-final.pdf)
46. Landwehr M, Walger M, von Wedel H, Meister H: Diskriminationsleistung von CI-Trägern bei der Klangfarbenwahrnehmung. Vortrag. 13. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Frankfurt am Main. Programm Abstracts. 129 (2010)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02\\_dga10\\_hauptprogramm\\_final-druck.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02_dga10_hauptprogramm_final-druck.pdf)
47. Laneau J, Wouters J, Moonen M: Improved Music Perception with Explicit Pitch Coding in Cochlear Implants. *Audiol Neurotol*. 11. 38–52. (2006)
48. Leal MC, Shin YJ, Laborde M, Calmels MN, Verges S et al.: Music perception in adult cochlear implant recipients. *Acta Otolaryngol*. 123(7). 826–835 (2003)
49. Lenarz T, Laszig R: Leitlinie 017/071 – Langfassung „Cochlea-Implantat Versorgung und zentral-auditorische Implantate“. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e. V., Bonn. 11-12 (2012)  
<http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/017-071.html>

## 6. Literaturverzeichnis

50. Looi V, McDermott HJ, McKay C, Hickson L: Music Perception of Cochlear Implant Users Compared with that of Hearing Aid Users. *Ear Hear.* 29(3). 421–434 (2008)
51. Looi V, McDermott HJ, McKay C, Hickson L: Pitch discrimination and melody recognition by cochlear implant users. *Cochlear Implants. Proceedings of the VIII International Cochlear Implant Conference. International Congress Series.* 1273. 197–200 (2004)
52. McDermott H, McKay C: Musical pitch perception with electrical stimulation of the cochlea. *J Acoust Soc Am.* 101(3). 1622–1631 (1997)
53. McDermott HJ: Music Perception with Cochlear Implants: A Review. *Trends Amplif.* 8(2). 49–82 (2004)
54. Müller-Deile J: Verfahren zur Anpassung und Evaluation von Cochlear-Implant-Sprachprozessoren. p.19. Median-Verlag von Killisch-Horn. Heidelberg 2009
55. Neben N, Lenarz T, Schuessler M, Harpel T, Buechner A: New cochlear implant research coding strategy based on the MP3000™ strategy to reintroduce the virtual channel effect. *Acta Otolaryngol.* 133(5). 481–490 (2013)
56. Nicoletti M, Bade P, Rudnicki M, Hemmert W: Kodierung von Schall in Nervenaktionspotentiale bei Cochlea Implantat Trägern. Vortrag. 13. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Frankfurt am Main. Programm Abstracts. 241 (2010)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02\\_dga10\\_hauptprogramm\\_final-druck.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02_dga10_hauptprogramm_final-druck.pdf)
57. Nimmons GL, Kang RS, Drennan WR, Longnion J, Ruffin C, Worman T, Yueh B, Rubenstein JT: Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otol Neurotol.* 29(2). 149–155 (2008)
58. Noguiera W, Buechner A, Lenarz T, Edler B: A psychoacoustic 'NofM'-type speech coding strategy for cochlear implants. *EURASIP J Appl Signal Processing.* 18. 3044–3059 (2005)
59. Nussbeck S: Sprache - Entwicklung, Störungen und Intervention. Module angewandter Psychologie. p 88. 1. Auflage. Kohlhammer. Stuttgart 2007
60. Omran SA, Büchler M, Lai W, Dillier N: Pitch Ranking of Complex Tones using a Model of the Virtual Channels in the Nucleus Freedom System. Vortrag. 10. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Heidelberg. Scientific program. 149 (2007) [http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/Program\\_EFAS\\_Congress\\_komplett.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/Program_EFAS_Congress_komplett.pdf)
61. Pressnitzer D, Bestel J, Fraysse B: Music to Electric Ears: Pitch and Timbre Perception by Cochlear Implant Patients. *Ann N Y Acad Sci.* 1060. 343–345 (2005)

## 6. Literaturverzeichnis

62. Sandmann P, Kegel A, Eichele T, Dillier N, Lai W, Bendixen A, Debener S, Jäncke L, Meyer M: Electrophysiological correlates of impaired musical sound perception in cochlear-implant users. Vortrag. 13. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Frankfurt am Main. Programm Abstracts. 123 (2010)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02\\_dga10\\_hauptprogramm\\_final-druck.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/10-03-02_dga10_hauptprogramm_final-druck.pdf)
63. Sara SA, Teh BM, Friedland P: Bilateral sudden sensorineural hearing loss: review. *J Laryngol Otol.* 128(S1). 8-15 (2014)
64. Schulz E, Kerber M: Music perception with the MED-EL implants. *Advances in Cochlear Implants.* pp. 326–332. Eds. Hochmair-Desoyer IJ und Hochmair ES. Wien 1994
65. Singh S, Kong Y, Zeng FG: Cochlear Implant Melody Recognition as a Function of Melody Frequency Range, Harmonicity, and Number of Electrodes. *Ear Hear.* 30(2). 160–168 (2009)
66. Skinner MW, Arndt PL, Staller SJ: Nucleus 24 advanced encoder conversion study: performance versus preference. *Ear Hear.* 23(1). 2–17 (2002)
67. Streppel M, Walger M, von Wedel H, Gaber E: Hörstörungen und Tinnitus. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut. 29. 8-28 (2006)  
[http://edoc.rki.de/documents/rki\\_fv/ren4T3cctjHcA/PDF/20Vo4CXYDBpeQ\\_41.pdf](http://edoc.rki.de/documents/rki_fv/ren4T3cctjHcA/PDF/20Vo4CXYDBpeQ_41.pdf)
68. Sucher CM, McDermott HJ: Pitch ranking of complex tones by normally hearing subjects and cochlear implant users. *Hear Res.* 230. 80–87 (2007)
69. Vandali AE, Whitford LA, Plant KL, Clark GM: Speech perception as a function of electrical stimulation rate using the Nucleus 24 cochlear implant system. *Ear Hear.* 21(6). 608–624 (2000)
70. Weber J, Lenarz T, Büchner A: Evaluation der Sprachverarbeitungsstrategie MP3000 bei Erstanpassung. Vortrag. 12. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Innsbruck. Programm und Abstractband. 123 (2009)  
[http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/09-02-20\\_dga09\\_hauptprogramm\\_final-3-1.pdf](http://www.dga-ev.com/fileadmin/Dateien/dga/pdf/Jahrestagungen/09-02-20_dga09_hauptprogramm_final-3-1.pdf)
71. Wendt B, Braun A, Hessel H, Stadler J, Vorwerk U: Unterscheiden sich prä- und postlingual ertaubte CI-Träger hinsichtlich ihrer emotionalen Prosodieperzeption? Vortrag. 17. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie, Oldenburg (2014)  
<http://www.uzh.ch/orl/dga2014/programm/wissprog/vortraege/vortraege.html>
72. Wilson BS, Dorman MF: Cochlear implants: A remarkable past and a brilliant future. *Hear Res.* 242(1-2). 3–21. (2008)
73. Zenner H : Hören. Physiologie, Biochemie, Zell- und Neurobiologie. pp. 17-129. Thieme. Stuttgart 1994

## 7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb. 1:** Das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr, S. 2 © Theresa Grieben  
angelehnt an: Prometheus LernAtlas der Anatomie. p.136 a, 3. Auflage. Georg Thieme Verlag. Stuttgart 2012
- Abb. 2:** Die Cochlea im Querschnitt, S. 4 © Theresa Grieben  
angelehnt an: Physiologie des Menschen. Schmidt RF, Lang F. p. 351. Abb. 16.6. 30. Auflage. Springer Medizin Verlag. Heidelberg 2007
- Abb. 3:** Zentrale Hörbahn und Hörrinde, S. 6 © Theresa Grieben  
angelehnt an: Neuroanatomie: Struktur und Funktion. Trepel M. 4. Auflage. p.451. Bahn 6. Elsevier GmbH München 2008
- Abb. 4:** interne und externe Komponenten eines Cochlea-Implantat-Systems, S. 9  
( Cochlear™ Nucleus® Serie CI500 Implantat und CP810 Soundprozessor)
- Abb. 5:** Schematische Darstellung eines implantierten CI-Systems, S. 10 © Theresa Grieben  
angelehnt an: Cochlear Implantation: The Hannover Guideline. Lenarz T. p.6. Endo Press. Tuttlingen 2011
- Abb. 6:** Melodie des schwedischen Liedes „Vem kan segla förutan vind?“, S. 19  
The Zurich Music Test Battery. p. 7. Büchler M. Version 1.2. University Hospital Zurich, ENT Dept. Exp. Audiology. Zürich 2008
- Abb. 7:** Schematische Darstellung der Melodiekonturen, S. 20  
The Zurich Music Test Battery. p. 9. Büchler M. Version 1.2. University Hospital Zurich, ENT Dept. Exp. Audiology. Zürich 2008
- Abb. 8:** Erkennen von Musikinstrumenten durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 24
- Abb. 9:** Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 26
- Abb. 10:** Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 27
- Abb. 11:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 29
- Abb. 12:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch die CI-Träger (n=24), S. 30
- Abb. 13:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch die normalhörende Vergleichsgruppe (n=23), S. 31



## 7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb. 14:** Musikalische Ausbildung von CI-Trägern (n=24) und normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 32
- Abb. 15:** Häufigkeit des Musikhörens von normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (n=23) und CI-Trägern zu verschiedenen Zeitpunkten [vor Ertaubung (n=24), nach Implantation (n=24), nach Umstellung auf MP3000 (n=14)], S. 33
- Abb. 16:** Gefallen am Musikhören von normalhörenden Probanden der Vergleichsgruppe (n=23) und CI-Trägern zu verschiedenen Zeitpunkten [vor Ertaubung (n=24), nach Implantation (n=24), nach Umstellung auf MP3000 (n=14)], S. 34
- Abb. 17:** Zufriedenheit der CI-Träger (n=24) mit dem Musikhören, S. 35
- Abb. 18:** Erkennen von Musikinstrumenten mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 36
- Abb. 19:** Erkennen von Melodiekonturen mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 38
- Abb. 20:** Erkennen von harmonischen Akkorden mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 39
- Abb. 21:** Erkennen von Tonhöhenunterschieden mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 40
- Abb. 22:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von Musikinstrumenten unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m), S. 41
- Abb. 23:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von Melodiekonturen unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m), S. 42
- Abb. 24:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von harmonischen Akkorden unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m), S. 43
- Abb. 25:** Geschlechtsabhängiges Erkennen von Tonhöhenunterschieden unter Betrachtung aller Probanden (15 w, 32 m), S. 44

## 7. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Tab. 1:** Einteilung des Grades der Schwerhörigkeit nach dem Vorschlag der europäischen Expertengruppe, S. 6
- Tab. 2:** Demografische Details der CI-Träger, S. 16
- Tab. 3:** Dargebotene Frequenzbereiche der im Test verwandten Musikinstrumente.  
The Zurich Music Test Battery. p.7. Bächler M. Version 1.2. University Hospital Zurich, ENT Dept. Exp. Audiology. Zürich 2008, S. 20
- Tab. 4:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Musikinstrumenten durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 23
- Tab. 5:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 25
- Tab. 6:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 27
- Tab. 7:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch CI-Träger (n=24) und normalhörende Probanden der Vergleichsgruppe (n=23), S. 28
- Tab. 8:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Musikinstrumenten durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 35
- Tab. 9:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Melodiekonturen durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 37
- Tab. 10:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von harmonischen Akkorden durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 38
- Tab. 11:** Zusammengefasste Ergebnisse zum Erkennen von Tonhöhenunterschieden durch CI-Träger mit den Sprachkodierungsstrategien ACE (n=14) und MP3000 (n=14), S. 39

## 8. Danksagungen

An dieser Stelle danke ich all jenen, die mich bei der Durchführung der Studie und der Verfassung dieser Dissertationsschrift unterstützt haben.

Zuerst danke ich Herrn PD Dr. med. Ulrich Vorwerk und Frau Dr. med. Wilma Vorwerk für die Überlassung des Themas und die stets aktive Betreuung und Förderung dieser Arbeit.

Besonderer Dank gilt Frau Dr. phil. Beate Wendt für die allzeitige Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Studie und die wertvollen Anregungen im Laufe der Anfertigung dieser Arbeit.

Ich danke der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde des Universitätsklinikums Magdeburg für die Schaffung der Voraussetzungen zum Erstellen dieser Arbeit.

Des Weiteren danke ich der Firma Cochlear für die Bereitstellung der Software und Herrn Dr. Horst Hessel für die fachliche Betreuung dieser Studie.

Großer Dank gilt allen Probanden, die sich freiwillig für diese Studie zur Verfügung gestellt und diese somit erst möglich gemacht haben.

Des Weiteren danke ich Frau Dipl.-Math. Anke Lux vom Institut für Biometrie und Medizinische Informatik für die Beratung und Unterstützung bei der statistischen Auswertung der gewonnenen Daten.

Außerdem danke ich meiner Cousine Theresa für die Erstellung der Abbildungen dieser Schrift.

Zuletzt möchte ich meiner Familie und Dave für ihre bedingungslose Unterstützung und stetige Förderung meiner Interessen in jeder Hinsicht danken.

## 9. Ehrenerklärung

Ich erkläre, dass ich die an der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

**Untersuchungen zur Perzeption musikalischer Parameter von  
Cochlea-Implantat-Trägern mit den Sprachkodierungsstrategien ACE und MP3000  
im Vergleich zu normalhörenden Probanden**

in der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde (Direktor Prof. Dr. med. C. Arens) des Universitätsklinikums Magdeburg A.ö.R.

mit Unterstützung durch PD Dr. med. U. Vorwerk, Dr. med. W. Vorwerk und Dr. phil. B. Wendt

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den 30.04.2014

Luisa Kunkel

## 10. Darstellung des Bildungsweges

### 10. Darstellung des Bildungsweges

Name		Luisa Kunkel
Geburtsdatum		28. Oktober 1988
Geburtsort		Beckendorf-Neindorf
Familienstand		ledig
Schulbildung	1995-1999	Grundschule Seehausen/Börde
	1999-2001	Sekundarschule Dreileben
	2001-2007	Gymnasium Oschersleben
	2007	Allgemeine Hochschulreife
Hochschulbildung	2007-2013	Studium der Humanmedizin
	2007-2008	Goethe-Universität Frankfurt am Main
	2008-2014	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
	2009	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
	2013	Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
	11/2013- 06/2014	Promotionsstudium
Berufliche Tätigkeit	ab 01.07.2014	Assistenzärztin im Klinikum in den Pfeifferschen Stiftungen Magdeburg

Magdeburg, den 30.04.2014

Luisa Kunkel

## 11. Anlagen

### Anlage 1

#### Messprotokoll für Musikwahrnehmungstests

Datum der Messreihe:

Beginn:

Probandenkürzel:

Hörvermögen:

Messohr:

#### MACarena

Anlage eines neuen Ordners

1. Instrument Recognition  
Angewöhnen (2 Durchläufe)  
Probelauf mit 16 Stimuli  
Test: 32 Stimuli
2. Melody Contours  
Subtest All combi chromatic  
Angewöhnen- 2 Durchläufe  
Probelauf mit 10 Stimuli  
Test: 60 Stimuli
3. Harmonie/ Dissonanz  
Probelauf mit 10 Stimuli  
Test: 30 Stimuli
4. Tonhöhenunterschiede  
Probelauf mit 1/3/6 Halbtönen mit 10 Stimuli  
Test: 72 Stimuli

#### Speicherung der Ergebnisse

Ausgabe des Fragebogen zu den Musikhörgewohnheiten

Ende der Testreihe:

Umstellung auf MP3000:

Frühster Termin für 2. Messreihe:

## 11. Anlagen

### Anlage 2

#### Fragebogen zur Musikwahrnehmung und Hörgewohnheiten von CI-Trägern

Probandenkürzel:

#### Musikalische Ausbildung und Erfahrung

1. Geben Sie Ihre musikalische Ausbildung und Erfahrung an:

- Aktiver professioneller Musiker vor der Ertaubung/ Implantation
- Professionelle Ausbildung, aber nur gelegentliches öffentliches Spiel vor der Ertaubung/ Impl.
- Gute musikalische Ausbildung mit häufigem Musizieren vor der Ertaubung/ Implantation
- Gute musikalische Ausbildung mit gelegentlichem Musizieren vor der Ertaubung/ Impl.
- Mäßige Ausbildung, keine Übung, grundlegende Kenntnis von musikalischen Begriffen
- Geringe Ausbildung, keine Übung, wenig Erfahrung mit Musikhören
- Keine Ausbildung, keine Übung, keine Erfahrung mit dem Musikhören

#### Musik-Hörgewohnheiten vor der Ertaubung/ Implantation

2. Wie oft hörten Sie vor der Ertaubung/ Implantation Musik?

Nie                      Selten                      Manchmal                      Oft                      Häufig

3. Wie gut hat Ihnen Musikhören gefallen?

Gar nicht                      Wenig                      Mittelmäßig                      Gut                      Sehr gut

4. Welche Musikstile hörten Sie sich an? (Mehrere Antworten sind möglich)

Klassik                      Oper/ Operette                      Pop                      Rock                      Jazz/Blues  
Techno                      Volksmusik/ Schlager                      Religiöse Musik                      Country                      Andere:

5. Haben Sie vor der Ertaubung/ Implantation regelmäßig gesungen?

Nein                      Ja, für mich                      Ja, in einem Chor

6. Haben Sie vor der Ertaubung/ Implantation ein Musikinstrument gespielt?

Nein                      Ja                      Falls ja, welches Instrument?

#### Musik-Hörgewohnheiten nach der Ertaubung/ Implantation

7. Wie oft hören Sie heutzutage Musik?

Nie                      Selten                      Manchmal                      Oft                      Häufig

8. Wie gut gefällt Ihnen Musikhören heutzutage?

## 11. Anlagen

Gar nicht	Wenig	Mittelmäßig	Gut	Sehr gut
-----------	-------	-------------	-----	----------

9. Wie hören Sie sich Musik an?

Lautsprecher    Audioeingang    FM-Anlage    Induktionsanlage    Andere (Welche?)

10. Welche Musikstile hören Sie sich heutzutage an? (Mehrere Antworten sind möglich)

Klassik    Oper/ Operette    Pop    Rock    Jazz/Blues  
 Techno    Volksmusik    Religiöse Musik    Country    Andere:

11. In welchen Situationen hören sie Musik? (Mehrere Antworten sind möglich)

Zu Hause    Im Auto    Konzerte    Disko/ Party    Andere:

12. Welches Medium benutzen Sie, um Musik zu hören? (Mehrere Antworten sind möglich)

CD    Radio/TV    MP3-Player    Live    Andere:

13. Singen Sie heutzutage regelmäßig?

Nein    Ja, für mich    Ja, in einem Chor

14. Wie wichtig ist/ wäre Singen für Sie?

Gar nicht    Wenig    Mittelmäßig    Wichtig    Sehr wichtig

15. Spielen Sie heutzutage ein Instrument?

Nein    Ja    Wenn ja, welches?

16. Wie wichtig ist/ wäre es für Sie, ein Instrument zu spielen?

Gar nicht    Wenig    Mittelmäßig    Wichtig    Sehr wichtig

17. Gibt es Instrumente, die für Sie mit dem Implantat besonders gut klingen?

(Mehrere Antworten sind möglich)

Nein    Ja    Wenn ja, welche?

18. Gibt es Instrumente, die für Sie mit dem Implantat besonders schlecht klingen?

(Mehrere Antworten sind möglich)

Nein    Ja    Wenn ja, welche?

19. Welche Merkmale der Musik glauben Sie, mit dem CI besonders gut wahrnehmen zu können?

(Mehrere Antworten sind möglich)



## 11. Anlagen

Tonhöhen- Unterschiede	Melodie	Rhythmus	Emotion	Gesang
---------------------------	---------	----------	---------	--------

20. Können sie einen bestimmten Rhythmus unterscheiden? (z.B. Walzer, Tango, Rock)

Nie	Selten	Manchmal	Oft	Häufig
-----	--------	----------	-----	--------

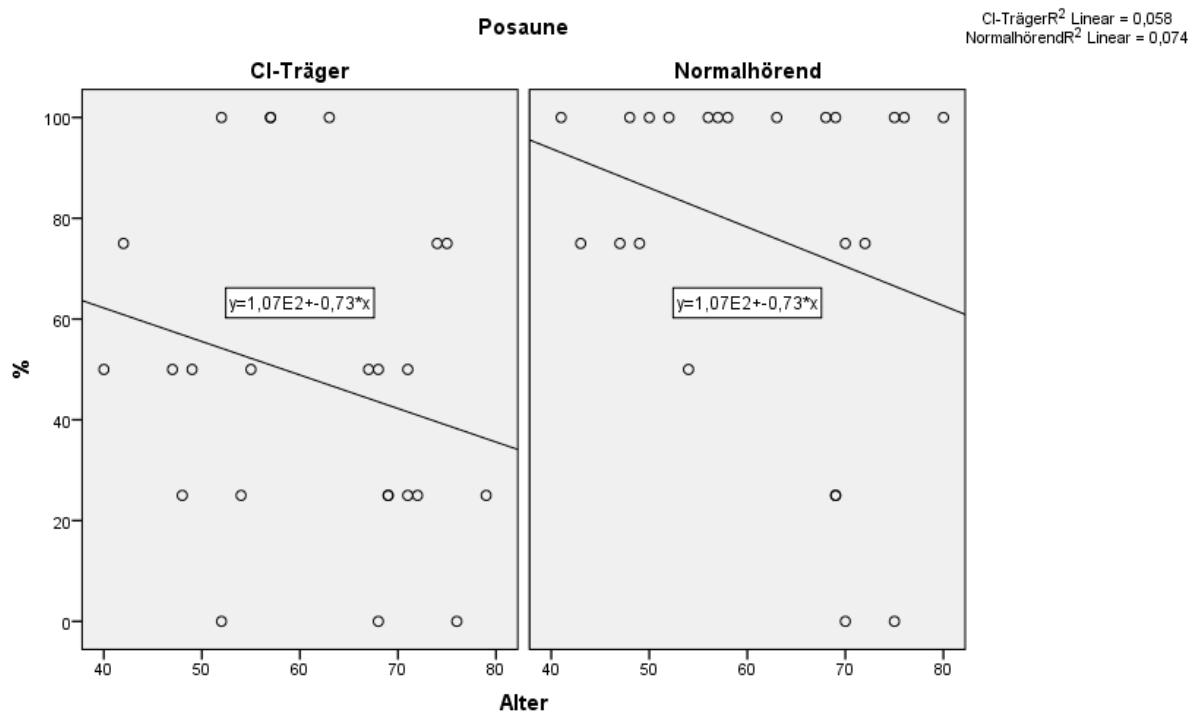
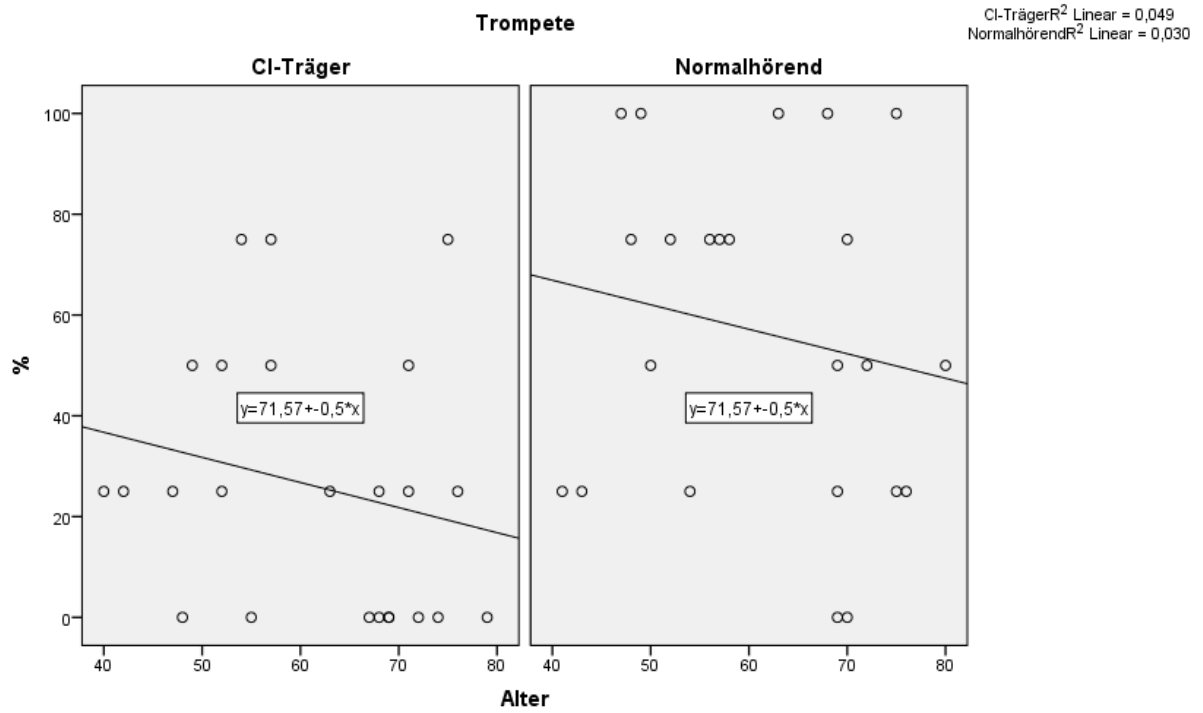
21. Wenn Sie heutzutage, nach der Implantation Musik hören, sind Sie...

Sehr enttäuscht	Enttäuscht	Keine Meinung	Zufrieden	Sehr zufrieden
-----------------	------------	---------------	-----------	----------------

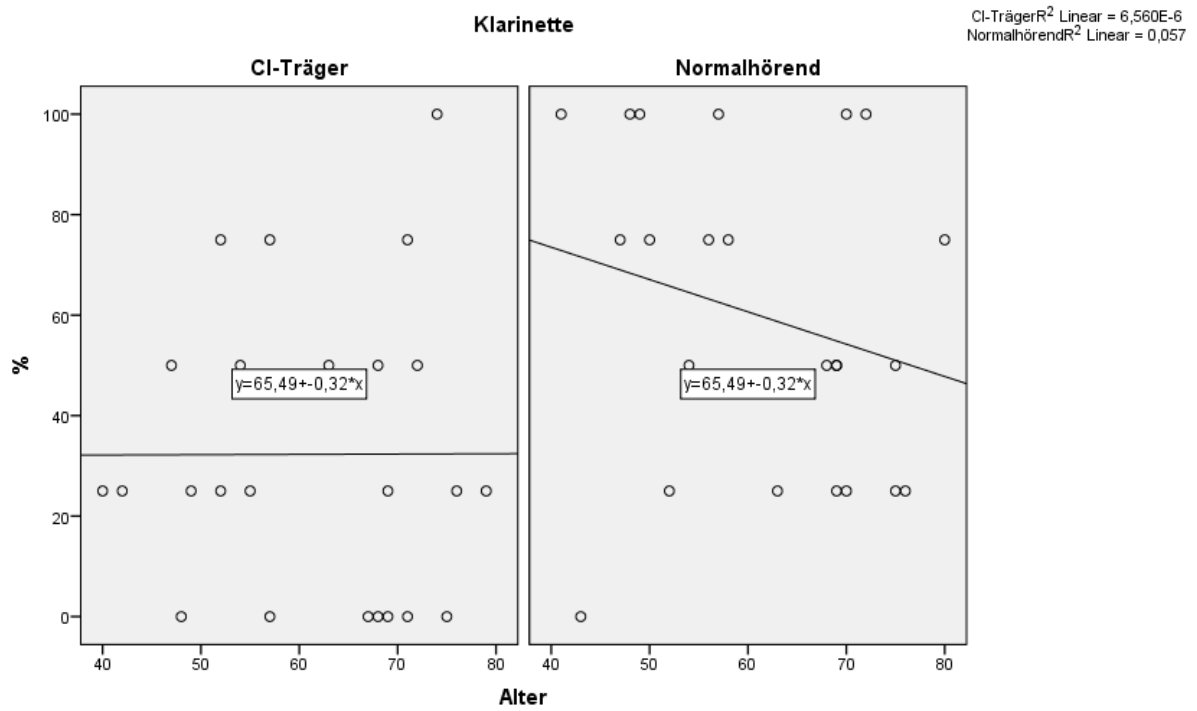
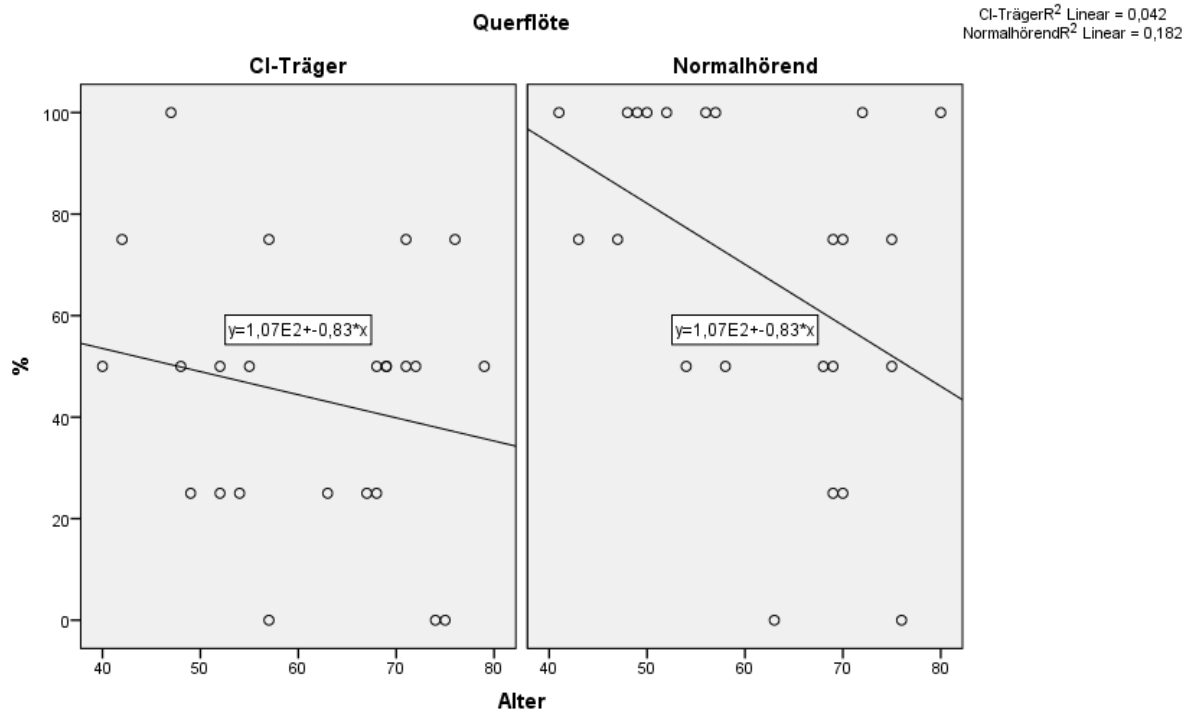
22. Andere Kommentare:

11. Anlagen

Anlage 3



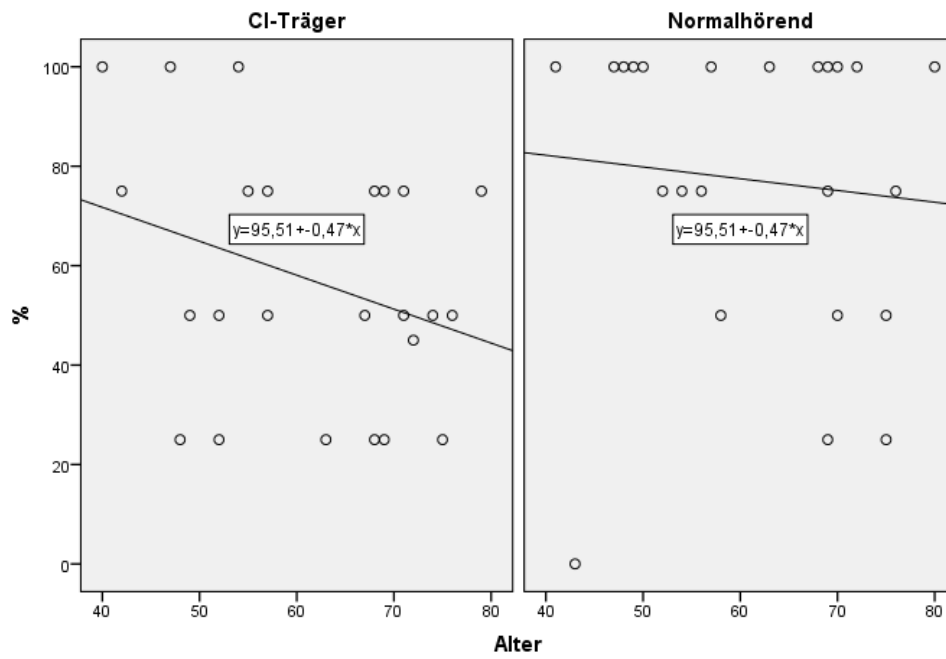
# 11. Anlagen



# 11. Anlagen

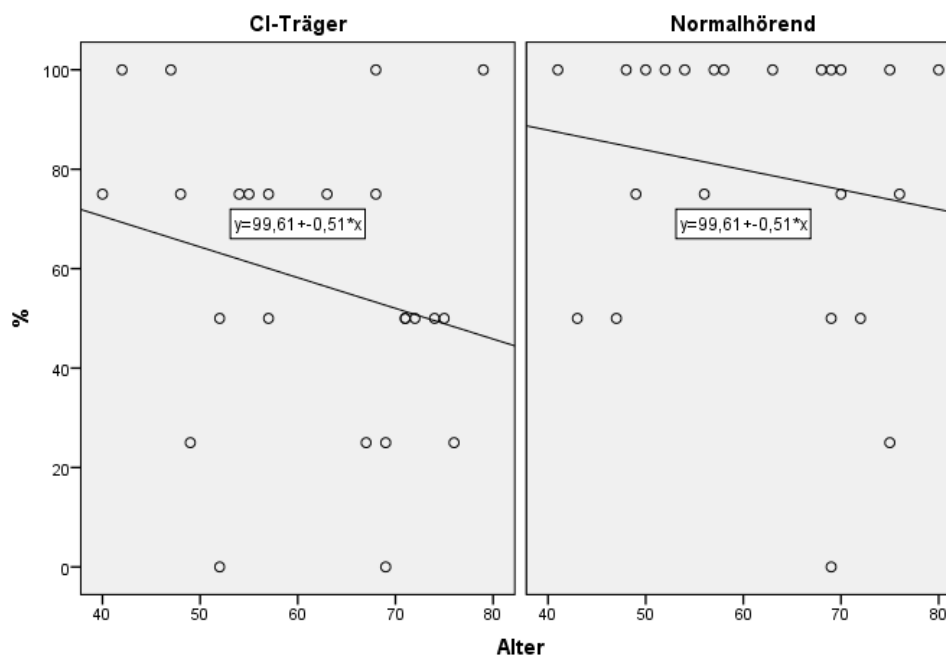
## Violine

CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,100  
 NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,009



## Cello

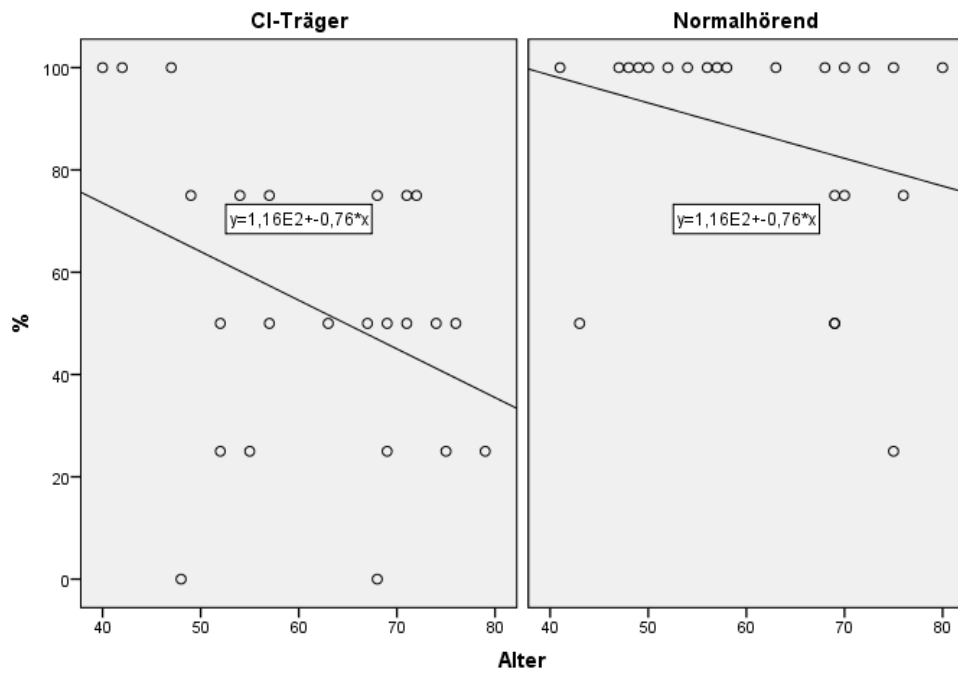
CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,057  
 NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,026



# 11. Anlagen

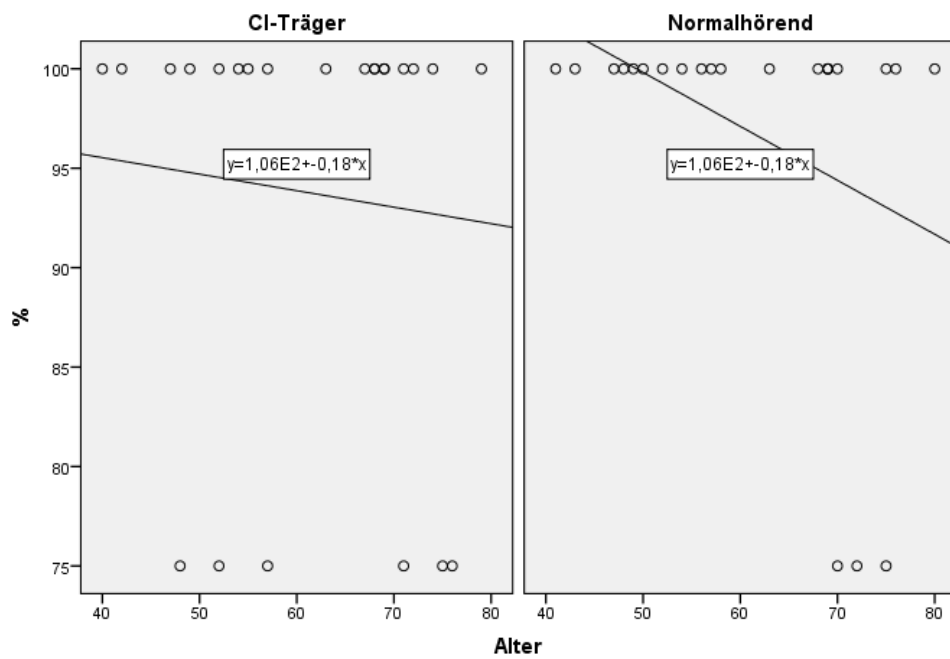
## Gitarre

CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,146  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 0,080

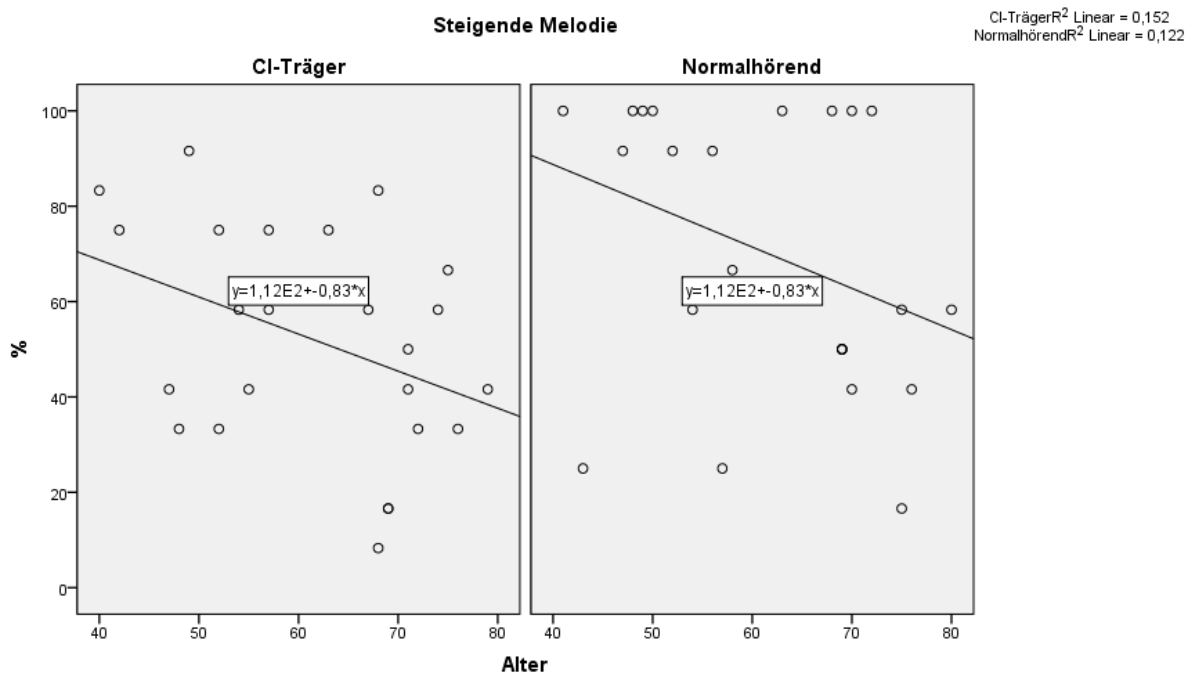
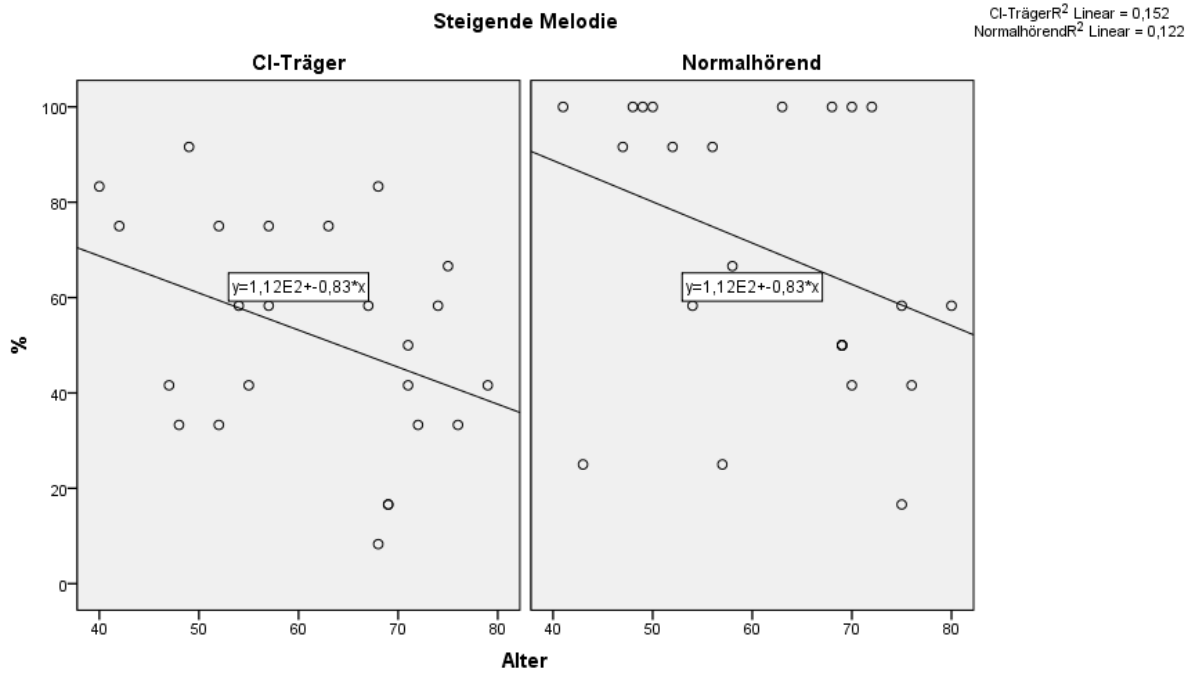


## Piano

CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,008  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 0,137



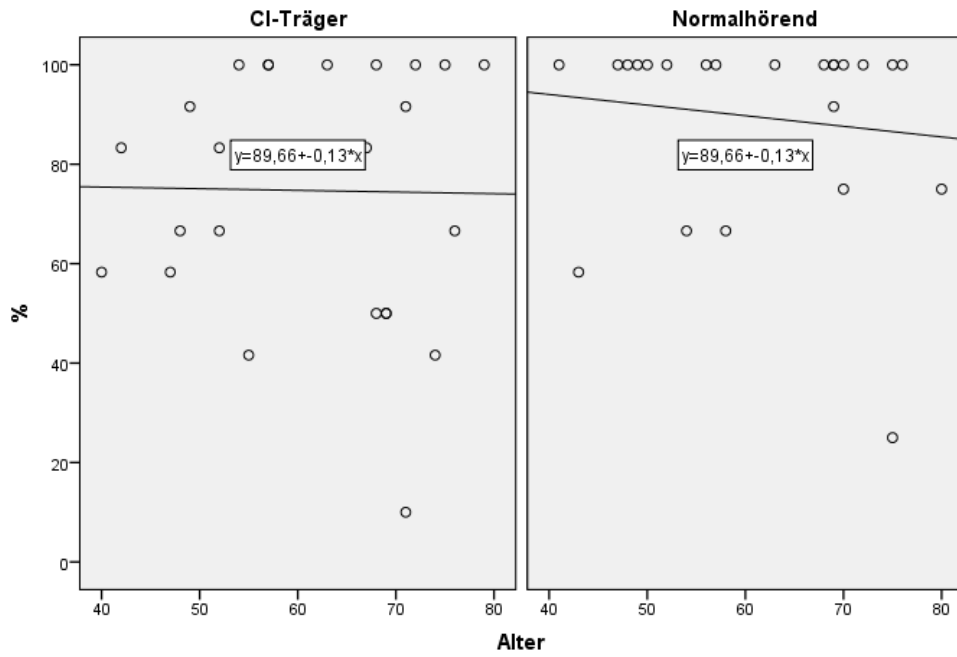
# 11. Anlagen



# 11. Anlagen

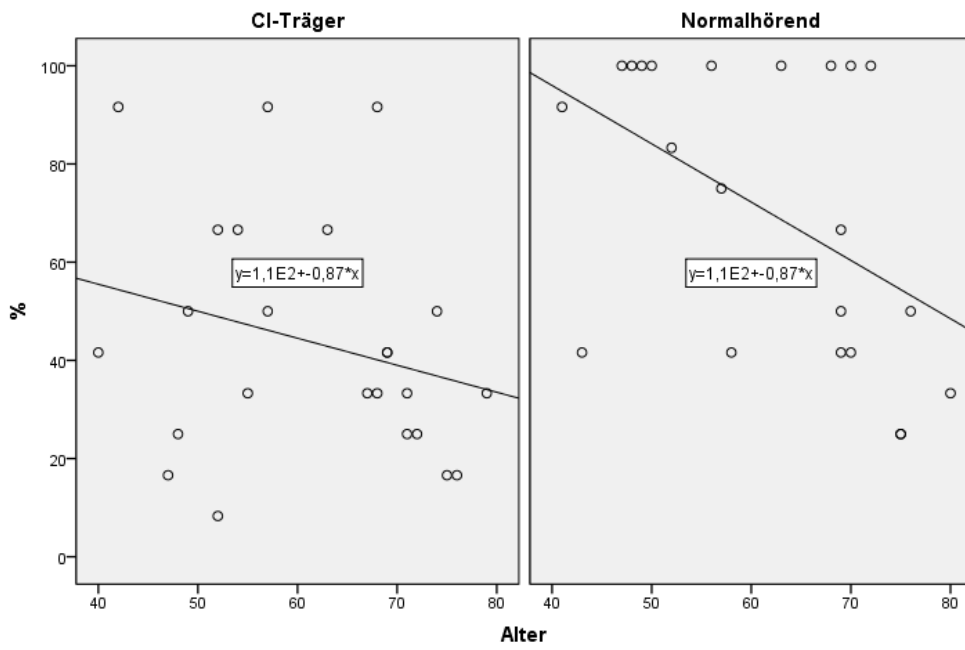
## Flache Melodie

CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 2,312E-4  
 NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,017

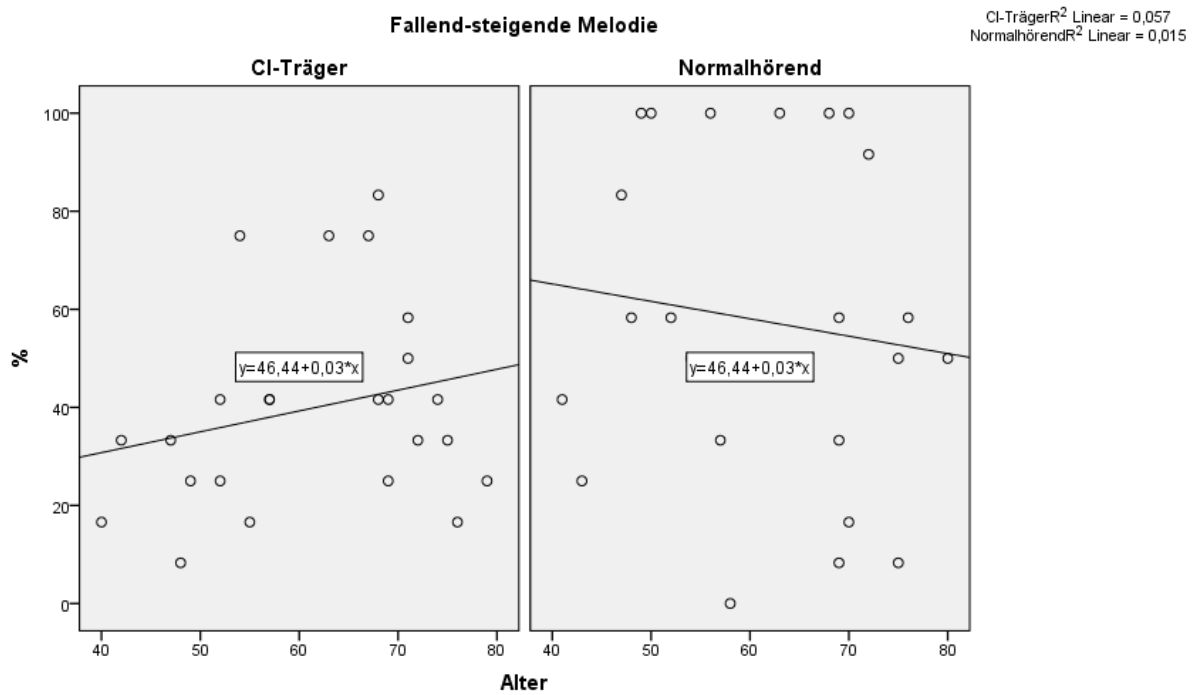
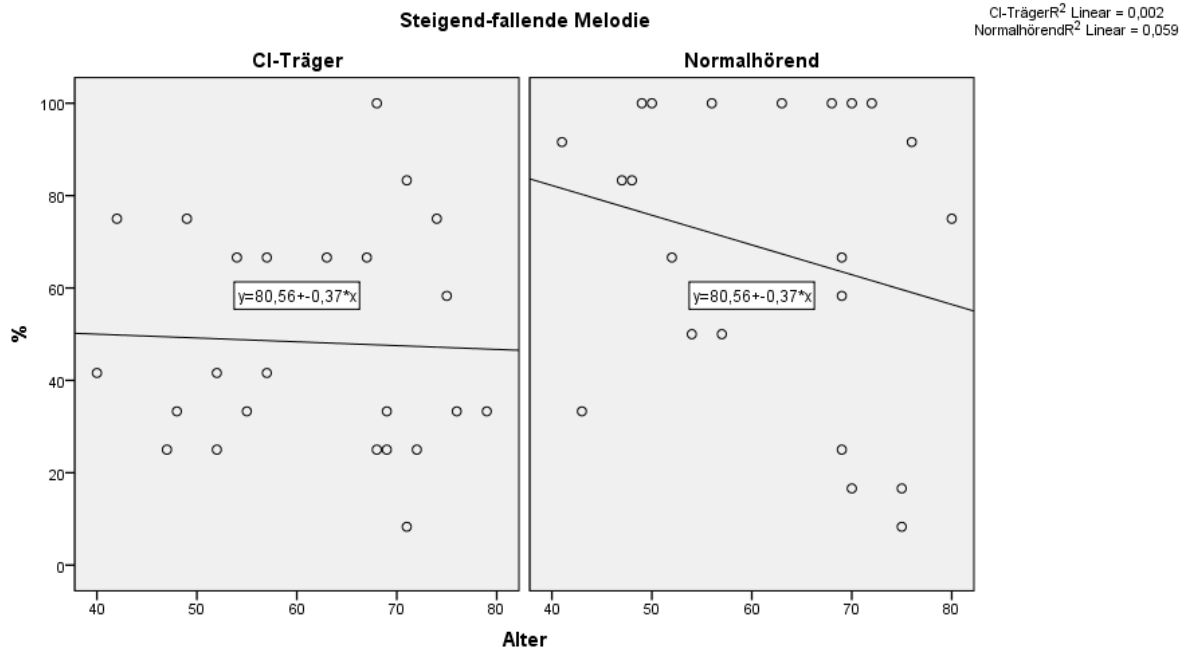


## Fallende Melodie

CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,068  
 NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,234

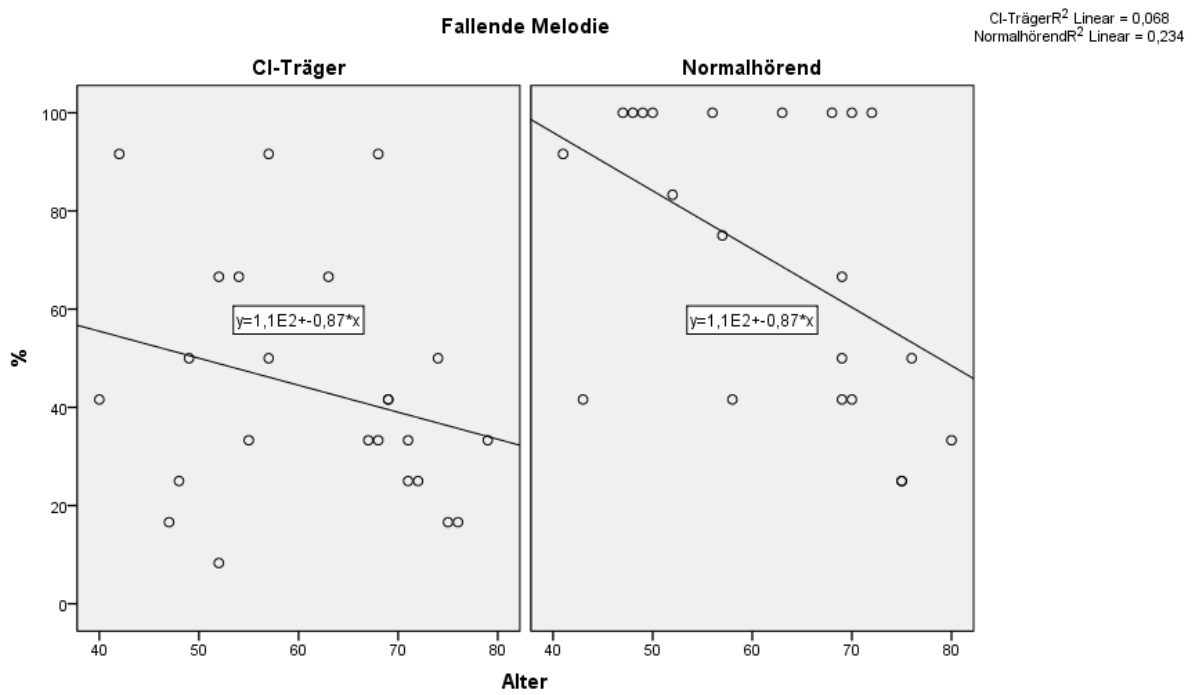
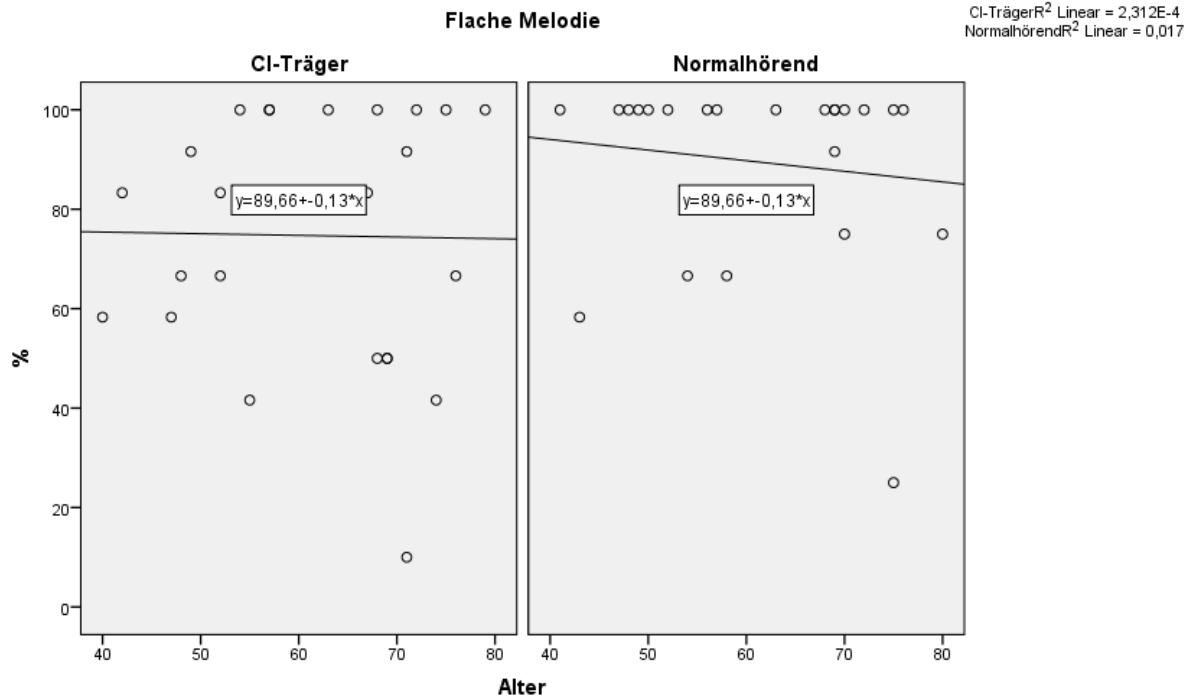


# 11. Anlagen

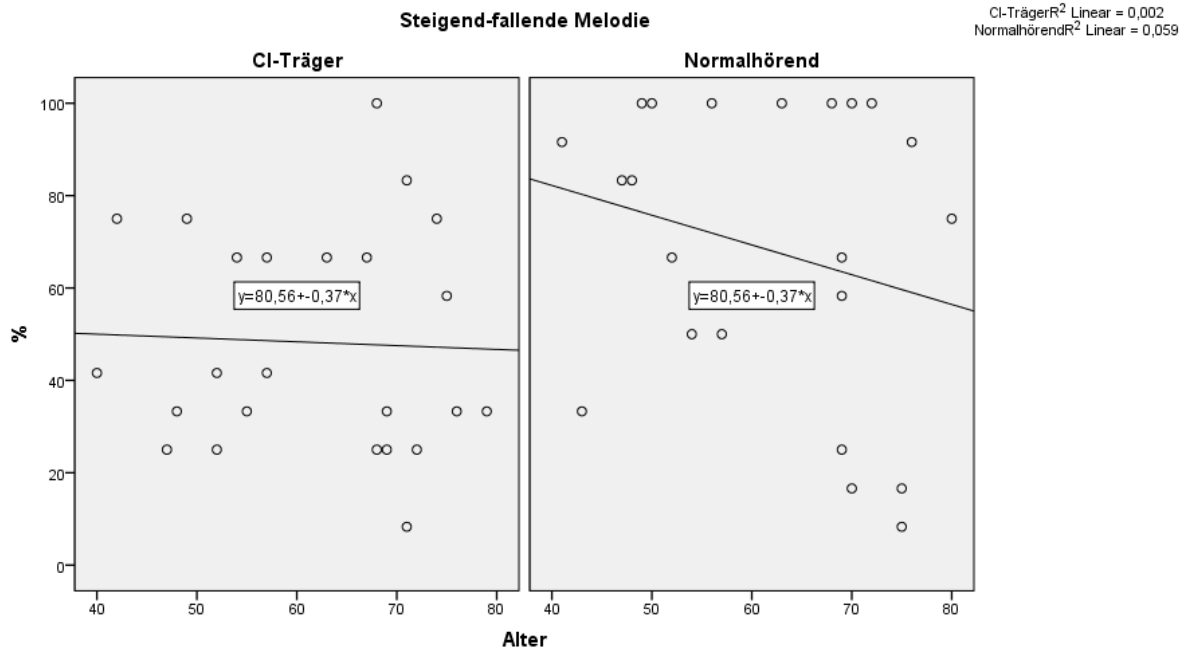




# 11. Anlagen



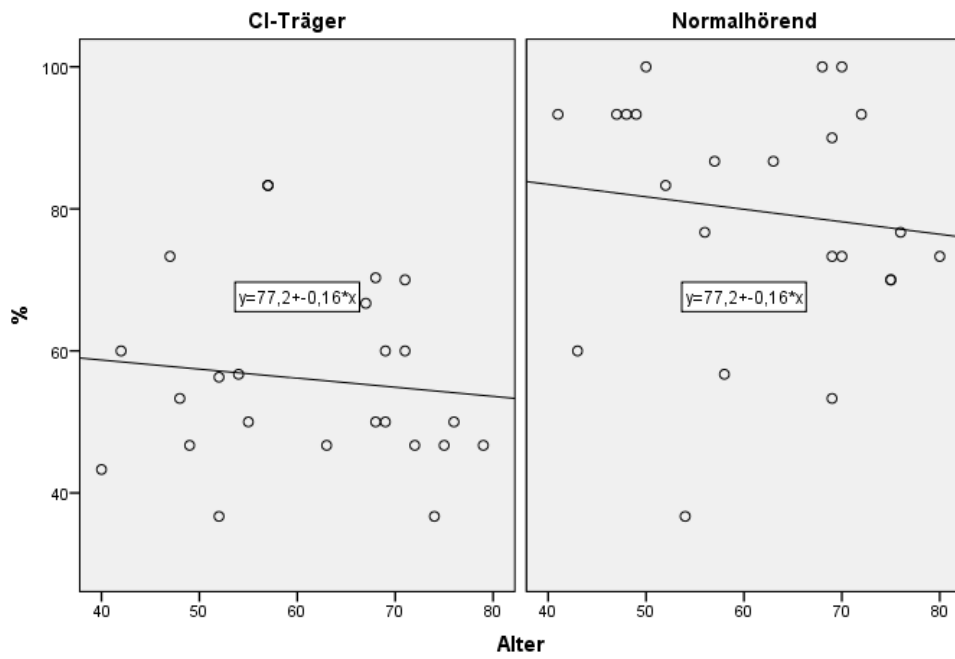
# 11. Anlagen



# 11. Anlagen

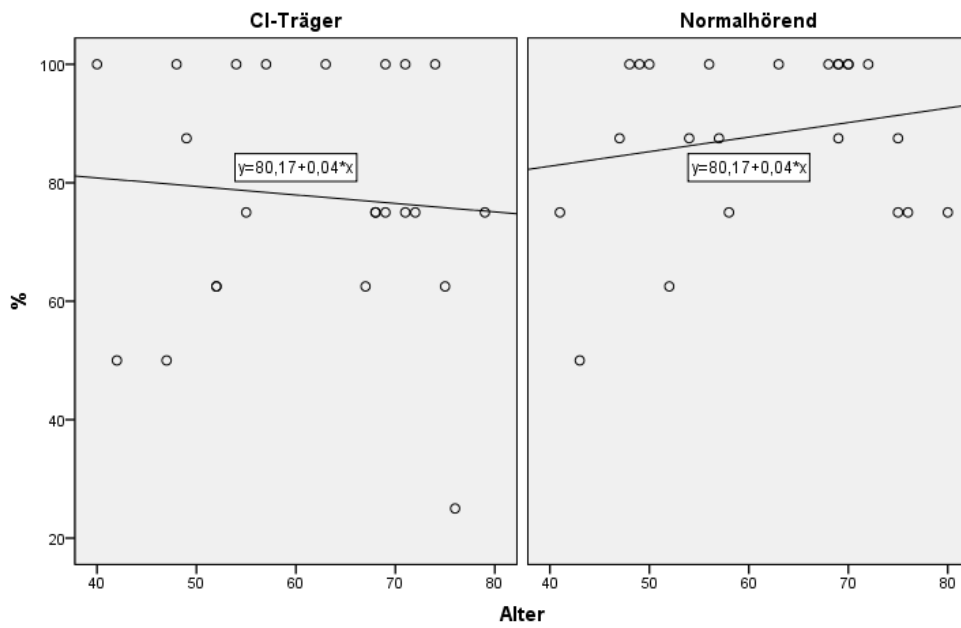
## Erkennen von Harmonien

CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,013  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 0,015



## 1 Halbtorschritt niedrige Frequenz

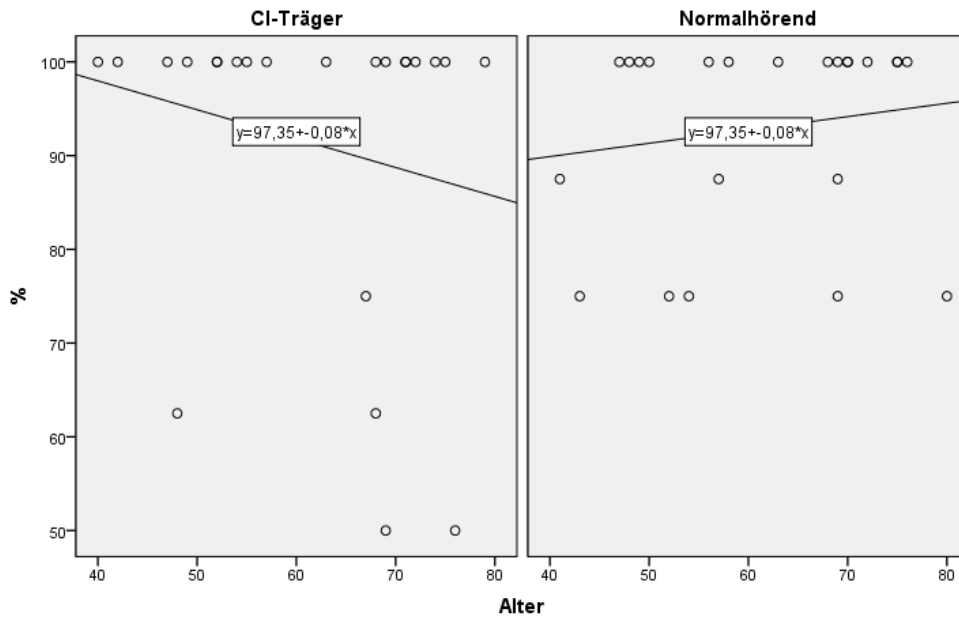
CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,007  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 0,040



# 11. Anlagen

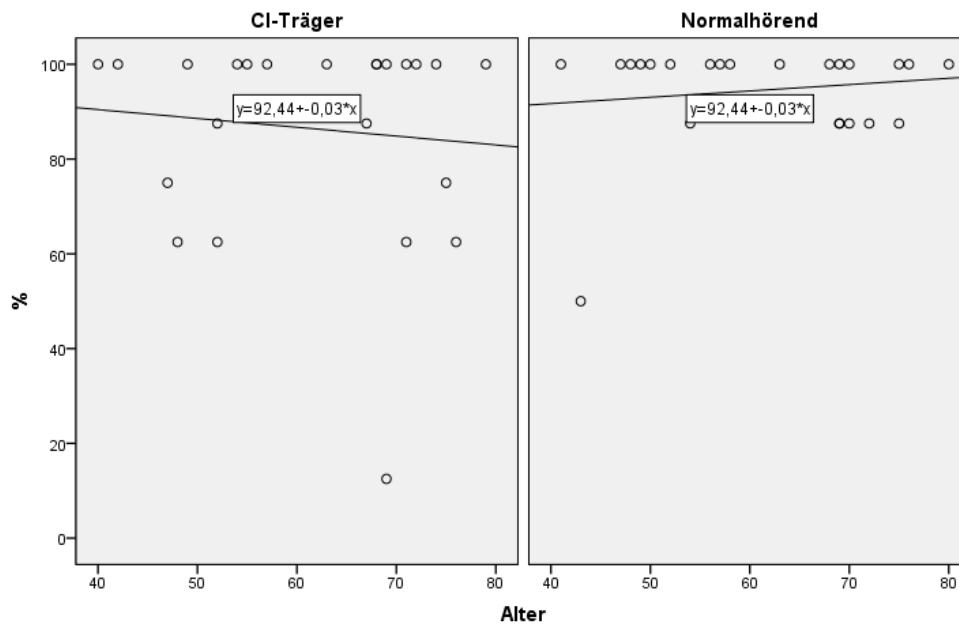
## 3 Halbtonschritte niedrige Frequenz

CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,043  
NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,025



## 6 Halbtonschritte niedrige Frequenz

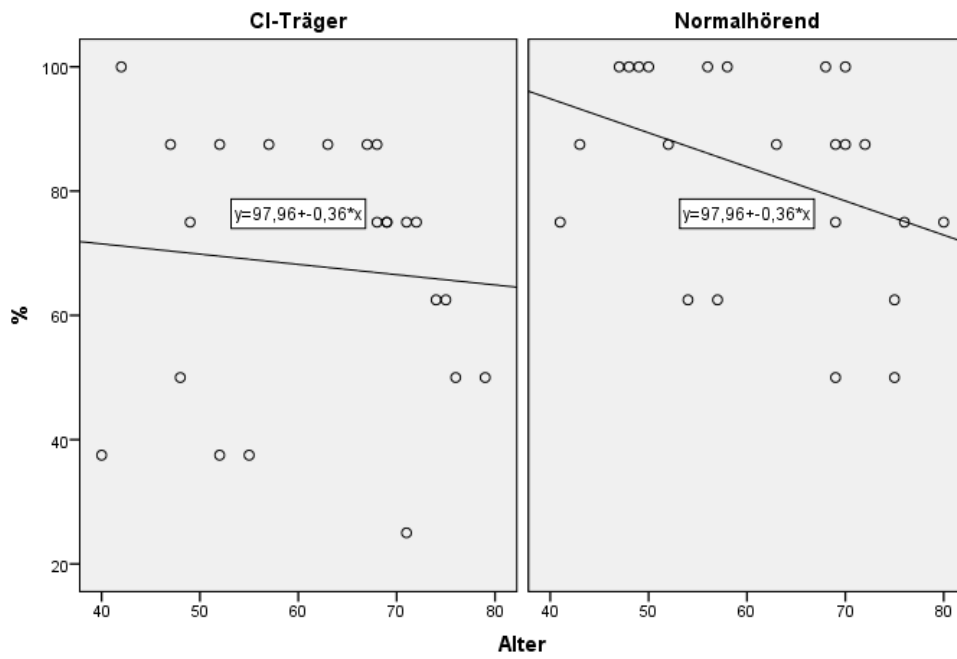
CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,010  
NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,020



# 11. Anlagen

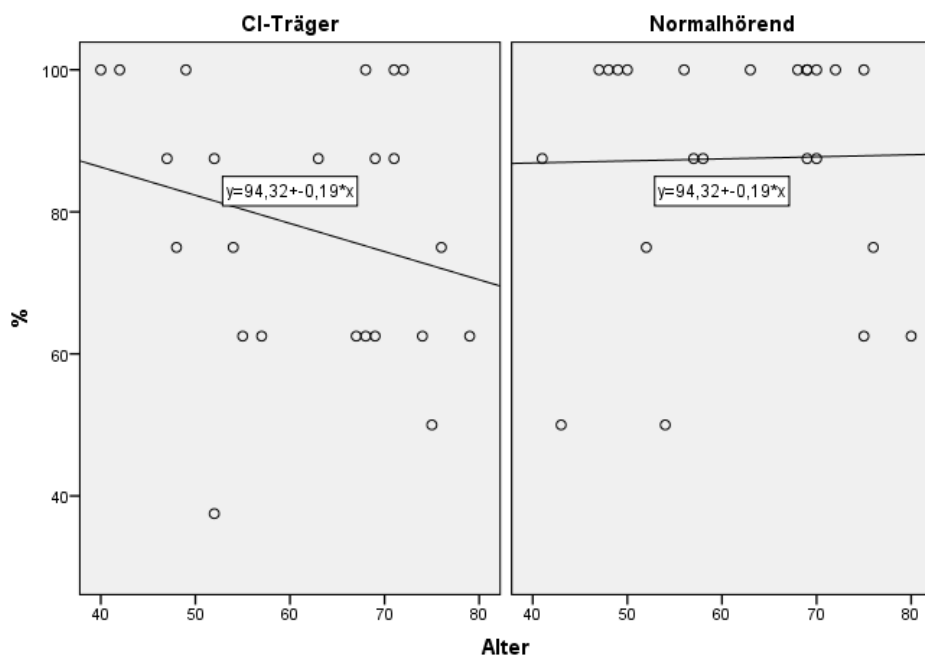
1 Halbtonschritt mittlere Frequenz

CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,009  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 0,149



3 Halbtonschritte mittlere Frequenz

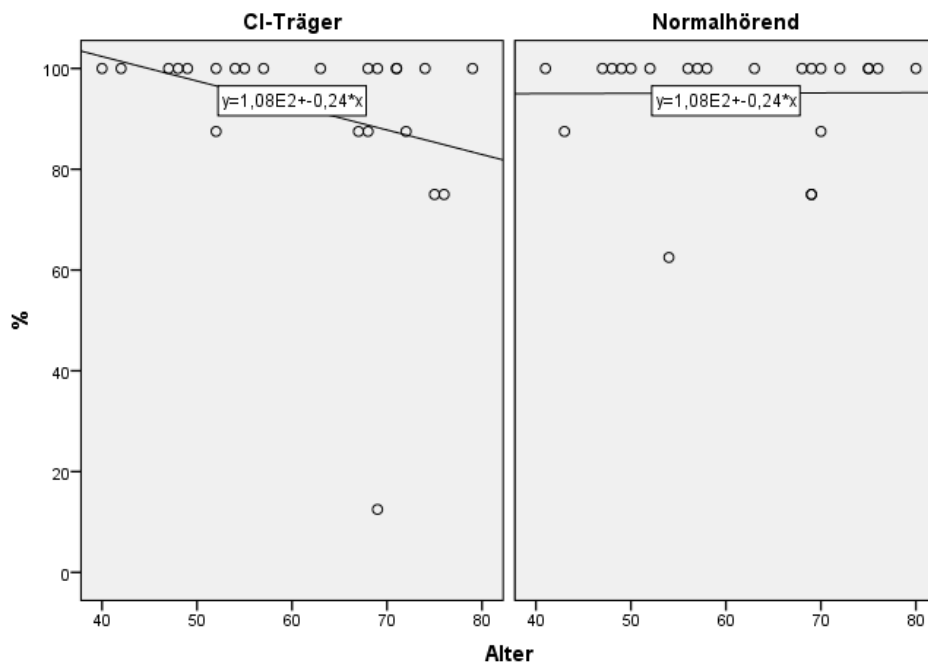
CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,064  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 4,033E-4



# 11. Anlagen

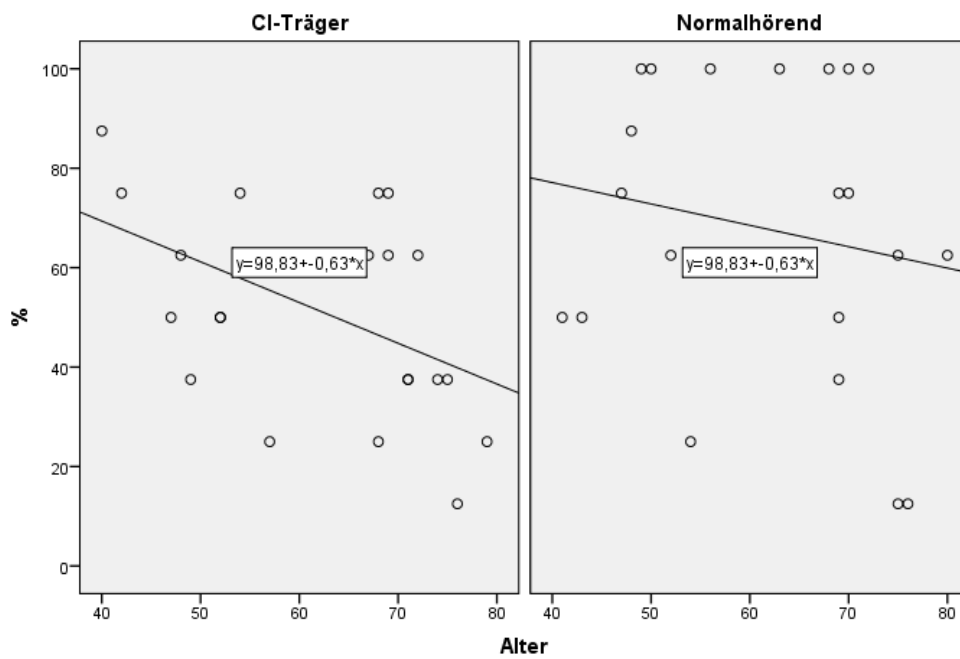
6 Halbtonschritte mittlere Frequenz

CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,091  
NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 2,718E-5



1 Halbtonschritt hohe Frequenz

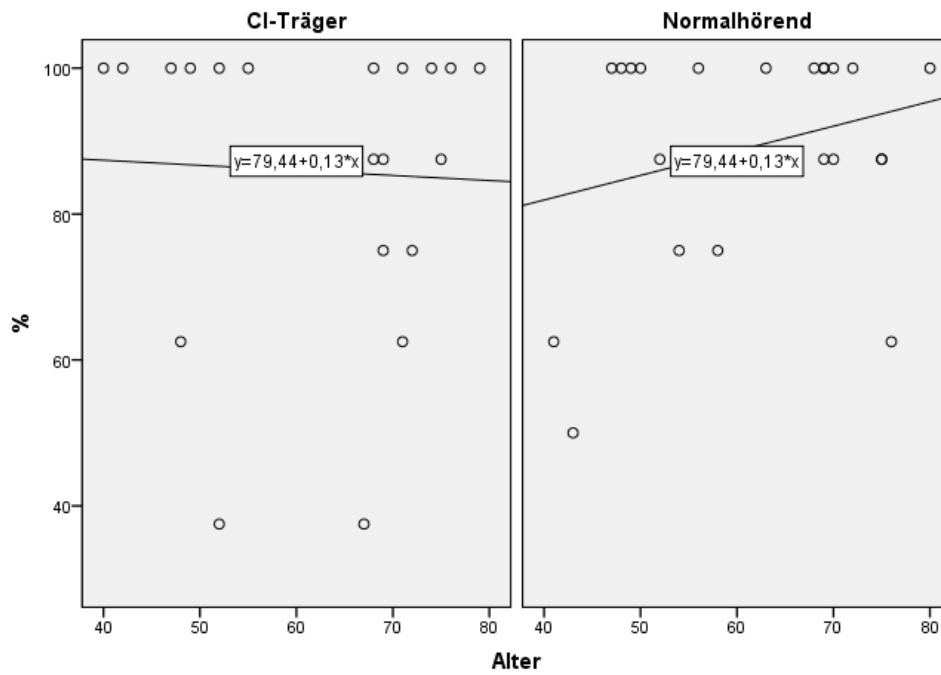
CI-TrägerR<sup>2</sup> Linear = 0,233  
NormalhörendR<sup>2</sup> Linear = 0,032



# 11. Anlagen

## 3 Halbtonschritte hohe Frequenz

CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,002  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 0,072



## 6 Halbtonschritte hohe Frequenz

CI-Träger  $R^2$  Linear = 0,027  
 Normalhörend  $R^2$  Linear = 2,078E-4

