

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

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

## **Monaurales Sprachverständnis im Störgeräusch in Abhängigkeit von der Störgeräuschposition**

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

Johannes Sebastian Wirsing

aus Ludwigsburg

Würzburg, August 2010



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

Tag der mündlichen Prüfung: 9.6.2011

Der Promovend ist Zahnarzt



Meinen Eltern gewidmet, auf deren Unterstützung ich immer  
bauen kann und die mir alles ermöglicht haben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung	1
1.2	Räumliches Hören	1
1.3	Monaurales Hören	3
1.4	Monaurales Sprachverständnis im Störgeräusch	4
1.5	Sprachtests	5
1.6	Problemstellung	5
<b>2</b>	<b>Versuchsplanung und Methodik</b>	<b>7</b>
2.1	Problematik der Freifelddarbietung	7
2.2	Head and Torso-Simulator	8
2.3	Silikonohren	11
2.3.1	Beschreibung der Silikonohren	11
2.3.2	Verwendetes Material	11
2.3.3	Herstellung der Basisplatte	11
2.3.4	Herstellung der Ohrmuschel	12
2.4	Vorversuch zur Bestimmung des SNR	12
2.4.1	Sprachverständnis in Abhängigkeit vom SNR	14
2.4.2	Stimuli	14
2.4.3	Kalibrierung	16
2.4.4	Ergebnisse	19
2.5	Die Stimuli für den Hauptversuch	19
2.5.1	Auswahl der Probanden	22
2.6	Versuchsaufbau	24
2.6.1	Aufzeichnung der Stimuli	25
2.6.2	Messung der Winkel mittels Messmikrofon	25
2.6.3	Messung der Frequenzgänge der Kopfhörer	26
2.7	Struktur des Hauptversuchs	26
2.8	Versuchsdurchführung	28

<b>3 Ergebnisse</b>	<b>29</b>
3.1 Statistische Auswertung	29
3.1.1 Boxplots	29
3.2 Einfluß des Einfallswinkels auf das Spektrum am Ort des Hörers	29
3.3 Sprachverständnis im Zeitverlauf des Experiments	31
3.4 Einfluß des Einfallswinkels auf das Sprachverständnis	31
3.5 Vergleich der Gruppen	34
3.6 Vergleich der Probanden	34
3.7 Sprachverständnis aller Probanden	35
<b>4 Diskussion</b>	<b>37</b>
4.1 Visuelle und statistische Betrachtung der Ergebnisse	37
4.1.1 Antwortspezifische Unterschiede der Probanden	37
4.1.2 Winkelspezifische Unterschiede der Probanden	38
4.2 Bezugnahme auf die ursprüngliche Fragestellung	39
4.3 Brauchbarkeit der gewählten Methodik	41
<b>5 Ausblick</b>	<b>43</b>
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>45</b>
<b>A Anhang</b>	<b>47</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>Danksagung</b>	
<b>Lebenslauf</b>	



# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung

Unsere Umwelt ist voller Geräusche. Stimmengewirr, Verkehrslärm, Alltagsgeräusche. Für den normalhörenden Menschen ist dies allenfalls lästig, denn er hat gelernt, wichtige Informationen aus dem Störlärm zu extrahieren und zu detektieren. So ist bekannt, dass ein normalhörender Mensch durchaus in der Lage ist, sich auch in größeren Menschenmengen oder allgemein unter Einfluß von Störlärm durch Sprache zu verständigen.

Der Mensch kann im Störgeräusch Stimmen voneinander unterscheiden und die gewünschte Information extrahieren. Diese Fähigkeit ist als „*Cocktail Party Effect*“ bekannt (Cherry und Bowles, 1960). Voraussetzung dafür ist das binaurale Hörvermögen (Cherry und Bowles, 1960), welches sich durch interaurale Schallpegeldifferenz, interaurale Laufzeitdifferenz und interaurale Phasenverschiebung zusammensetzt. Durch das binaurale Hören sind wir in der Lage, Schallquellen im Raum zu lokalisieren und einen Eindruck über die Entfernung zur Schallquelle zu erhalten (Blauert, 1974).

Platte et al. (1978) stellten fest, dass die Verständlichkeit von Sprache im Störgeräusch für den „Normalhörenden“ stark von der Lokalisation von Sprach- und Schallquelle abhängt. Die Sprachverständlichkeit ist dann am schlechtesten, wenn Sprache und Störschall aus der gleichen Richtung einfallen. Eine weitere Rolle in der räumlichen Wahrnehmung spielen die sog. monauralen spektralen Merkmale, die durch die Modulierung des eintreffenden Schalls am Außenohr, welches wie ein linearer Filter funktioniert, entstehen (Blauert, 1974).

## 1.2 Räumliches Hören

Primär unterscheidet man das räumliche Wahrnehmungsvermögen in zwei Ebenen. Zum einen ist dies die Horizontalebene (Azimut) und zum anderen ist dies die Vertikalebene bzw. Medianebene (Elevation). In der Horizontalebene kom-

## 1 Einleitung

men zwei Fähigkeiten zum tragen:

- die interaurale Laufzeitdifferenz,(interaural time difference, ITD)
- die interaurale Schallpegeldifferenz,(interaural pressure difference, IPD)

Trifft ein Schallsignal von der rechten Seite einfallend auf den Kopf, so wird als erstes das rechte Trommelfell stimuliert. Das Signal trifft zeitlich verzögert am linken Trommelfell ein. Registriert werden unterschiedlich lange Zeiten für die Wegstrecken, die der Schall zu beiden Ohren zurücklegen muss. Vor allem bei tiefen Frequenzen reagiert das Gehör empfindlich auf Zeitdifferenzen (Hellbrück, 1993). Im Englischen wird diese Zeitdifferenz als „interaural time difference“ (ITD) bezeichnet, gelegentlich spricht man auch von Phasenverschiebung. Die maximale Wegstrecke ist erreicht, wenn ein Schallsignal mit einem Winkel von  $90^\circ$  von der Seite auf den Kopf auftrifft. In diesem Fall entfaltet sich auch die maximale Wirkung des Kopfabshadoweffektes. Es entstehen unterschiedliche Schallpegel in den Gehörgängen, welche ebenfalls ausschlaggebend für räumliches Wahrnehmungsvermögen sind.

Diese Schallpegeldifferenzen spielen jedoch nur dann eine Rolle, wenn die Wellenlänge des Schalls im Vergleich zum Kopf klein ist. Es entsteht ein durch den Kopf hervorgerufener Schallschatten, der den Schallpegel am Ohr der schallabgewandten Seite abfallen läßt. Dies ist jedoch nur bei hohen Frequenzen von 2-3 kHz der Fall (Hellbrück, 1993).

Die Lokalisation in der Medianebene erfolgt fast ausschließlich über die monauralen spektralen Merkmale, die durch die Form der menschlichen Ohrmuschel vorgegeben sind („pinna based monaural spectral cues“). In der Vertikalen spielt folglich die binaurale Signalverarbeitung fast keine Rolle. Die Ohrmuschel wirkt wie ein Frequenzfilter, der ankommende Signale einfängt, linear verzerrt, reflektiert und beugt. Weiterhin spielen Interferenzen, Resonanz und Streuung eine Rolle (Hellbrück, 1993). Das Außenohr fängt ankommende Schallsignale ein und verzerrt diese linear in Abhängigkeit von der Einfallsrichtung und der Entfernung. Durch diesen Prozess entsteht eine Umcodierung der räumlichen Schallfeldmerkmale in zeitliche (Blauert, 1974).

## 1.3 Monaurales Hören

*„Even in the noisiest surroundings, most men find it possible to follow every nuance in the conversation of quiet young ladies. The few men who cannot are no less virile, no less courageous, no less red-blooded, and no less two-fisted. They are, however, probably less two-eared. A side-effect of our binaural ability to judge where a sound is coming from is our ability to pick sounds from another and then to attend to them , while effectively excluding the others...“*

(Vorwort zu Jeffress, L.A. (1972) Binaural Signal Detection: Vector Theory. In: Tobias (Ed), J.V. Foundation of modern auditory theory, Vol. 2 , Academic Press, New York, pp. 349-368)

Einseitig ertaubte Menschen haben das Problem, dass durch den Verlust des binauralen Hörvermögens ihre räumliche Wahrnehmungsfähigkeit und damit auch ihr Sprachverständnis im Störgeräusch stark eingeschränkt ist. Da die Separation von Sprache und Geräusch eine binaurale Hörleistung ist, sind einseitig Taube folglich ausschließlich auf außenohrbasierende monaurale spektrale Merkmale angewiesen. Dadurch, dass der einseitig Taube keine interauralen Signalunterschiede auswertet, ist das räumliche Hören des einseitig Tauben mit dem gesunden räumlichen Hören in der Mediansagittalebene verwandt (Blauert, 1974).

Folgende Autoren haben sich in der Vergangenheit mit der Thematik des räumlichen Hörens in der Medianebene auseinandergesetzt: Röser (1969), Blauert (1974), Oldfield und Parker (1986), Hudde und Pösselt (1988). Blauert (1974) erklärt die Lokalisation in der Mediansagittalebene durch sogenannte „*richtungsbestimmende Frequenzbänder*“. Wenn ein Ohr aus verschiedenen Richtungen beschallt wird, entstehen für die jeweilige Schalleinfallrichtung spezifische Anhebungen oder Absenkungen einzelner schmaler Frequenzbereiche. Diese, für die jeweilige Richtung spezifizierten Anhebungen oder Abfälle der Frequenzbereiche, befähigen uns, die Schalleinfallrichtung zu erkennen. Auf diese Weise kann auch das Restriktionshören einseitig Ertaubter erklärt werden. Bedeutend ist hier der Frequenzbereich um 8 kHz, der durch eine Absenkung gekennzeichnet ist. Hier erfolgt die Beschallung des Ohres „von oben“ (Hudde und Pösselt, 1988).

### 1.4 Monaurales Sprachverständnis im Störgeräusch

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich speziell mit der Problematik des monauralen Sprachverständnisses im Störgeräusch in der Horizontalebene. Da der „Normalhörende“ wie auch der „Schwerhörige“ jeden Tag mit Störgeräuschen konfrontiert wird, ist das Anbieten eines Störgeräusches in der Sprachaudiometrie nicht wegzudenken. Eine Sprachdiskrimination ohne Berücksichtigung von Störgeräuschen kann die Alltagssituation eines Hörgeschädigten nicht ausreichend beschreiben (von Wedel, 1985). Der „Schwerhörige“ klagt oft darüber, Sprache besonders im Störgeräusch schlecht zu verstehen (Platte et al., 1978).

Welzl-Müller (1981) stellte fest, dass „die 50 %-Verstehensgrenze“ für Sprache im Störgeräusch beim „Normalhörenden“ zwischen 5 und 25 dB höher liegt als die für Hochtonschwerhörige (Hochtonabfall bei 2 bzw. 1 kHz). Fastl (1987) beschäftigte sich deshalb eingehend mit einem Störgeräusch für die Sprachaudiometrie. Er kam zu dem Ergebnis, dass Cocktail-Party-Lärm gut durch ein zeitlich moduliertes CCITT-Rauschen (International Telecommunication Union, 1988) imitiert werden könne. Dieses Breitbandrauschen besitzt annähernd die Spektralverteilung eines Stimmengewirrs. Reine Sprache als Störgeräusch erwies sich wiederum als nicht geeignet, da diese durch ihren Informationsgehalt die Testperson zusätzlich irritiert („informational masking“).

Feuerstein (1992) verglich in einem Aufmerksamkeitstest zum Sprachverständnis im Störgeräusch sowie einem Wortverständnisstest binaurale und monaurale Hörkonditionen. Die zwei Probanden für monaurale Testkonditionen schnitten im Worterkennungstest signifikant schlechter ab als die binaurale Vergleichsgruppe. Persson et al. (2001) testete das Sprachverständnis im Störgeräusch an normalhörenden Probanden unter binauraler und monauraler Hörkondition. Getestet wurde im Freifeld in einem schalltoten Raum, wobei die Sprach- und Störgeräuschquellen in ihrer räumlichen Lokalisation variierten. Dabei wurde der Signal-Rauschabstand bestimmt, den der Proband selber festlegen konnte. Der zu erzielende SNR war der, bei dem der Proband gerade noch das gesprochene Wort verstand. Der binaurale Zuhörer erzielte im Vergleich zum monauralen Probanden ein um 17-18 % besseres Sprachverständnis für den Einsilberworttest und lag um 2-3 dB im SNR-Abstand niedriger als der monaurale Proband.

## 1.5 Sprachtests

In der Vergangenheit sind einige Sprachtests entwickelt worden. Der wohl bekannteste und am häufigsten eingesetzte Sprachtest in Deutschland ist der Freiburger Einsilber-Test nach Hahlbrock. Die erste Aufsprache entstand 1968 und wurde Grundlage einer DIN Norm (45621). In den folgenden Jahren wurde der Freiburger Einsilber-Test mehrfach überarbeitet. Rösler (1978) kritisierte die Länge des ursprünglichen Tests mit der Begründung, gerade ältere Testpersonen würden auf Grund mangelnder Konzentrationsfähigkeit unzuverlässige Aussagen treffen. Deshalb strebte er eine Verkürzung des Tests an. Döring und Hamacher (Döring WH, 1992) entwickelten auf der Basis der Freiburger Wortlisten den „Dreinsilbertest“. Bei diesem Test wird das jeweilige Wort drei Mal hintereinander im Störgeräusch präsentiert. Der Vorteil besteht darin, dass die Testperson eine Art „Ankündigungssignal erfährt“ (Kießling et al., 1994).

Folgende weitere Sprachtests sind in Deutschland gebräuchlich:

- Einsilber-Reimtest nach Sotscheck '82,
- Göttinger-Satztest nach V. Wallenberg / Kollmeier '89,
- Logatom-Test nach Dillier und Spillmann '92,
- HSM-Satztest nach Hochmair-Desoyer / Schulz / Moser '96,
- Basler-Satztest nach Ingold / Tschop '92 und
- Oldenburger-Satztest nach Wagener et al. '99.

Nach Ausschluß des Oldenburger-Satztests im Vorversuch fiel die Entscheidung, für den Versuch eine Variante des Freiburger Einsilber-Tests einzusetzen (s. Abschnitt 2.4.2, Stimuli, S. 14).

## 1.6 Problemstellung

Da dem einseitig ertaubten Menschen trotzdem ein gewisser Grad an räumlicher Wahrnehmungsfähigkeit und Sprachverständnis bleibt, stellten sich folgende Fragen:

- Ist das monaurale Sprachverständnis vom Winkel des eintreffenden Störgeräusches abhängig?
- Wenn ja, welcher Winkel ist günstig, welcher weniger günstig?

## *1 Einleitung*

Dies sollte anhand eines Sprachtests und eines Störgeräuschs, welches aus verschiedenen Winkeln in der Horizontalebene dargeboten wurde, ermittelt werden.

## 2 Versuchsplanung und Methodik

### 2.1 Problematik der Freifelddarbietung

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit der Frage des Sprachverständnisses in Abhängigkeit vom Winkel des dargebotenen Störgeräusches in der Horizontalen unter monauraler Hörkondition. Zunächst stellte sich die Frage, ob der Versuch als Freifeldsituation in schalltotem Raum direkt dem Probanden angeboten werden sollte, oder ob als zweite Möglichkeit der Einsatz eines Kunstkopfes in Betracht käme.

Für eine monaural konditionierte Freifelddarbietung muss der Proband einseitig vollständig vertäubt werden. Zur monauralen Lokalisation existieren viele Arbeiten. Bereits zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts beschäftigten sich Angell und Fite mit dieser Thematik (Angell und Fite, 1901). Die zumeist in diesen Studien angewandte Methode der einseitigen Vertäubung mittels Ohropax und Kopfhörer hat jedoch den Nachteil, dass Signale nur mit einem maximalen Schallpegel von 20-30 dB angeboten werden können (Wightman, 1996). Bereits niedrigste Schallpegel am vertäubten Ohr lassen eine binaurale Wahrnehmung mittels interauraler Laufzeitdifferenzen/Schallpegeldifferenzen zu und verfälschen die Studie (Wightman, 1996).

Im Hauptversuch sollte ein Signal mit einem Schallpegel von 61 dB dargeboten werden welcher im Rahmen der Vorversuche als durchschnittlicher SRT aus fünf Testdurchläufen festgelegt wurde (s. Abschnitt 2.4.4, Ergebnisse, S. 19). Dies wäre bei einseitiger Vertäubung der Probanden mittels Ohropax und Kopfhörer nicht möglich gewesen. Deshalb fiel die Entscheidung für einen Versuchsaufbau mit Kunstkopf. Über diesen sollten zunächst die Signale als Freifeldversuch im schalltoten Raum als monaurale Kondition aufgezeichnet werden, um sie anschließend dem Probanden mittels Kopfhörer monaural zu präsentieren. Der Proband erhielt ein sauberes monaurales Signal und blieb von interauraler Laufzeitdifferenz und interauraler Schallpegeldifferenz unbeeinflusst.

Im Falle des Verzichtes auf den Kunstkopf hätte der jeweilige Proband zur maximalen Vertäubung neben Ohropax und Kopfhörer zusätzlich ein Störgeräuschen

auf dem nicht zu testenden Ohr ertragen müssen. Da für den Hauptversuch ein Testzeitrahmen von ca. eineinhalb bis zwei Stunden veranschlagt wurde, wäre den Probanden eine zweistündige Störrauschbeschallung nicht zumutbar gewesen. Zumal hätte das Rauschen durch seine lästige Penetranz per se im Verlauf des Versuches zu Konzentrationsstörungen führen können und dadurch möglicherweise die Ergebnisse.

Ein weiteres Problem, das sich durch den Kunstkopf beheben ließ, war die Möglichkeit des Probanden, seinen Kopf zu bewegen. Durch gezielten Einsatz des Kopfabschattungseffektes ist es einseitig Ertaubten möglich, besser zu lokalisieren. [Wanrooij und Opstal \(2004\)](#) stellten fest, dass monaurale spektrale Merkmale unter erschwerten akustischen Bedingungen nicht ausreichen, um adäquat in der Horizontalebene lokalisieren zu können. Deshalb sind einseitig Ertaubte auf den Kopfabschattungseffekt angewiesen. Da keine Möglichkeit bestand, den Probandenkopf ausreichend zu fixieren, bot sich der Kunstkopf an.

Es ist heute einwandfrei geklärt, daß bei exakter Nachbildung der Ohrsignale tatsächlich immer daselbe Hörereignis wie beim natürlichen Hören entsteht. Deshalb wird der Kunstkopf als kopfbezogenes Aufnahmesystem für vielfältige Meßzwecke eingesetzt ([Hudde und Pösselt, 1988](#)).

### 2.2 Head and Torso-Simulator

Als Kunstkopf wurde der „Head and Torso-Simulator“ (HATS) von Brüel&Kjær Type 4128 ausgewählt. Dieser Kunstkopf wurde für in-situ-Erforschung und Beurteilung von Telefonen, Headsets, Mikrofonen, Hörgeräten und Gehörschutz entwickelt. Weiterhin ist es mit diesem Kunstkopf möglich, Raumakustik und Sprachverständnis zu überprüfen. Das Design und die Abmaße des HATS entsprechen in etwa denen eines mittelgroßen Erwachsenen. Der Kunstkopf besitzt neben einem Mundsimulator einen kalibrierten Ohrsimulator Typ 4158, der die Norm IEC 711 erfüllt. Der Ohrsimulator besteht aus zwei Teilen: einer Silikonpinna und dem eigentlichen Ohrsimulator. Die Silikonpinna entspricht in ihrer Elastizität in etwa der des menschlichen Ohres. Die Pinna ist über einen Gehörgang mit dem Ohrsimulator verbunden. Dieser besteht aus einem 1/2 Zoll Kondensatormikrofon, das mit einem Vorverstärker verbunden ist ([HATS Manual](#)).

Die Stimuli, die den Probanden im Hauptversuch vorgespielt wurden, waren zunächst über den HATS via Terratec Soundkarte und Cubase Software (s. Ab-



schnitt 2.5, [Die Stimuli für den Hauptversuch](#), S. 19) aufgezeichnet worden. Dies bringt mehrere Vorteile:

- es entstehen keinerlei Messfehler durch Unkonzentriertheit oder Ermüdungserscheinungen;
- die Messungen können jederzeit beliebig wiederholt und reproduziert werden;
- die Kopfposition bleibt im Gegensatz zu ungewollten Bewegungen des Probanden unverändert;
- der Proband wird während der Versuchsdurchführung nicht durch ein Rauschen auf dem vertäubten Ohr irritiert. Derartiges Störgeräusch würde vom Probanden über einen längeren Zeitraum hinweg vermutlich nur unwillig toleriert;
- die Kopfhörerkapsel kann durch ihre Ergonomie die Akustik am zu testenden Ohr verändern.

Der HATS wurde anstatt der Silikonpinna Typ 4158 mit dem individuell vom Probanden abgeformten Ohr ausgestattet. Da in dieser Arbeit speziell das monaurale Sprachverständnis untersucht werden sollte, wurde ausschließlich die rechte Seite getestet. [Blauert \(1974\)](#) stellte fest, dass die Ohrmuschel in ihrer akustischen Funktion einem linearen Verzerrer gleichkommt, der Signale in Abhängigkeit von Schallquellenrichtung und -entfernung von räumlichen in zeitliche Schallfeldmerkmale umcodiert.

Die monaurale Schallquellenortung und das räumliche Wahrnehmungsvermögen ist laut [Blauert \(1974\)](#) mit dem gesunden räumlichen Hören in der Medianebene vergleichbar. Beim räumlichen Hören in der Medianebene ist der Vorteil, den das binaurale Hören mit sich bringt, ausgeschaltet. Das bedeutet, interaurale Schallpegeldifferenz und Kopfabstimmungseffekt spielen keine Rolle.

Ausschlaggebend sind laut [Blauert \(1974\)](#), die Streuungs- und Beugungseffekte, die jedoch durch die individuelle Form der Ohrmuschel bisher im einzelnen nicht berechnet werden konnten. Jede Ohrmuschel weist eine individuelle Form auf. Da die Silikonpinna Typ 4158 lediglich das Durchschnittsohr eines Erwachsenen darstellt, war es erforderlich, für jeden Probanden dessen individuelle Ohrmuschel herzustellen.

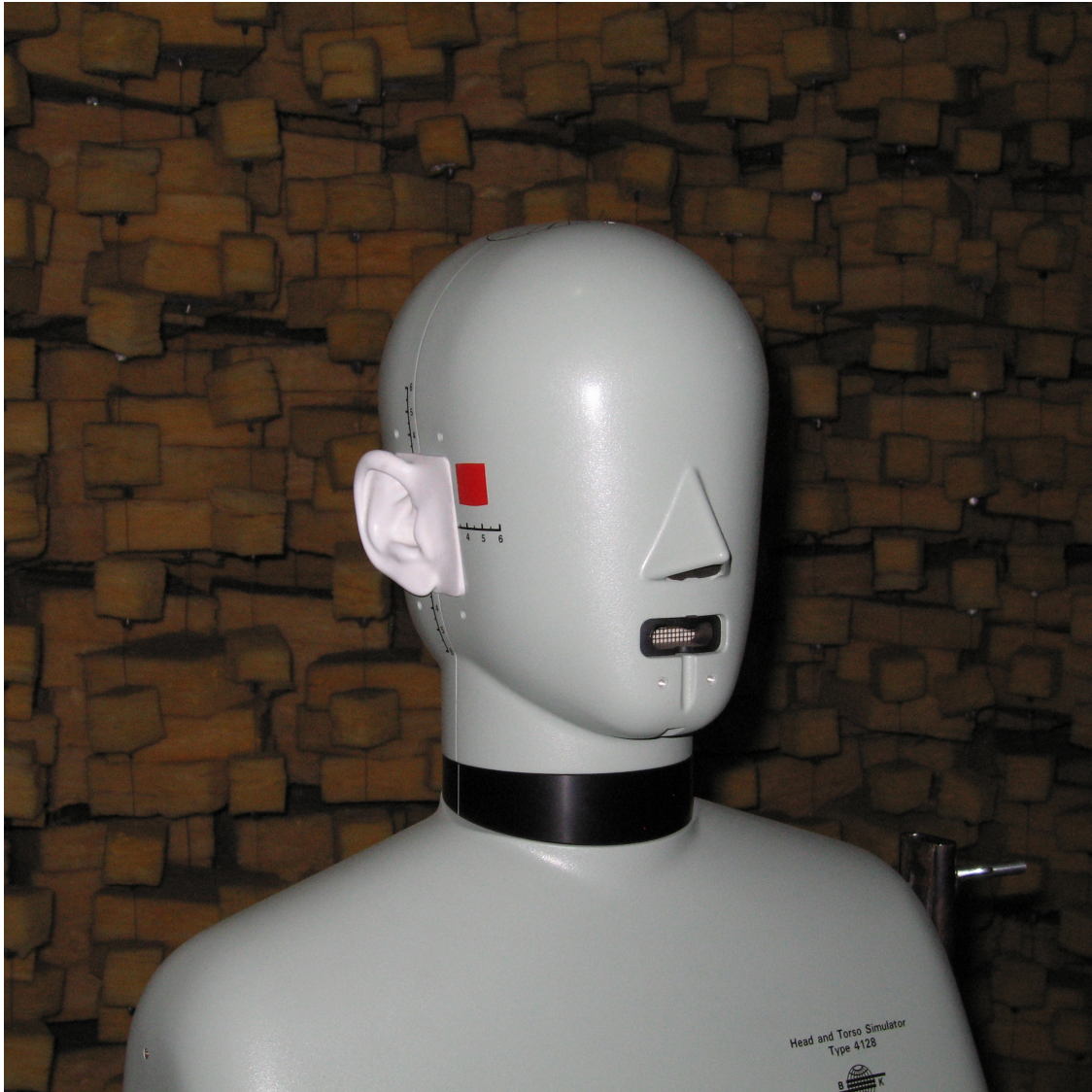


Abbildung 2.1: Head and Torso-Simulator von Brüel&Kjær Type 4128 (HATS) in der „Camera Silens“.

## 2.3 Silikonohren

### 2.3.1 Beschreibung der Silikonohren

Zur Herstellung der Silikonohren für die Probanden wurde als Vorlage das zum Kunstkopf (Head and Torso Simulator B&K no. 4158) gehörige Silikonohr (B&K Part of 4158/ serial no. 1863562) verwendet. Das Probanden-Silikonohr besteht aus 2 Teilen, der Basisplatte und der in die Basisplatte integrierbaren Ohrmuschel. Weiter wurde eine Kunststoffkappe als Zwischenglied zwischen Ohrmuschel und Basisplatte verwendet. Die Ohrmuschel kann auf diese Weise zweidimensional beweglich zur Basisplatte gelagert werden. Damit konnten anatomisch erforderliche Korrekturen der Ohrstellung zum Kopf vorgenommen werden.

### 2.3.2 Verwendetes Material

Das verwendete Silikon ist ein Material, das von Hörgerätetechnikern bei der Herstellung von individuell gefertigten Ohrpassstücken für Hörgeräte verwendet wird. Es handelt sich hierbei um ein additionsvernetzendes Silikon (Produkt: Detax additon; Hersteller: Detax GmbH & Co.KG; Art.-Nr: 02381/02717/02271) das aus zwei Phasen besteht. Bei der exothermen Reaktion reagieren Base und Katalyst miteinander. Der Prozess vom Vermischen der Komponenten bis zur vollständigen Erhärtung dauert ca. fünf Minuten.

### 2.3.3 Herstellung der Basisplatte

Zur Herstellung der Basisplatte wurde die Basisplatte des Silikonohres von B&K abgeformt und ein zweites Mal hergestellt, um später eine genaue Einpassung in den Kunstkopf zu erzielen. Dabei kam ebenfalls das additionsvernetzte Silikon (s. o.) zum Einsatz. Die so erhaltene Negativform wurde mit Talkumpuder isoliert. In diese Negativform wurde Silikon eingebracht. Dadurch erhielt man eine Positivform der Basisplatte. Im nächsten Schritt musste das Passstück der Ohrmuschel gefräst werden. Zur Anwendung kam ein Bohrkopf zum Fräsen von Löchern in Holz mit scharfer Schneide mit einem Durchmesser von 4 cm. In der Mitte der Basisplatte wurde zur Simulation des Gehörgangs ein Loch mit einem Durchmesser von 0,7 cm ausgespart. Ungenauigkeiten wurden nach der Fräsung mittels Skalpell entfernt.

### 2.3.4 Herstellung der Ohrmuschel

Für die Herstellung der Ohrmuschel musste die Pinna des Probanden abgeformt werden. Dazu wurde eine Portion Silikon angemischt und durch leichten Druck zunächst in die Ohrmuschel und danach um die Ohrmuschel des Probanden herum adaptiert, bis das Ohr vollständig von Silikon umschlossen war. Nach ca. fünf Minuten konnte die erhärtete Negativform abgenommen werden. Zur Überführung in die Positivform wurde die Negativform mit Talkumpuder isoliert. Anschließend ist eine Portion Silikon mittels Ramitec-Spritze in die Negativform appliziert worden. Mit der Restportion des Silikons wurde, mit Hilfe der Kunststoffkappe, das Passstück zur Verankerung in der Basisplatte modelliert und in der anatomisch korrekten Position auf die Ohrmuschel aufgesetzt. Nach vollständiger Aushärtung konnte das komplette Ohr der Negativform entnommen werden. Feinkorrekturen wurden mittels Skalpell durchgeführt.

### 2.4 Vorversuch zur Bestimmung des SNR

Ohne Aussagen aus der Literatur für den monauralen Fall gefunden zu haben, wurde vorab angenommen, dass Sprach- und Störsignal aus der selben Richtung ( $0^\circ$ ) den ungünstigsten, und aus weit entfernter Richtung ( $180^\circ$ ) den günstigsten Fall darstellt.  $90^\circ$  sollte folglich einen dazwischenliegenden Schwierigkeitsgrad besitzen. Demzufolge wurde als Störgeräuschaustand (SNR, „Signal to **N**oise **R**atio“) für den Hauptversuch der mit fünf Probanden erhobene SRT („**S**peech **R**ecognition **T**hreshold“) des Störgeräuscheinfallswinkels  $90^\circ$  verwendet. Der SRT wurde mit Hilfe von fünf SNRs zwischen +5 dB und -15 dB ermittelt. Der Vorversuch fand in einer der schallgedämpften Kammern (Kabine C) der Hals-Nasen-Ohrenklinik der Universitätsklinik Würzburg statt, die auch im normalen Patientenbetrieb benutzt wird.

Das Abspielen der Stimuli erfolgte über das Audiometer Westra CAD03. Dieses Audiometer ist ein Reinton- und Sprachaudiometer nach IEC 645-1, das für höchste Meßgenauigkeit konzipiert ist. Es handelt sich um ein Audiometer der Klasse 1, das einen Frequenzbereich von 125 Hz bis 12,5 kHz mit einer Frequenzgenauigkeit von 1 % abdeckt. Der Lautstärkepegel erstreckt sich von -20 dB bis +120 dB ([Westra GmbH](#)).





Abbildung 2.2: Die Silikonohrmuscheln aller Probanden und die Basisplatte, fünfzehn Ohren wurden verwendet.

### 2.4.1 Modellierung des Sprachverständnisses in Abhängigkeit vom Störgeräuschabstand (SNR)

Mit zunehmendem Störgeräuschpegel verringert sich der Störgeräuschabstand zum (konstant gehaltenen) Pegel des Sprachsignals. Der Störgeräuschabstand wird in dB angegeben und errechnet sich aus der Differenz der Schallpegel des Nutz- (Sprach-) Signals und des Störgeräuschs.

Wird der SNR verringert, d. h. der Pegel des Störgeräuschs erhöht, so verringert sich das Sprachverständnis. Bei Normalhörenden kann davon ausgegangen werden, dass sie bei niedrigem Störgeräuschpegel (d. h. großem SNR) 100 % verstehen. Bei zunehmendem Störgeräuschpegel verringert sich in einem offenen Sprachtest das Sprachverständnis bis auf 0 %. Dieser Übergang wird durch die „logistische Funktion“ beschrieben:

$$L = f(a, b, s, SRT, SNR) = a + (b - a) \cdot \frac{1}{1 + e^{4s(SRT - SNR)}}$$

Die Abbildung 2.3 stellt die logistische Funktion mit Beispiel-Parametern dar. Darin stellt der *SRT*-Wert den Ort des Wendepunktes dar. Aus dem Wert *s* ist die Steigung im Wendepunkt zu entnehmen. Parameter *a* geht als asymptotischer Wert gegen unendlich, der Parameter *b* gegen minus unendlich.

### 2.4.2 Stimuli

Zunächst wurde der Oldenburger Satztestes (OLSA) mit einer Rauschüberlagerung nach CCITT dargeboten (0 dB bis -20 dB). Der OLSA empfahl sich, weil dieser Sprachverständlichkeitstest durch verschiedene Wortkombinationen beliebig oft wiederholbar ist und die entstehenden Testsätze etwas länger sind. Der OLSA besteht aus insgesamt 50 Wörtern, die in verschiedene Kombinationen verwürfelt werden können. Der Vorteil dieses Tests besteht darin, dass nach einer Trainingsphase beliebig viele Messungen durchführbar sind, da die Sätze nicht gelernt werden können.

Im Verlauf der Vorversuche (s. Abschnitt 2.4) stellte sich der OLSA jedoch als ungeeignet heraus. Ausschlaggebend für diese Erkenntnis waren die in Abbildung 2.4 illustrierten Ergebnisse. Hierbei zeigte sich eine nur geringfügige Steigung der Kurve Sprachverstehen in % zu SNR in dB und damit eine zu niedrige Empfindlichkeit des OLSA. Da sich diese geringe Steigung später negativ auf die Darstellbarkeit der Ergebnisse im Hauptversuch auswirken würde, empfahl

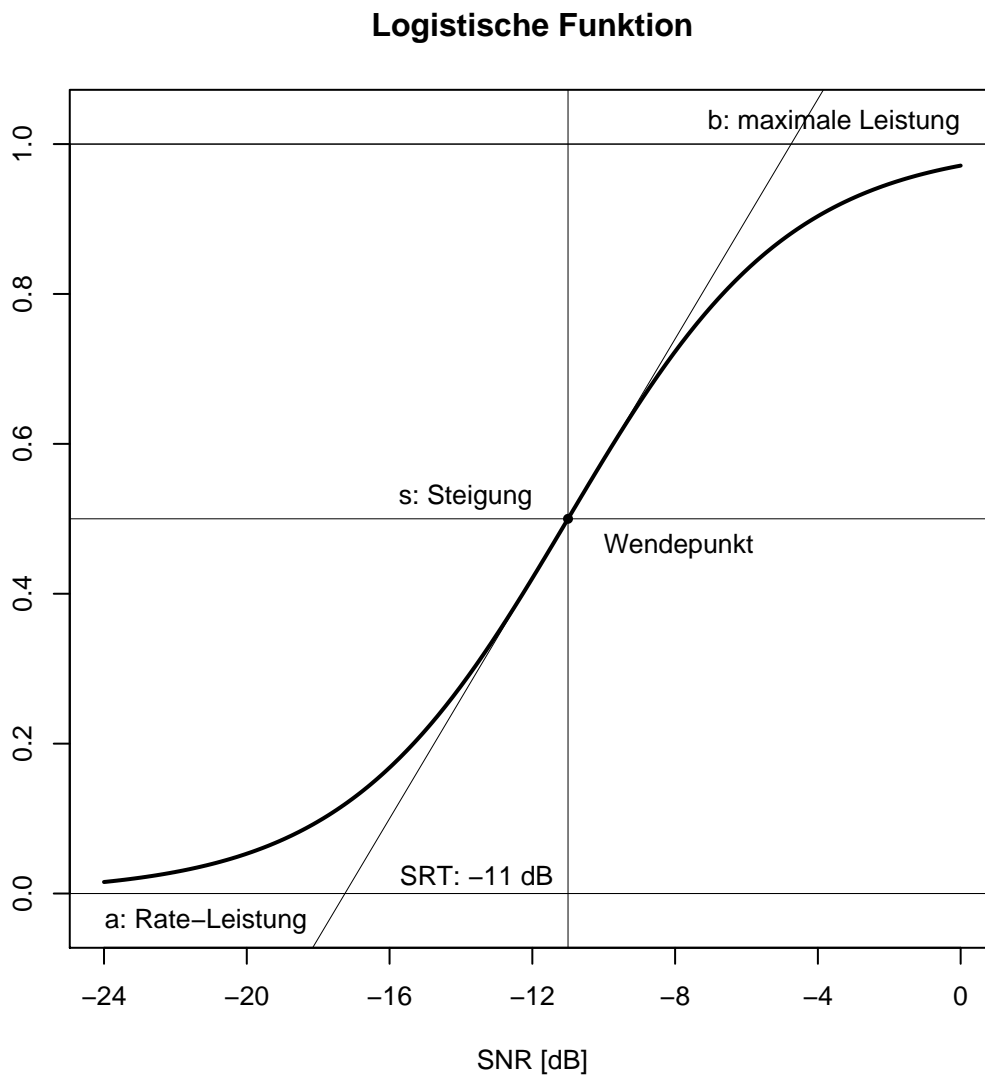


Abbildung 2.3: Die logistische Funktion modelliert den Übergang zwischen best- und schlechtestmöglichem Sprachverständnis in Abhängigkeit vom SNR.

## 2 Versuchsplanung und Methodik

es sich, einen zweiten Vorversuch mit dem Freiburger Einsilber-Test (s. Abschnitt 2.4) zu unternehmen.

Die Stimuli bestanden aus einer Liste von Einsilbenwörtern aus dem Freiburger Einsilber-Test von 1968. Die Stimuli wurden über eine selbst generierte CD als WAV-Dateien abgespielt. Die Wiedergabe der Wörter erfolgte über einen frontal positionierten Audiometrielautsprecher (Audiometriebox Westra Electronics Lab-1001). Überlagert wurden die Wörter durch ein CCITT-Rauschen. Dieses wurde dem jeweiligen Probanden von rechts über einen Lautsprecher (Audiometriebox Westra Electronics Lab-501) dargeboten. Dieser Lautsprecher wies einen Winkel von 90° zum Frontlautsprecher auf, über den gleichzeitig die Sprachstimuli abgegeben wurden.

Da im Rahmen der Aufgabenstellung das monaurale Hören getestet werden sollte, musste das linke Ohr der fünf Probanden vertäubt werden. Dies geschah durch einen Ohropax-Gehörschutz. Über diesen wurde zusätzlich mittels Kopfhörerknopf (Apple iPod) ein Breitbandrauschen mit einer Mittenfrequenz von 1 kHz gegeben. Dieses wurde durch einen Rauschgenerator (B&K Sine/Noise Generator Type 1049) erzeugt. Schließlich wurde dem Proband noch ein ohrumschliessende Schallschutzkapsel auf das linke Ohr gesetzt.

Die Probanden erhielten 63 verschiedene Einsilbenwörter, die mit einem Schallpegel von 65 dB wiedergegeben wurden. Die 63 Wörter wurden jeweils in fünf verschiedenen CCITT-Rauschüberlagerungen in 5 dB-Schritten von 60 dB bis 80 dB dargeboten. Diesen wurden 18 weitere Einsilber als Vorlauf vorangeschaltet. Aus den per Zufall verwürfelten Einsilbenwörtern entstand eine Liste, die für jeden der fünf Probanden die gleiche Wortreihenfolge beinhaltete. Die Listen unterschieden sich dahingehend, dass jedes Wort einer Liste einen anderen SNR-Wert als das selbe Wort in der anderen Liste aufwies. Die Aufgabe des Probanden bestand darin, das verstandene Wort laut wiederzugeben, welches auf einer Kontrollliste abgehakt wurde.

### 2.4.3 Kalibrierung

Die Kalibrierung der Audiometrieboxen erfolgte mittels Schallpegelmesser B&K Modular Precision Sound Level Meter Typ 2231. Der Schallpegel wurde in Höhe des Probandenkopfes gemessen. Als räumlicher Referenzpunkt diente eine Schraube, die an einem Faden hängend den Mittelpunkt des Probandenkopfes markierte.



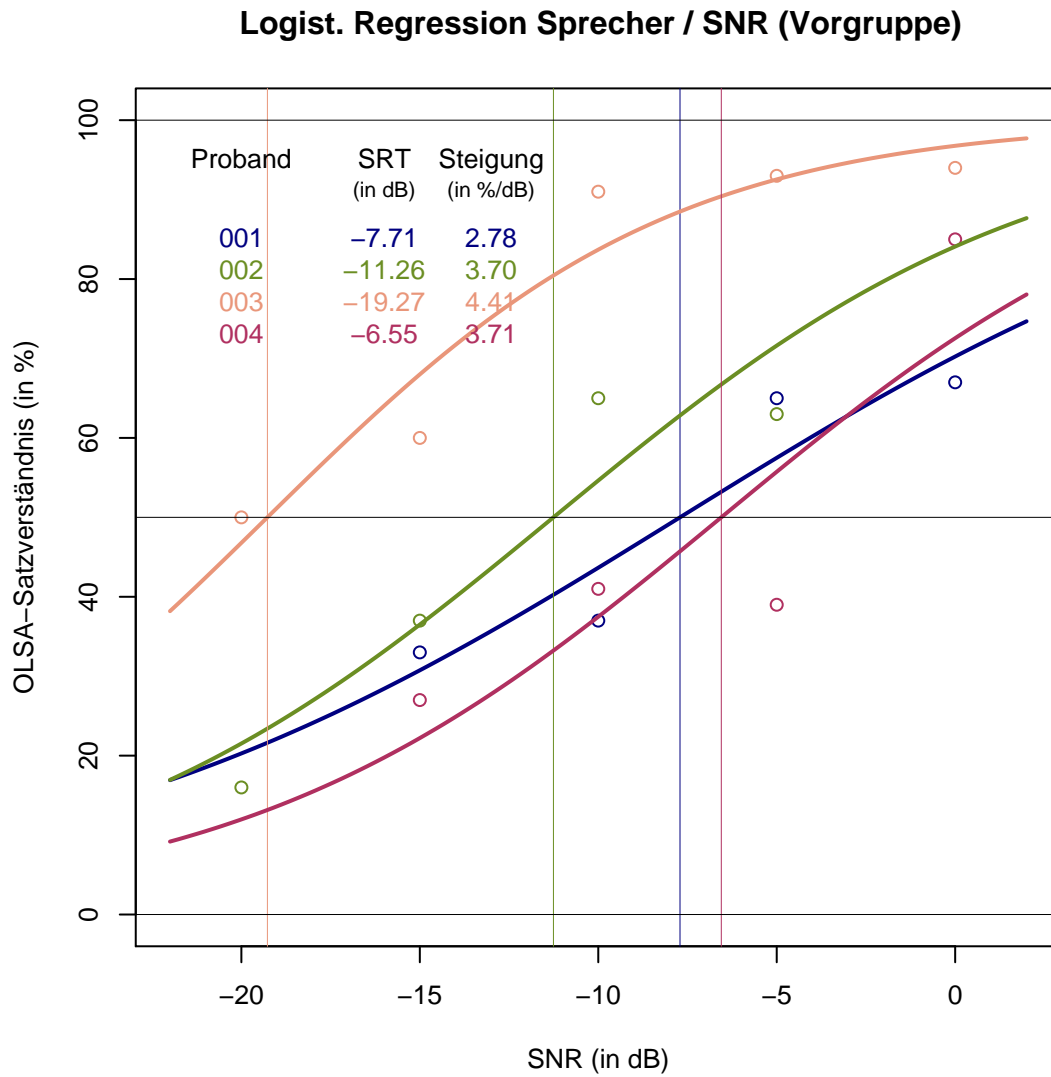


Abbildung 2.4: Ergebnisse Vorversuch Oldenburger Satztest

### Freiburger Einsilber-Test von 1968

Der Freiburger Einsilber-Test wurde 1968 von Hahlbrock in Anlehnung an internationale Standards entwickelt. Dieser Test besteht aus 20 Gruppen à 20 einsilbigen Hauptwörtern. Jede Gruppe besitzt die gleiche phonetische Zusammensetzung, insgesamt 73 Laute und gleich viele Wörter der gängigsten Wortlänge:

- 10 Wörter zu 4 Lauten,
- 7 Wörter zu 3 Lauten,
- 2 Wörter zu 5 Lauten,
- 1 Wort zu 2 Lauten.

Die Reihenfolge der Wörter wählte Hahlbrock so, dass bestimmte Wörter, aus denen ein zusammengesetztes Hauptwort gebildet werden kann, nicht hintereinander erscheinen durften (Bsp: Haus., Tür). In der Reihenfolge ebenfalls auszuschließen galt es Wörter, bei denen durch logische Assoziation eine Verbindung entsteht (Bsp: Mehl., Brot). Um einen aussagekräftigen Test für die Sprachverständlichkeit zu generieren, sollte sich dieser möglichst genau an der normalen deutschen Sprache orientieren. Das Verhältnis Vokal zu Konsonanten verhält sich in der deutschen Sprache nach [Hahlbrock \(1970\)](#) 38,71 % zu 61,30 %, wohingegen das Verhältnis im Freiburger Einsilber-Test 27,26 % zu 72,74 % beträgt. Dies ist laut [Hahlbrock \(1970\)](#) dadurch unumgänglich, dass bei einsilbigen Wörtern die Vokale immer ca. 1/4 der Sprachlaute ausmachen.

In dieser Dissertation kam eine von Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill erzeugte Modifikation zum Einsatz. Der Sprachverständnistest wurde um 22 Wörter auf 378 gekürzt. Wörter, die sowohl in der deutschen als auch in der englischen Sprache gleich geschrieben werden (Bsp.: Gang), jedoch eine unterschiedliche Bedeutung besitzen, wurden ausgelassen. Desweiteren wurden Wörter, die den gleichen Wortlaut besitzen (Bsp.: Rat, Rad) eliminiert, um Verwechslungen vorzubeugen.

### Störgeräusch/Rauschen nach CCITT

Störgeräusche sind in der Umwelt weit verbreitet. Stimmengewirr, industrieller Lärm, Verkehr, alles nimmt Einfluß auf das menschliche Gehör. In dieser Dissertation sollte die Frage erforscht werden, welchen Einfluß die Richtung des

Störgeräusches auf das Sprachverständnis des monaural Hörenden besitzt. Ein geeignetes Störgeräusch zur Maskierung von Sprache ist das CCITT-Rauschen (International Telecommunication Union, 1988), da es sich an der spektralen Leistungsdichte von Sprache annähert. Fastl (1987) schlägt für sprachaudiometrische Messungen ein Störgeräusch vor, welches durch seine spektrale Verteilung in etwa der menschlichen Sprache entspricht. Nach Fastl (1987) erscheinen Geräusche als Störlärm besser geeignet zu sein als Sprachschalle. Dies begründet er damit, dass menschliche Sprache, durch ihren Informationsgehalt, zur Ablenkung des Probanden beiträgt. Das CCITT-Rauschen ist ein Breitbandrauschen, das in seiner Frequenz in etwa derjenigen menschlicher Sprache entspricht. Es ist nach dem „Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique“ benannt.

### 2.4.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Vorversuche 1 und 2 sind in den jeweiligen Graphiken dargestellt. In Vorversuch 2 ergibt sich der durchschnittliche SRT durch die Mittelung der fünf SRT-Werte der Probanden. Der durchschnittliche SRT beträgt 61 dB. Das Ergebnis des Vorversuchs illustriert Abbildung 2.5.

## 2.5 Die Stimuli für den Hauptversuch

Nach der Bestimmung des SRT (61 dB) in den Vorversuchen konnten die Stimuli für die Hauptversuche generiert werden. Ebenfalls zur Anwendung kam eine modifizierte Variante des Freiburger Einsilber-Tests in der Fassung von 1968. Diese Variante bestand aus 395 Wörtern. Aus den ursprünglich 400 Einsilbern wurden ein zwei Mal auftretendes Wort sowie das Wort „Rat“ entnommen. Da die Wörter „Rad“ und „Rat“ in ihrer Aussprache identisch sind, empfahl es sich, das schlechter verständliche zu eliminieren. So ergaben sich 398 Wörter, die um drei weitere, per Zufallsverwürfelung, auf 395 reduziert wurden. Dadurch entstand eine durch fünf Winkel teilbare Anzahl von Einsilbern, genau 79 pro Winkel. Diese Winkel bestanden aus den Gradzahlen

- 0°,
- 45°,
- 90°,
- 135°,
- 180°,

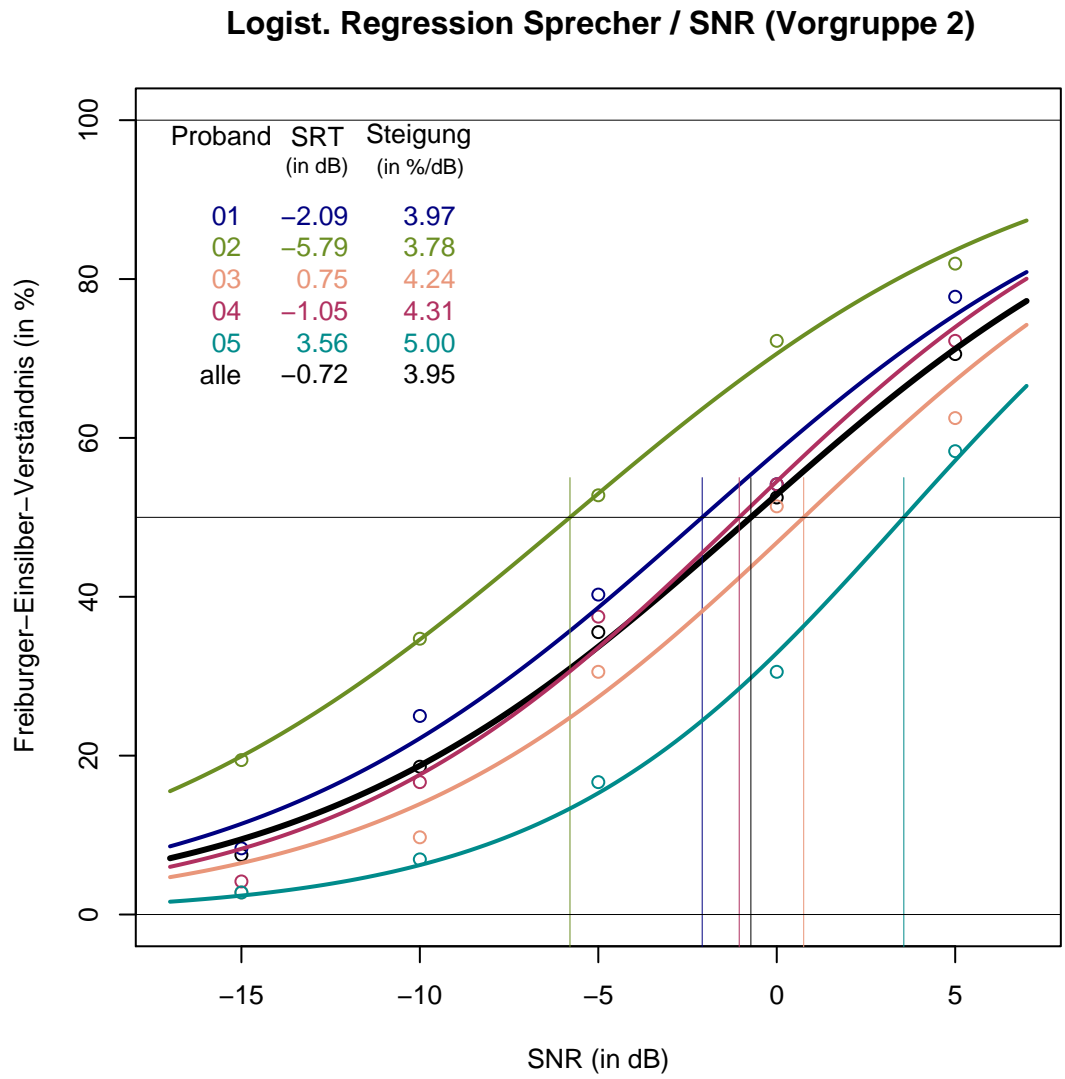


Abbildung 2.5: Ergebnis des Vorversuchs mit dem Freiburger Einsilber-Test

aus deren Richtung die Wiedergabe des CCITT Störgeräuschs erfolgte. Der Sprachstimulus in Form der Einsilber kam frontal auf den Probanden treffend, wie im Aufbau der Vorversuche [2.4](#), aus der 0°-Richtung. Aus Gleichbehandlungsgründen wurde jedes Wort in jeder Winkelkonstellation wiedergeben. Die per Zufall verwürfelte Liste wurde fünf Probanden so zugeordnet, dass

- Proband 1 die Liste für die Winkelkonstellation 0°, 45°, 90°, 135°, 180°,
- Proband 2 die Liste für die Winkelkonstellation 45°, 90°, 135°, 180°, 0°,
- Proband 3 die Liste für die Winkelkonstellation 90°, 135°, 180°, 0°, 45°,
- Proband 4 die Liste für die Winkelkonstellation 135°, 180°, 0°, 45°, 90°,
- Proband 5 die Liste für die Winkelkonstellation 180°, 0°, 45°, 90°, 135°

hörte. Bei einer Anzahl von 15 Probanden tauchte somit jedes Wort pro Winkel drei Mal auf. Um eventuelle zusätzliche Aussagen über den Ohrabschattungseffekt sowie mögliche Frequenzmodulationen in Abhängigkeit vom Winkel machen zu können, bestand die Liste des weiteren aus fünf vorangeschalteten Signalen:

- weisses Rauschen,
- linearer Sinussweep,
- logarithmischer Sinussweep,
- linearer Rauschsweep,
- logarithmischer Rauschsweep.

Diese Signale wurden mit einem Rauschgenerator erzeugt, digital aufgezeichnet (B&K Sine/Noise Generator Type 1049) und dauerten ca. 30-40 Sekunden. Die Sweeps erstreckten sich über eine Frequenz von 20 Hz bis 20 kHz. Die Rauschsweeps bestanden aus einem Schmalbandrauschen. Aufgenommen wurden die Signale mittels der Soundcard Phase X24 FW Control der Firma Terratec Producer die auch als Mikrophonvorverstärker benutzt wurde, sowie mittels der Tonstudiosoftware Cubase LE der Firma Steinberg Media Technologies GmbH. Die fünf Signale dienten in erster Linie der späteren Frequenzgangmessung der Kopfhörer (s. Abschnitt [2.6.3](#)). Zur Aufzeichnung diente ein Notebook W1000N der Marke Asus mit dem Betriebssystem Windows XP Professional. Die Wiedergabe der verschiedenen Rauschsignale erfolgte über zwei Aktivboxen (SDTA Multimedia Speaker), die an den Rauschgenerator angeschlossen wurden. Ein mit der Soundcard in Verbindung stehendes Mikrophon (Sony Großflächenkondensatormikrophon C48), diente zur Aufzeichnung der Stimuli. Nachfolgende Graphik [2.6](#)

## 2 Versuchsplanung und Methodik

illustriert den Aufbau eines Stimulus. Dieser besteht aus zwei Teilen, dem Testwort und dem CCITT Rauschen. Ersteres entstand durch das Signal des Testwortes (Abschnitt D), welches zum Anfang und zum Ende mit 300 ms absoluter Stille belegt wurde. Es folgen 50 ms einer sinusförmigen Rampe zur Ein- bzw. Ausblendung des Signals. Daran wurde das eigentliche Testwort angehängt und durch das CCITT Rauschen überlagert. Dieses Rauschsignal wurde mit 50 ms absoluter Stille am Anfang und Ende konstruiert (Abschnitt A/G) und erhielt eine sinusförmige Rampe von 300 ms zur Ein- und Ausblendung (Abschnitt B/F). So ergibt Graphikteil (a) multipliziert mit Graphikteil (b) Graphikabschnitt (c). Ebenso  $\text{Abschnitt (d)} \times \text{(e)} = \text{(f)}$ . Signal (g) entstand durch Mischen, d. h. (gewichtete) Addition der Signale (c) und (f). Es ist im gezeigten Beispiel 1,9 Sekunden lang.

### 2.5.1 Auswahl der Probanden

Es bestand eine Auswahl von 15 normal hörenden Erwachsenen zwischen 24 und 30 Jahren. Als normal hörend angenommen wurden Probanden mit einer Hörschwelle niedriger als 20 dB bei Frequenzen von 125 Hz bis 8 kHz.

Das Alter der Probanden wurde niedrig gehalten, weil sich im Laufe des Alterungsprozesses die Hörschwelle und damit eventuell auch die Lautheitsempfindung ändert.

Desweiteren erwies es sich als sinnvoll, im Rahmen der Vorversuche (s. Abschnitt 2.4) fünf weitere Probanden im Alter von 20 bis 27 Jahren auszuwählen. Diese Probanden dienten zur Bestimmung des SRT-Wertes (speech reception threshold), um für die folgenden Hauptversuche einen aussagekräftigen SNR-Wert (signal to noise ratio) definieren zu können. Zur Reduktion zusätzlicher potentieller Störeinflüsse wurde bewußt eine sehr homogene Probandengruppe zusammengestellt. Alle Testpersonen waren Studenten ungefähr gleichen Alters und Bildungsgrades.

Der Versuchsdurchführung wurde für jeden Probanden ein Tonaudiogramm vorgeschaltet, um zu verifizieren, dass das Gehör als „normal hörend“ einzustufen war. Dies diente der Sicherheit, um ein herabgesetztes Hörvermögen der Probanden, das möglicherweise zur Verfälschung der Ergebnisse geführt hätte, auszuschliessen. Für die fünf Probanden aus dem Vorversuch wurde ebenfalls ein Tonaudiogramm aufgenommen.

Für alle Probanden ist ein Tonaudiogramm in einer schallgedämpften Audiometrikabine der HNO-Universitätsklinik Würzburg durchgeführt worden. In die-

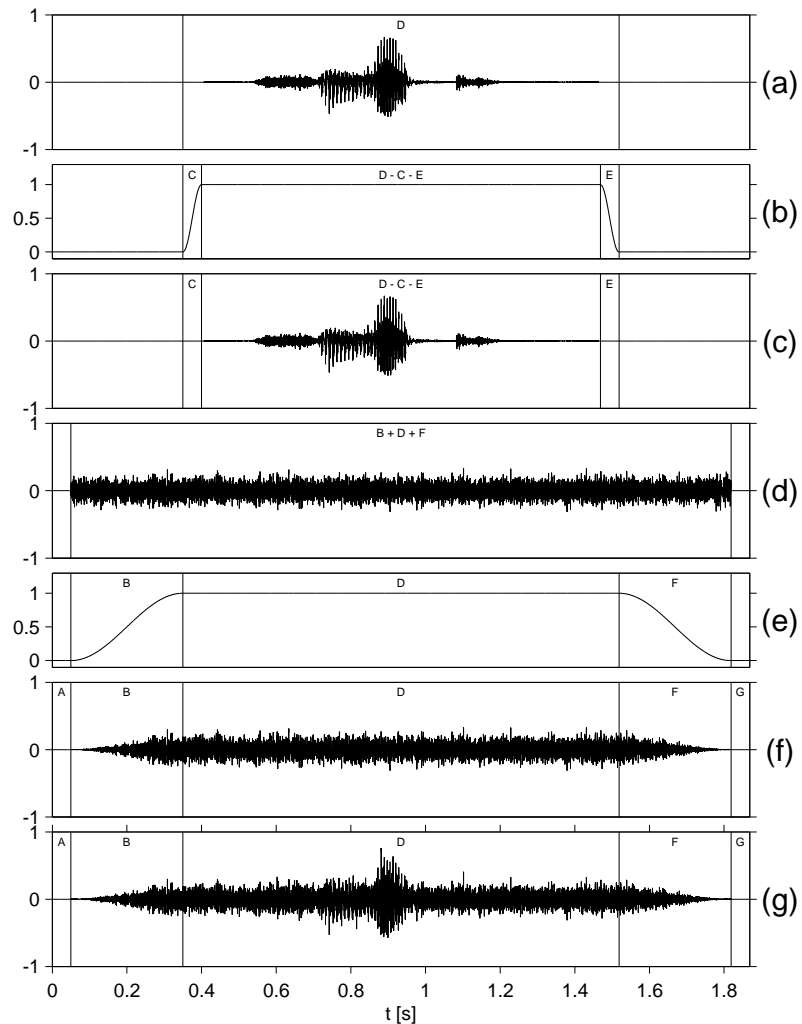


Abbildung 2.6: Der Aufbau eines Stimulus: Abschnitte (a), (b) und (c) zeigen das Sprachsignal (um Stille verlängert, mit Ein-Ausblend-Rampe), Abschnitte (d), (e) und (f) das Störrauschen (ebenfalls um Stille verlängert, mit Ein-Ausblend-Rampe). Abschnitt (g) stellt das Signal mit überlagertem Rauschen dar.

sem Raum werden unter gleichen Bedingungen die Patienten der Klinik im Routinebetrieb untersucht. Dabei wurde das Audiometer Westra CAD03 benutzt. Dieses ist auch in den Vor- und Hauptversuchen zur Anwendung gekommen (s. Abschnitt 2.4).

### 2.6 Versuchsaufbau

Die Aufzeichnungen der Stimuli entstanden im Freifeld, in der „*Camera Silens*“, der HNO-Universitätsklinik Würzburg. Die „*Camera Silens*“ ist ein reflexionsarmer Raum, gebaut von der Firma Industrial Acoustics Company GmbH, zum Zweck der wissenschaftlichen Forschung und der Untersuchung des räumlichen Lokalisationsvermögens von Cochlea-Implantat-Trägern. Dieser Raum erstreckt sich in seinen Abmessungen auf ca. 6×5×2 Meter und ist mit Glaswollewürfeln isoliert. Der Schallpegel beträgt in der geschlossenen Kammer 17 dB.

Der Versuchsaufbau bestand aus dem Head and Torso Simulator (HATS, s. Abschnitt 2.2), der in der Mitte des Aufbaus mit einem Abstand von 1,54 m zu den Audiometrieboxen platziert wurde. Als Mikrofonverstärker diente der Measuring Amplifier von Brüel & Kjær Type 2636, über den der HATS mit der Terratec Soundcard (s. Abschnitt 2.5) in Verbindung stand. Die Terratec Soundcard war über ein Firewire-Kabel an ein Notebook angeschlossen, welches außerhalb der „*Camera Silens*“ stand. Desweiteren wurden die zwei Audiometrieboxen der Firma Westra Electronics (Type 501; S/N: Box 1: 4112226 und Box 2: 920611319) mit der Soundcard verbunden. Box 1 diente als Frontlautsprecher zur Wiedergabe der Einsilber und wurde in 0° Position, knapp unterhalb der Ohrhöhe des HATS, aufgestellt. Über Box 2 wurden das CCITT-Rauschen sowie die Signale weisses Rauschen, linearer Sinussweep, logarithmischer Sinussweep, linearer Rauschsweep und logarithmischer Rauschsweep (s. Abschnitt 2.5) abgespielt. Da für die Wiedergabe der Stimuli für einen Winkel von 0° die Audiometrieboxen aufeinander gestellt werden mussten, empfahl es sich, Box 2 in Ohrhöhe so zu plazieren, dass diese ohne Höhenveränderung auf Box 1 gestellt werden konnte.

#### Kalibrierung

Die Kalibrierung der Audiometrieboxen erfolgte mittels Schallpegelmesser (B&K Modular Precision Sound Level Meter Type 2231). Gemessen wurde der Schall-



pegel in Höhe der Mikrophone des HATS. Als räumlicher Referenzpunkt diente eine Schraube, die an einem Faden hängend den Mittelpunkt des HATS markierte. Zur Kalibrierung diente eine Endlosschleife des CCITT-Rauschens als konstantes Rauschsignal. Dabei wurde festgestellt, dass Box 1 mit 65,8 dB, im Gegensatz zu Box 2 mit 67,5 dB um ca. 2 dB leiser war. Dies wurde durch eine Änderung des Outputs durch den Terratec Phase 24 FW Control Panel am Notebook behoben, indem der Output der Box 2 um 2 dB abgesenkt wurde. Desweiteren wurden die Frequenzgänge der Boxen 1 und 2 gemessen. Die graphische Aufzeichnung über Cubase LE ergab einen geringfügigen Unterschied der Spektren der Frequenzgänge der Boxen, der für die Fragestellung vernachlässigt werden konnte.

### 2.6.1 Aufzeichnung der Stimuli

Die Stimuli wurden über das Notebook via Cubase Software abgespielt und gleichzeitig das über den HATS eingefangene Signal wieder aufgezeichnet. Die jeweils benötigte Winkelkonstellation wurde zuvor ausgemessen und war mittels Klebebandmarkierung exakt reproduzierbar (s. Abschnitt 2.6). Für die Aufnahme der Stimuli für den jeweiligen Probanden musste der HATS mit dem probandeneigenen Silikonohr präpariert sowie die erforderliche Winkelkonstellation eingestellt werden. Insgesamt wurden 75 Komplettaufzeichnungen durchgeführt.

### 2.6.2 Messung der Winkel mittels Messmikrofon

Da die Möglichkeit bestand, dass die Messergebnisse durch die räumliche Konstellation des Versuchsaufbaus beeinflusst würden, empfahl es sich, zusätzlich die fünf Winkel über dieselbe Versuchsanordnung durchzutesten. Dazu wurde auf Höhe des Gehörgangs des HATS ein Messmikrofon (B&K Messkapsel Typ 4133) angebracht, welches sich exakt 1,54 m entfernt zur jeweiligen Audiometriebox befand. Das Messmikrofon wurde auf die Audiometriebox ausgerichtet und die fünf Meßsignale (s. Abschnitt 2.5) wurden abgespielt und aufgezeichnet (s. Abschnitt 3.2, [Einfluß des Einfallswinkels auf das Spektrum am Ort des Hörers](#), S. 29)

### 2.6.3 Messung der Frequenzgänge der Kopfhörer

Das Ziel des eigentlichen Hauptversuchs bestand darin, die am HATS anliegenden Schallpegel mit der für jedes Probandenohr spezifischen Aussenohrübertragungsfrequenz dem zugehörigen Probanden zu präsentieren. Da die Präsentation über Kopfhörer erfolgte, musste zunächst der Frequenzgang der Kopfhörerkapsel durchgemessen werden. Benutzt wurde hierfür das Artificial Ear von B&K Typ 4153, das die Anforderung nach IEC R 318 erfüllt und grundsätzlich eine dem menschlichen Ohr ähnliche akustische Impedanz aufweist. Dieses wurde an einen Vorverstärker (B&K Measuring Amplifier Type 2636) angeschlossen, welcher mit der Terratec Soundcard verbunden war. Die Verbindung zum Notebook Asus A6000 wurde mittels Firewire-Kabel hergestellt. Zum Abspielen und zur Aufzeichnung der Signale kam wieder die Software Cubase zum Einsatz. Der Frequenzgang wurde mittels der fünf Meßsignale getestet (s. Abschnitt 2.5). Testkopfhörer waren zwei Sennheiser, HD 570/1 und HD 570/2, ein Sennheiser HD 25-1, ein Sennheiser Audiometrikopfhörer HDA 280, und ein Philips Stereo Headphone SBC HP 195 Kopfhörer. Das durch den Kopfhörer wiedergegebene Signal wurde mittels Schallpegelmesser von B&K (Modular Precision Sound Level Meter Type 2231) auf 61 dB kalibriert. Anschliessend wurden die aufgezeichneten Signale miteinander verglichen (s. Abbildung 2.7) und der Kopfhörer mit dem gleichmäßigsten Frequenzgang verwendet. Es handelte sich um die rechte Mikrofonkapsel des Kopfhörers Sennheiser HD 570/2. Deren Frequenzgang wurde von Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill mittels konstruiertem Frequenzfilter angenähert. Anschliessend wurde dieser Frequenzfilter invertiert über alle Stimuli gelegt, so das eine annähernd vollständige Frequenzgangkompensation erreicht wurde.

## 2.7 Struktur des Hauptversuchs

Die Wörter wurden ein weiteres Mal zufallsverwürgelt. Es entstand eine Abhörliste, die für jeden Probanden die gleiche Wortreihenfolge aufwies. Da das Interesse dieser Dissertation der Interaktion zwischen fünf verschiedenen Einfallswinkeln des Störgeräusches und einem Signal galt, war es sehr wichtig, weitere Störfaktoren so minimal wie möglich zu halten. Um Faktoren wie unterschiedliche Wortschwierigkeiten, Zeitverlaufeffekte (Lernprozess, Ermüdung) oder in-

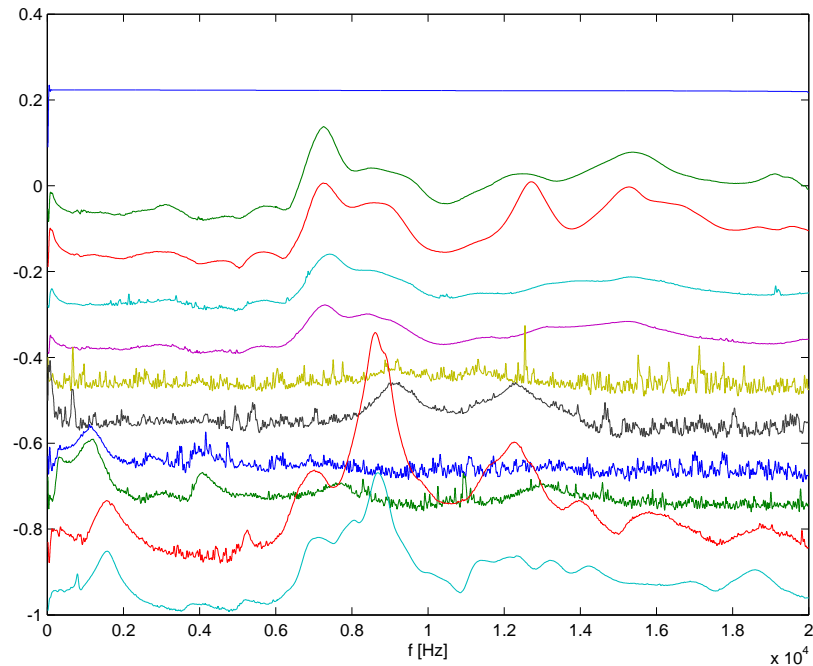


Abbildung 2.7: In der Graphik sind die Frequenzgänge der durchgetesteten Kopfhörer kapseln als lineare Übertragungsfunktion festgehalten. Von oben: Die blaue Linie stellt die Direkteinspeisung des Signalgenerators dar. Die grüne und rote Line illustrieren die linke und rechte Kopfhörer kapsel des Sennheiser HD 570/1. Türkis und violett stehen für den Sennheiser HD 570/2. Gelb und schwarz stellen den Sennheiser HD 25-1 dar. Blau und grün illustrieren den Sennheiser HDA 280 und die rote und untere türkise Linie stehen für die linke und rechte Kapsel des Philips SBC HP 195. Das gleichmäßigste Signal wurde als die violette Linie identifiziert.

dividuelle Unterschiede in der Probandenleistung zu minimieren, wurde jedes Wort drei Mal mit der selben Rausch-Winkel-Konstellation wiedergegeben. So erhielten jeweils drei Probanden die exakt gleiche Liste mit den für den Probanden spezifischen Signalen. Durch die Bildung eines Mittelwertes für die jeweils drei gleichen Probandenkonstellationen, wurden die Störeinflüsse minimiert.

### 2.8 Versuchsdurchführung

Um eine möglichst störgeräuschlose Abhörsituation für die 15 Probanden zu schaffen, wurden die Hauptversuche in der „*Camera Silens*“ (s. Abschnitt [2.6, Versuchsaufbau](#), S. 24) durchgeführt. Über ein Notebook (Asus A6000), das über ein Firewire -Kabel mit der externen Soundkarte (Terratec Phase 24 Control) verbunden war, wurden die Stimuli abgespielt. Der Proband saß in 1,5 m Entfernung auf einem Stuhl und hörte die dargebotenen Stimuli über einen Kopfhörer (Sennheiser HD 570 KH2) ab. Dabei wurden die Stimuli ausschließlich mit dem rechten Ohr abgehört. Das linke Ohr wurde mittels Ohropax-Gehörschutz vertäubt. Der Proband wurde darüber aufgeklärt, dass er 395 Einsilber mit Rauschüberlagerung hören würde, und wurde aufgefordert, das verstandene Wort laut wiederzugeben. Die Antworten wurden im Falle der Richtigkeit auf einer Liste abgehakt. War die Antwort falsch, so wurde das verstandene Wort notiert. Ein Versuchsdurchlauf (d. h. ein Proband) dauerte ca. eineinhalb bis zwei Stunden.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Statistische Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit *Matlab*, einem Softwarepaket zur numerischen Datenbearbeitung und R ([R Development Core Team, 2009](#)), einer Statistik- und Graphik-Programmiersprache.

#### 3.1.1 Boxplots

Ein Boxplot ist ein Diagramm zur Darstellung von numerischen Datensätzen. Er liefert Erkenntnisse über die Schiefe, also die Neigungsstärke einer statistischen Verteilung, und ist ein Maß für die Streuung. Der Boxplot dient zum schnellen Vergleich verschiedener Untergruppen. Die graphische Darstellung besteht aus der Box, aufgeteilt in das obere und das untere Quartil, dem Median und dem Minimal- bzw. Maximalwert (siehe [Abb. 3.1](#) auf Seite [30](#)). Die Box umfasst 50 % aller Daten. Ausreisser nach oben und unten werden in den Minimal- und Maximalwerten dargestellt. Die Einkerbung stellt das Konfidenzintervall für den Medianwert dar.

### 3.2 Einfluß des Einfallswinkels auf das Spektrum am Ort des Hörers

Um zu verifizieren, dass die räumliche Konstellation an sich keinen Einfluß auf das Spektrum des Rauschsignals am Ort des Hörers hat, wurde aus allen Winkelpositionen ein Messsignal abgespielt, das mit einem auf den Lautsprecher ausgerichteten Messmikrophon aufgezeichnet wurde. [Abb.3.2](#) illustriert eindeutig, dass die fünf dargebotenen Winkelpositionen keine relevante Veränderung des Spektrums des Rauschsignals am Ort des Hörers hervorrufen.

### 3 Ergebnisse

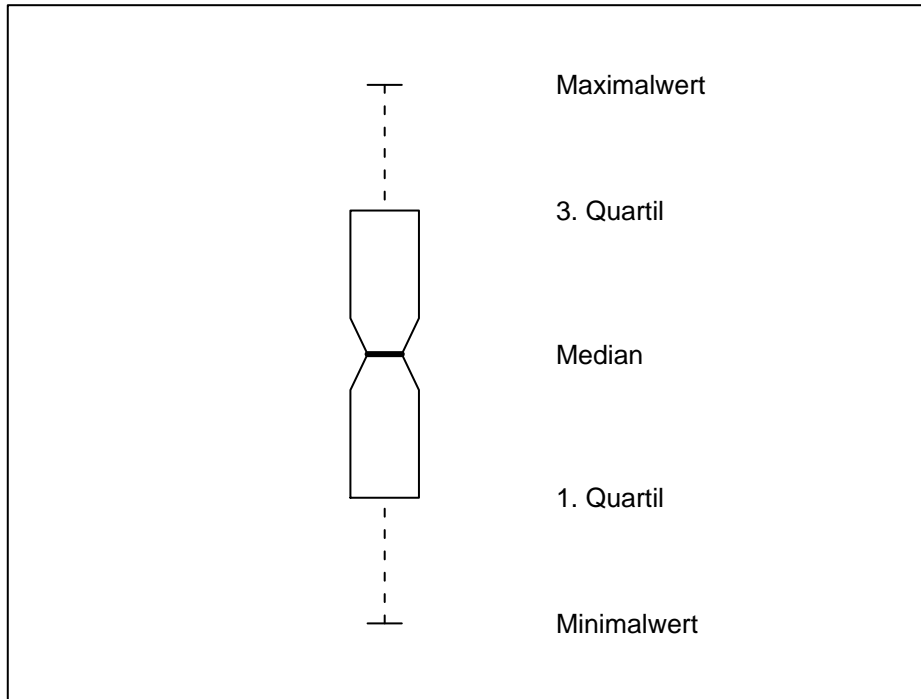


Abbildung 3.1: Erklärung Boxplots

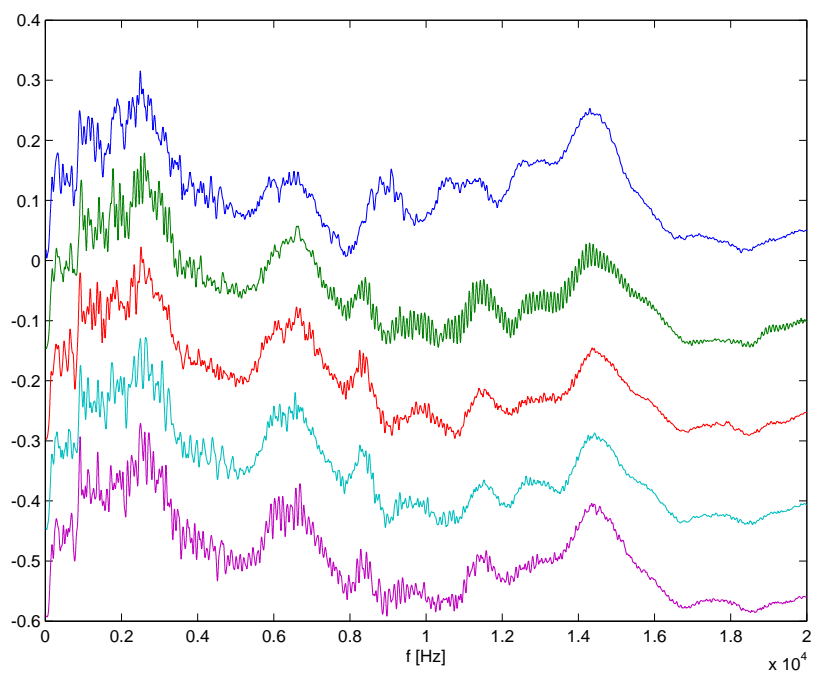


Abbildung 3.2: Die Winkelposition weist keine Veränderung des Spektrums am Ort des Hörers auf.

### 3.3 Sprachverständnis im Zeitverlauf des Experiments

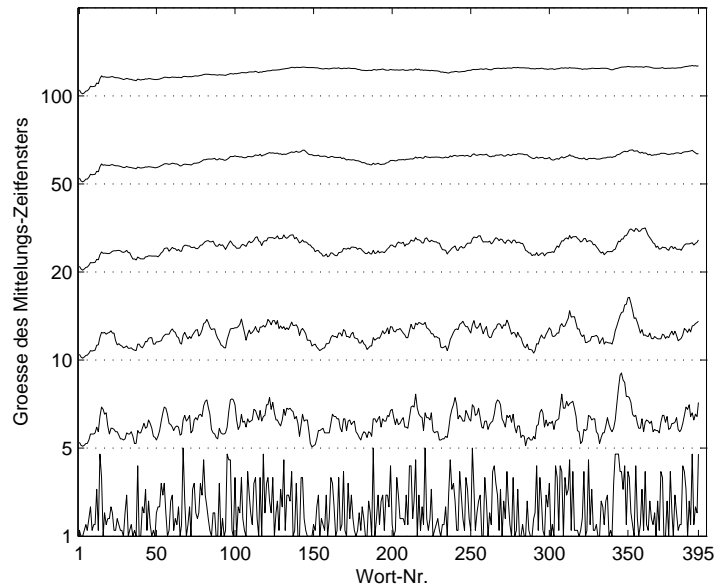


Abbildung 3.3: Das Sprachverständnis verbessert sich im Zeitverlauf des Experiments minimal. Die Glättung der Verlaufskurve erfolgte durch gleitende Mittelwertbildung (von unten nach oben aufsteigende Fenstergröße).

### 3.3 Sprachverständnis im Zeitverlauf des Experiments

Von Interesse war des weiteren, ob sich im Verlauf des Experiments ein Lernerfolg mit daraus resultierender Verbesserung des Sprachverständnisses einstellen würde. Abbildung 3.3 stellt das Sprachverständnis im Zeitverlauf des Experiments dar. Durch die Berechnung der gleitenden Mittelwerte anhand verschieden großer gleitender Zeitfenster ist ein nur geringer Lernerfolg im Verlauf manifestierbar. Nach einer gewissen Einhörphase von ca. 100 Testwörtern, verläuft die Verständniskurve sehr eben und weist fast keine Steigung mehr auf. Ein Leistungsabfall zum Ende ist nicht erkennbar.

### 3.4 Einfluß des Einfallswinkels auf das Sprachverständnis

Der folgende Boxplot (s. Abbildung 3.4) illustriert die Winkelabhängigkeit Sprachverständnisses. Der 45°-Winkel schneidet als der Winkel mit der schlechtesten Sprachverständlichkeit ab. Die Graphik hebt den 180°-Winkel als denjenigen mit der besten Sprachverständlichkeit hervor. Die Boxplots verdeutlichen auf sehr

### 3 Ergebnisse

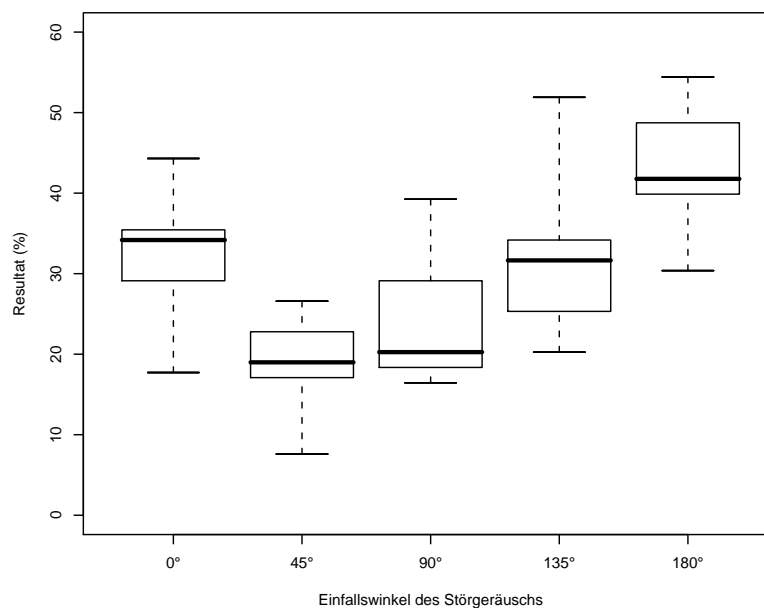


Abbildung 3.4: das Sprachverständnis des des 45°-Einfallswinkels schneidet am schlechtesten, das Sprachverständnis des 180°-Winkels am besten ab.

anschauliche Weise, dass die 180°-Winkelposition die beste monaurale Hörkondition in der Horizontalebene darstellt. Die 0° und 135°-Winkel erzielten ein um ca. 11 % schlechteres Sprachverständnis, liegen aber noch deutlich über der 90°-Winkelkondition. Das Schlusslicht bildet der 45°-Winkel.

In der nachfolgenden Tabelle 3.1 sind alle 15 Probanden und deren in Prozent festgehaltene Ergebnisse des Sprachverständnisses pro Rauscheinfallswinkel und deren Gesamtsprachverständnis aufgeführt. Weiterhin läßt sich der Durchschnittswert des Sprachverständnisses aller Probanden sowie des jeweiligen Winkels entnehmen. Deutlich ist zu erkennen, dass es zwischen den Probanden auffällige Leistungsunterschiede gibt. Die Probanden 02, 04, 05, 06, 07 und 13 erzielten in der 45°-Hörkondition ein besseres Ergebnis als in der 90°-Position. Proband 03 ist der einzige, der in der 135°-Hörkondition ein besseres Sprachverständnis als in der 180°-Kondition aufweist. Für die weiteren 14 Testpersonen stellt sich der 180°-Rauscheinfallswinkel als der günstigste heraus. Das durchschnittliche Sprachverständnis aller Testpersonen in allen fünf Hörkonditionen betrug 29,86 %.



### 3.4 Einfluß des Einfallswinkels auf das Sprachverständnis

Tabelle 3.1: Sprachverständnis (in %) jedes Probanden in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Störgeräusches.

Proband	0°	45°	90°	135°	180°	Ø
01	34,18	16,46	18,99	24,05	37,97	26,33
02	35,44	26,58	20,25	32,91	39,24	30,89
03	32,91	17,72	39,24	51,90	50,63	38,48
04	44,30	18,99	17,72	32,91	54,43	33,67
05	35,44	18,99	16,46	26,58	49,37	29,37
06	29,11	22,78	21,52	31,65	40,51	29,11
07	35,44	24,05	18,99	31,65	41,77	30,38
08	17,72	7,59	16,46	20,25	34,18	19,24
09	36,71	20,25	21,52	31,65	48,10	31,65
10	29,11	12,66	27,85	36,71	41,77	29,62
11	32,91	22,78	32,91	36,71	40,51	33,16
12	17,72	12,66	30,38	24,05	41,77	25,32
13	34,18	20,25	16,46	30,38	40,51	28,35
14	26,58	18,99	18,99	24,05	30,38	23,80
15	41,77	26,58	34,18	35,44	54,43	38,48
Ø	32,24	19,16	23,46	31,39	43,04	29,86

### 3 Ergebnisse

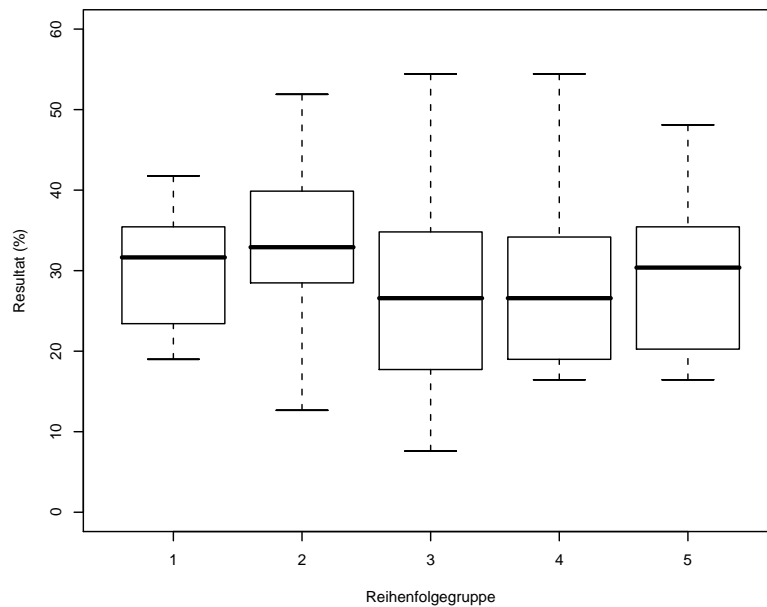


Abbildung 3.5: Gruppe 2 weist das größte, Gruppe 3 und 4 das kleinste Sprachverständnis auf.

### 3.5 Vergleich der Gruppen

Im graphischen Vergleich der Gruppen (s. Abbildung 3.5) schneidet Gruppe 2 am besten, Gruppe 3 und 4 am schlechtesten ab. Der Medianwert der Gruppe 1 liegt minimal über jenem der Gruppe 5. Es lassen sich jedoch keine signifikanten Unterschiede feststellen.

### 3.6 Vergleich der Probanden

In der folgenden Graphik 3.6 ist das Sprachverständnis der 15 Probanden in % aufgetragen. Das prozentual beste Sprachverständnis erreichte Proband 03 mit 38 % korrektem Anteil der Testwörter. Proband 08 schnitt mit 19 % deutlich am schlechtesten ab. Der Rest der Probanden bewegt sich in einem Feld zwischen 24 % und 34 % korrekt erkannten Testwörtern.

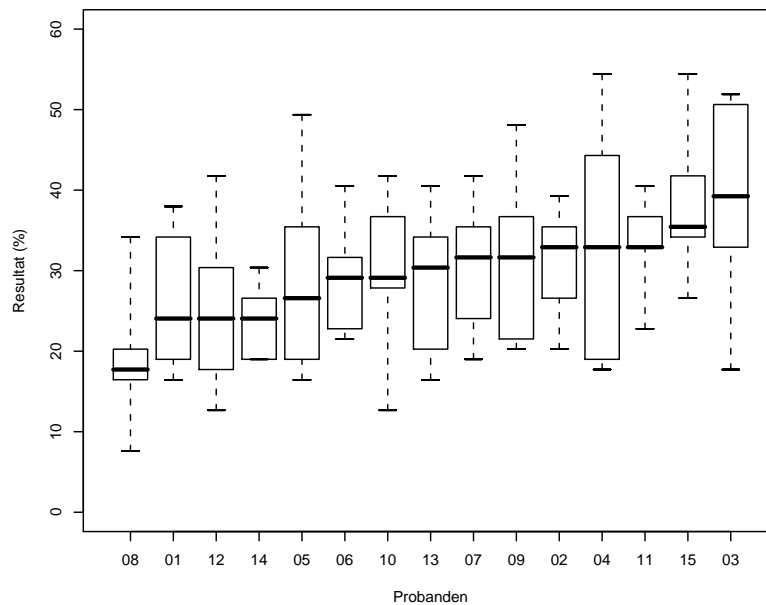


Abbildung 3.6: Proband 03 weist das größte, Proband 08 das geringste Sprachverständnis auf.

### 3.7 Sprachverständnis aller Probanden

Der gezeigte Polarplot stellt den Versuchsaufbau als statistische Graphik dar. Dargestellt wird die Situation während der Aufzeichnung der Stimuli mit dem HATS (s. Abschnitt 2.2), die der Proband nach Bearbeitung (s. Abschnitt 2.6) zu hören bekam. Auf Position 0 (in der Graphik als Sprachverständnis in % gekennzeichnet) war der HATS aufgestellt worden. Die Winkel  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  und  $180^\circ$  sind mit der Versuchsposition der Lautsprecher (s. Abschnitt 2.6) gleichzusetzen, aus welchen das Störgeräusch abgespielt wurde. Die durchgezogene Linie ist als der Mittelwert des prozentualen Sprachverständnisses in Abhängigkeit des Störgeräuscheinfallswinkels zu verstehen. Die gestrichelte Linie stellt den Medianwert der 15 Probanden dar. Eindeutig das größte Sprachverständnis wird in der  $180^\circ$ -Position erzielt. Die zweitbeste Hörkondition zeigt sich in der  $0^\circ$  und der  $135^\circ$ -Position. Der  $45^\circ$ -Winkel erweist sich als die ungünstigste Konstellation.

### 3 Ergebnisse

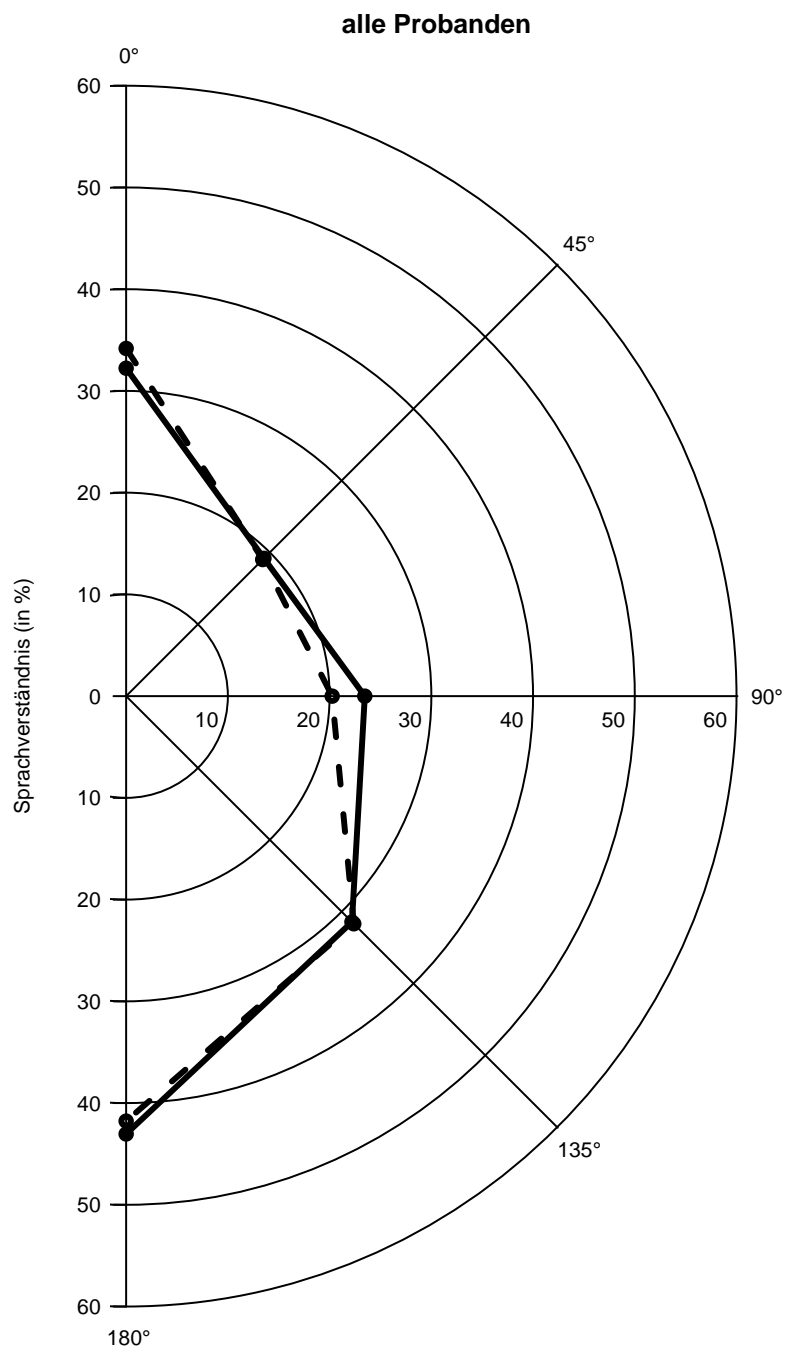


Abbildung 3.7: Das prozentual größte Sprachverständnis weist die 180°-Position auf. Das geringste Sprachverständnis entsteht bei einem Geräuscheinfallswinkel von 45°.

## 4 Diskussion

### 4.1 Visuelle und statistische Betrachtung der Ergebnisse

#### 4.1.1 Antwortspezifische Unterschiede der Probanden

Betrachtet man die Ergebnisse aller Probanden (s. Kapitel 3.4), so ist eindeutig zu erkennen, dass insgesamt eine recht große Schwankung in der Richtigkeit der Antworten vorliegt. So schneidet Proband 03 mit 38,48 % deutlich am besten ab, wohingegen Proband 08 mit 19,24 % das schlechteste Testergebnis erzielte. Die restlichen Probanden liegen im Mittel bei 29,86 % richtig wiedergegebenen Testwörtern. Woher rührt diese um fast 20 % differierende Schwankung der Testpersonen? Hier sind mehrere Gründe vorstellbar:

- Konzentrationsabfall,
- Hörleistung des Einzelnen,
- Intelligenz,
- Ablenkung,
- Individuelle Unterschiede der Anatomie des Außenohres.

Fassen wir zunächst den Zeitverlauf des Experimentes ins Auge. Der Testdurchlauf, den alle 15 Testpersonen hinter sich bringen mussten, dauerte ca. eineinhalb bis zwei Stunden und wurde ohne Pause durchgezogen. Wenn man nun davon ausgeht, dass sich ein Normalbürger ca. 20 min intensiv konzentrieren kann, bevor er eine Pause braucht, so ist allein die Dauer des Experimentes für sich nicht unerheblich.

Desweiteren wurden die Probanden in einer reflexionsarmen Kammer getestet (s. Abschnitt 2.6, Versuchsaufbau, S. 24), die nur spärlich beleuchtet war. Befindet sich der Mensch in einer dunklen oder dämmrigen Umgebung, so nimmt der Körper dies wahr und schüttet als Konsequenz das neurosekretorische Hormon Melatonin aus, welches in den Pinelaozyten der Epiphyse gebildet wird (Pschyrembel, 2004). Dieses sorgt dafür, dass unser Organismus heruntergeregelt wird und wir so ein Müdigkeitsgefühl erfahren welches wiederum unsere Konzentrationsfähigkeit negativ beeinflusst.

## 4 Diskussion

Die „*Camera Silens*“ ist zudem durch die gute Isolation bei geschlossenen Türen nicht optimal belüftet, was bei manchem Probanden zu einer schlechteren Sauerstoffzufuhr geführt haben könnte. Der Mangel an Frischluft kann ebenfalls zu verminderter Konzentrationsleistung und Müdigkeit führen.

Betrachtet man nun den Zeitverlauf in Abhängigkeit der Richtigkeit der Testwörter (s. Abbildung 3.3), so ist zumindest im Mittel keine wirkliche Schwankung zu erkennen. Dies bedeutet, dass im Durchschnitt der Zeitverlauf keinen nennenswerten Einfluß auf die Aussagen der Probanden hatte. Ausnahmen wie die Testpersonen 03 und 08 könnten jedoch mit einer über- oder unterdurchschnittlichen Konzentrationsfähigkeit begründet werden. Die Erfassung des Zeitverlaufs war jedoch aus statistischen Gründen für den einzelnen Probanden nicht möglich.

Ein weiterer Punkt ist die Hörleistung des Einzelnen. Da jedoch bei jedem Probanden im Vorfeld der Versuche ein Tonaudiogramm durchgeführt worden ist, um diese als normalhörend zu verifizieren (s. Abschnitt 2.5.1, [Auswahl der Probanden](#), S. 22), ist dieser Aspekt zu vernachlässigen.

Da die Testpersonen ausnahmslos Akademiker mit relativ gleichem Ausbildungsstand waren, ist mit Sicherheit die Frage der Intelligenz des Einzelnen in Bezug auf die Richtigkeit der Ergebnisse nur von minderer Bedeutung. Eine größere Rolle könnte eher das Interesse bzw. Desinteresse am eigentlichen Test spielen. Dies ist jedoch ein Faktor, der nur sehr schwer beeinflussbar und manifestierbar ist.

Denkbar ist desweiteren ein gewisser Grad an Ablenkung durch die vorgegebene Situation in der „*Camera Silens*“. Es mag der Testperson durchaus befremdlich erschienen sein, die eigene Stimme ohne Reflexion zu hören.

### 4.1.2 Winkelspezifische Unterschiede der Probanden

Ziel dieser Dissertation ist die Klärung der Frage, ob und inwieweit sich das Sprachverständnis durch die Veränderung des Rauscheinfallwinkels in monauraler Hörkondition in der Horizontalebene beeinflussen läßt. Den beiden Grafiken 3.4 und 3.7 ist zu entnehmen, dass die 180°-Winkelkonstellation das beste Sprachverständnis erlaubt und sich die 45°-Position als die schlechteste Hörkondition darstellt.

Diese Beobachtung ist jedoch nicht generell für jeden der 15 Probanden zutreffend. Für die Testpersonen 04, 05, 06, 07, und 13 fällt das Testergebnis in der

## 4.2 Bezugnahme auf die ursprüngliche Fragestellung

90°-Winkelposition schlechter aus, als in der 45°-Position. Proband 12 versteht mehr Testwörter in der 90°-Position, als in der 135°-Position. Bis auf Proband 03 stellt sich für alle anderen Testpersonen die 180°-Boxenposition als diejenige mit dem besten Sprachverstehen heraus. Lediglich Proband 03 schneidet in der 135°-Position besser ab. Es zeigt sich folglich, wenn Störgeräusch und Sprache aus verschiedenen Richtungen kommen, verändert dies unsere Fähigkeit des Sprachverständnisses im Störgeräusch.

Als optimal in diesem Versuch erweist sich die Hörkondition Sprache aus 0° und Störgeräusch aus 180°.

Desweiteren lassen sich trotz der Eindeutigkeit der Ergebnisse durchaus Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden ausmachen. Gerade zwischen der 45°-Position und der 90°-Position scheint eine gewisse Varianz zu bestehen. [Shaw \(1974\)](#) wie auch [Wiener \(1946\)](#) diskutierten bereits zu einem früheren Zeitpunkt die Unterschiede innerhalb der Ergebnisse der Testpersonen bei Schallpegelumwandlung am Trommelfell in der Freifeldsituation. Sie kamen zu zweierlei Schlüssen: Zum einen spielen die Reflexion von Schallwellen durch die Schulter eine Rolle. Dies gilt vor allem im Frequenzbereich um 1,2 kHz. Dies ist jedoch in dieser Arbeit auszuschließen, da durch den HATS immer die gleiche Kopf- und Torsoanatomie simuliert wurde. Zum anderen können sich die Außenohrgröße sowie deren anatomische Ausrichtung zum Kopf (anliegend / abstehend) im Frequenzbereich zwischen 2 und 6 kHz signifikant auswirken. Da bei diesem Versuch das Ohr eines jeden Probanden individuell angefertigt worden und kein einheitliches Testohr zum Einsatz gekommen ist, ist eine natürliche Testsituation mit anatomisch vorgegebener Varianz entstanden. Die große anatomische Vielfalt der Ohrmuscheln wird in [Abbildung 2.2](#) auf [Seite 13](#) erkennbar.

## 4.2 Bezugnahme auf die ursprüngliche Fragestellung

Die ursprüngliche Annahme aus [Abschnitt 2.4 \(Vorversuch zur Bestimmung des SNR, S. 12\)](#), nämlich, dass die 0° Winkelkonstellation, also Sprache sowie Störgeräuschen aus der Front, die schlechteste Hörkondition darstellt, erwies sich als nicht zutreffend. Es stellte sich heraus, dass die 45°-Position bzw. in fünf Fällen die 90°-Position ein deutlich schlechteres Testergebnis hervorbrachten als die Testsituation, in welcher Störgeräusch und Sprache aus der Front dargeboten wurden.

#### 4 Diskussion

Allgemein ist bekannt, dass der Mensch Sprache am besten in einem Frequenzbereich zwischen 2 und 4 kHz versteht (Franzen, 2001). Sivian und White (1930) zeigten anhand eines Freifeldversuches, dass sich der Schallpegel am Ohr in Abhängigkeit von Frequenz und Angulation der Schallquelle zum Ohr verändert. In den 3 Winkelkonstellationen  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $90^\circ$  wurde ein Signal mit einer Frequenz zwischen 60 und 15000 Hz auf kontralateral vertäubte Probanden abgegeben. Für den sprachlich relevanten Frequenzbereich zwischen 2 und 4 kHz maß man für die  $45^\circ$  Geräuschquelle die höchsten Schallpegel am Ohr. Je höher die Frequenz, desto mehr bewegte sich der Geräuscheinfallswinkel für Schallpegelmaxima in Richtung  $90^\circ$ .

Wiener (1946) maß über ein Miniaturmikrofon im Ohr den Schallpegel am Trommelfell. Auch hier spielte die Richtung, aus der das abgespielte Geräusch auf das Außenohr traf, eindeutig eine Rolle. Die Geräuschquelle, die in der Horizontalebene in  $45^\circ$  zum Probandenkopf anguliert wurde, erzielte im Frequenzbereich von 3 kHz den höchsten Schallpegel am Trommelfell. Die  $0^\circ$ -Winkelposition schnitt um ca. 5 dB Schalldruckpegel schlechter ab.

Auch Blauert (1974) stellte in einem Versuch über die monaurale Übertragungsfunktion des linken Ohres in der Horizontalen fest, dass sich der Schallpegel am Ohr in Abhängigkeit zur Frequenz durch verschiedene Geräuschlokationen variieren läßt. Er verglich dabei die Schallpegeldifferenz am Ohr zwischen der Hörkondition Geräusch aus der Front und Geräusch aus den Winkelpositionen  $0^\circ$ - $330^\circ$  in  $30^\circ$ -Schritten. Auch hier ergab sich für den sprachlich relevanten Frequenzbereich eine größere Schallpegeldifferenz zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ , als im Bereich zwischen  $70^\circ$  und  $180^\circ$ . Die Schallpegeldifferenz liegt bereits bei  $120^\circ$  Geräuscheinfallswinkel deutlich im negativen dB -Bereich. In Richtung  $180^\circ$  fällt diese weiter ab.

Interpretiert man nun die Ergebnisse unter den oben genannten Gesichtspunkten, so wird klar, dass der SNR für die  $45^\circ$ -Position, also die Schallpegeldifferenz zwischen Sprache aus der Front und Störgeräusch aus der  $45^\circ$ -Richtung, kleiner ist als z. B. in der  $0^\circ$ -Position. Das Störgeräusch erfährt in dieser Ausrichtung zum Kopf eine geringere Dämpfung. Folglich wird das gehörte Testwort stärker von CCITT-Rauschen überlagert und dem Proband fällt es deutlich schwerer, dieses Testwort korrekt wiederzugeben. Anders in der  $180^\circ$ -Winkelkonstellation. Durch die Boxenlokation hinter dem Kopf trifft ein durch die Abschattung des Ohres verringerter Schallpegel des Stör rauschens an das Ohr. Der SNR wird größer, folglich ist das Testwort besser zu verstehen.



### 4.3 Brauchbarkeit der gewählten Methodik

Die 1968er Aufsprache des Freiburger Einsilbertests erwies sich als geeignetes Sprachtestmaterial. Für die Fragestellung dieser Arbeit erwies es sich nicht als notwendig, ganze Sätze (OLSA Satztest) zu verwenden, kurze Sprachsignale lieferten eine deutliche Aussage. Ebenso zeigte sich die räumliche Versuchsanordnung mit HATS und individuellen Pinnamodellen im Freifeld in der Lage, die Fragestellung statistisch aussagekräftig zu beantworten. Überraschend war jedoch das niedrige mittlere Sprachverständnis von 29,86%. Bei der Festlegung des SNR als SRT in der 90° Kondition, wäre das mittlere Sprachverständnis in der 90° Kondition bei 50% zu erwarten gewesen. Ausgehend von den gefundenen Ergebnissen, hätten die Resultate im Mittel aller Winkel sogar noch höher liegen müssen. Zweierlei Gründe wären denkbar:

- zum einen könnte es ein Mithören des kontralateralen Ohres im Rahmen der Vorversuche gegeben haben. Das Mithören des vertäubten Ohres kann durch die extrem ungünstige Hörsituation keine Verbesserung des SNR bewirken. Möglich wäre jedoch eine binaurale Hörleistung, z. B. über die ITD-Wahrnehmung. Jedoch wäre selbst bei perfekter Lokalisation beider Schallquellen höchstens ein Effekt von 1 - 2 dB SNR („Squelch“-Effekt) zu erwarten. Demzufolge kann ein wesentlicher Beitrag des kontralateralen Ohres ausgeschlossen werden.
- zum anderen befanden sich im Vorversuch die Probanden im Schallfeld, im Hauptversuch jedoch der HATS. Denkbar wären also Unterschiede aufgrund der Ohrmuscheln (Präzision der Abformung und Positionierung am Kunstkopf) sowie des Torsos.

## 4 *Diskussion*

## 5 Ausblick

Das Thema Monaurales Sprachverständnis im Störgeräusch bietet sicherlich noch weitere Aspekte, die sich wissenschaftlich verfolgen und eruieren lassen. Mehrere Ansätze wären hier denkbar:

- Erweiterung der Winkel über  $180^\circ$  hinaus,
- Beurteilung des Sprachverständnisses durch Hinzufügen von Winkeln in der Vertikalen,
- Veränderung der Winkelabstände z. B. durch Zwischenwinkel,
- Prüfung spektraler Effekte am Außenohr mit einer Auswirkung auf das Sprachverständnis,
- Rauschen aus der Front und Sprache in verschiedenen Einfallswinkeln und deren Effekt auf das Sprachverständnis.

Derartige Studien sind für Patienten mit Cochlea-Implantaten von besonderer Bedeutung. Menschen, die ein Cochlea-Implantat tragen, sind in der Regel „nur“ unilateral implantiert. Dadurch ergibt sich für diese Patienten praktisch keine Möglichkeit der räumlichen Wahrnehmung und es ist eine große Herausforderung, ein Sprachverständnis im Störgeräusch zu entwickeln. Dass ein Mensch, der nicht die Fähigkeit der räumlichen Wahrnehmung besitzt, ein großes Handicap hat, steht außer Frage.

Die bisherigen Cochlea-Implantate sind technisch so beschaffen, dass das Mikrofon, welches den Schall auffängt, oberhalb der Ohrmuschel lokalisiert ist. Dadurch wird dem Patienten durch die unilaterale Implantation nicht nur das wichtige binaurale Lokalisationsvermögen verwehrt, sondern er muss zusätzlich auf die monauralen spektralen Effekte am Außenohr verzichten. Es gilt also zu klären, ob Sprachverständnis und Lokalisationsvermögen bei unilateral implantierten Patienten durch ein im Gehörkanal getragenes Mikrofon verbessert werden können.

Denkbar wäre daher also ein erneuter Versuchsdurchlauf mit unilateral implantierten Patienten, die ein modifiziertes Cochlea Implantat tragen, welches ihnen die Möglichkeit einräumt, Sprach- und Störschall per Mikrofon im Gehörkanal aufzufangen.

## 5 Ausblick

Eine neue Entwicklung in der Versorgung mit Cochlea-Implantat betrifft Patienten mit einseitiger (erworbener) Taubheit. Weltweit wurden bisher nur wenige Patienten aus dieser Gruppe versorgt. Es gibt jedoch sehr ermutigende erste klinische Resultate (Mueller, 2010). Für die Untersuchung dieser Patienten können die Resultate dieser Arbeit evtl. wertvolle Referenzdaten beitragen. Ggf. könnten Teile der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Methoden bei dieser Patientengruppe zur Anwendung kommen.

## 6 Zusammenfassung

Einseitig ertaubte Menschen tun sich mit dem Sprachverständnis im Störgeräusch allgemein sehr viel schwerer als binaural hörende Menschen. Zur Verbesserung der Situation dieser Menschen ist es daher notwendig, zu erforschen, wie diesem Handicap beizukommen ist. Dazu will diese Arbeit beitragen. In der Dissertation wurde der Einfluß des Einfallswinkels eines Störgeräusches auf das Sprachverständnis monaural hörender Probanden getestet. Dazu wurden 15 normalhörende Testpersonen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren einem modifiziertem Sprachverständlichkeitstest (Freiburger Einsilber-Test in der Fassung von 1968) im Störgeräusch unterzogen.

Im Rahmen der Vorversuche wurden mittels eines Head and Torso Simulators (HATS), welcher mit der individuell gefertigten rechten Außenohrmuschel eines jeden Probanden bestückt wurde, die 395 Testwörter aufgezeichnet. Diese einsilbigen Testwörter, welche aus einem frontal zum HATS ausgerichteten Lautsprecher kamen, wurden von einem CCITT-Rauschen überlagert, das aus 5 verschiedenen Winkeln (  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  und  $180^\circ$  gemessen zum Frontlautsprecher) abgegeben wurde.

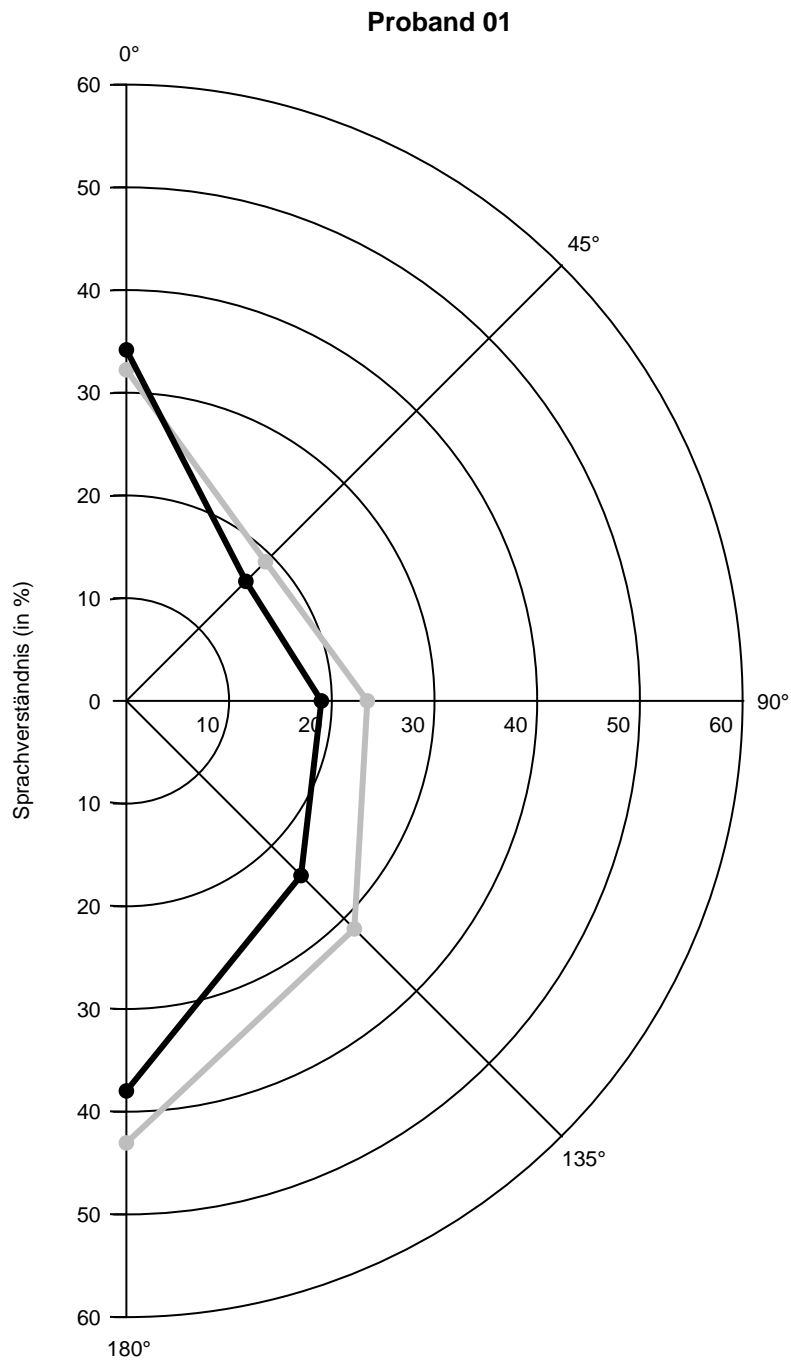
Die aufgezeichneten Signale wurden dem jeweiligen Probanden in ebenfalls monauraler Hörkondition auf dem zu testenden rechten Ohr angeboten. Die Aufgabe der Testperson bestand darin, das verstandene Testwort laut wiederzugeben. Dieses wurde im Falle der Richtigkeit auf einer speziell für diesen Probanden gefertigten Liste abgehakt.

In der statistischen Auswertung konnte die  $180^\circ$ -Winkelposition als die Testsituation mit dem besten Sprachverständnis festgehalten werden. Als ungünstigste Testkondition stellte sich der  $45^\circ$ -Störgeräuscheinfallswinkel heraus. Jedoch besteht eine gewisse Varianz bei den Testpersonen in den Hörkonditionen  $45^\circ$  und  $90^\circ$ . Diese Varianz ist wohl auf die anatomische Individualität des einzelnen Probanden zurückzuführen. Der Faktor Zeit, also die Dauer des Testdurchlaufs, spielte keine nennenswerte Rolle. Andererseits ließ sich eine durchaus signifikante Schwankung im Sprachverständnis zwischen den einzelnen Testpersonen feststellen.



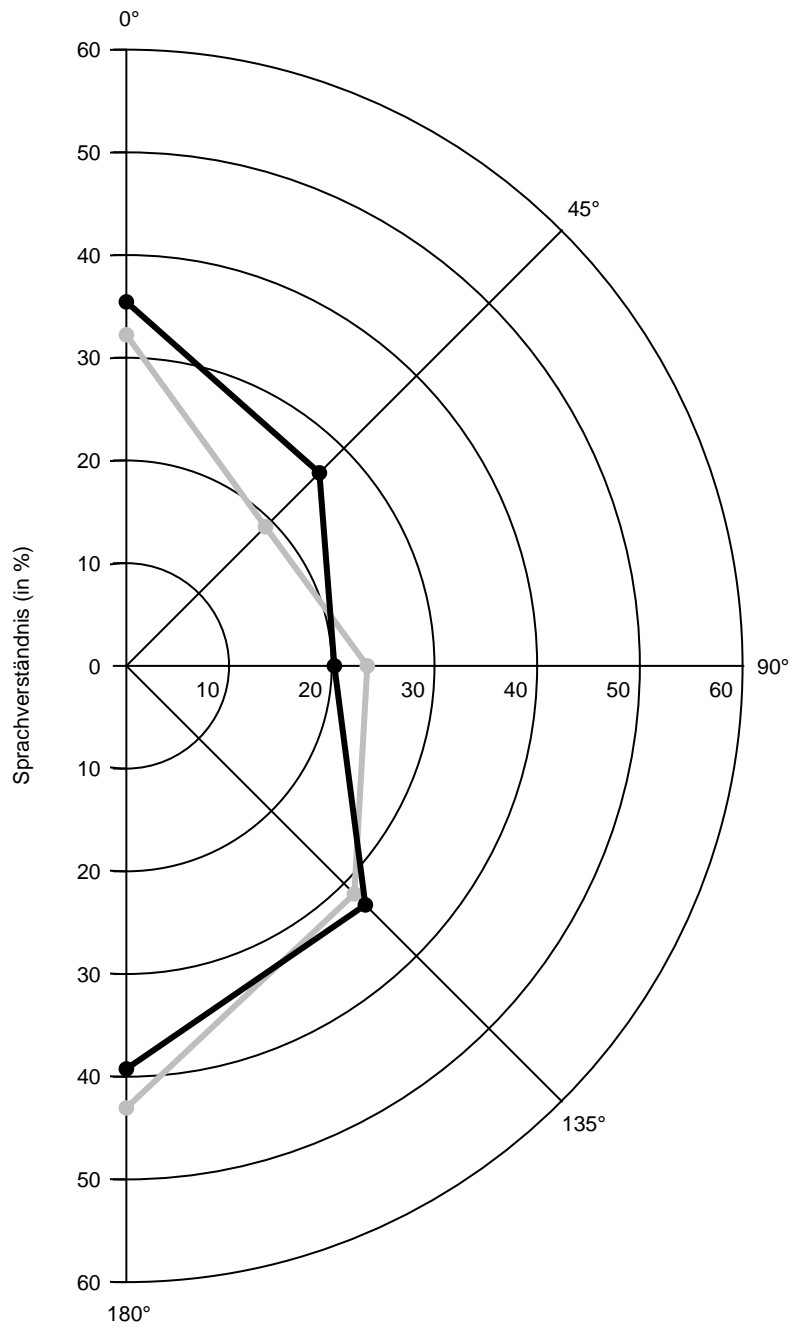
## **A Anhang**

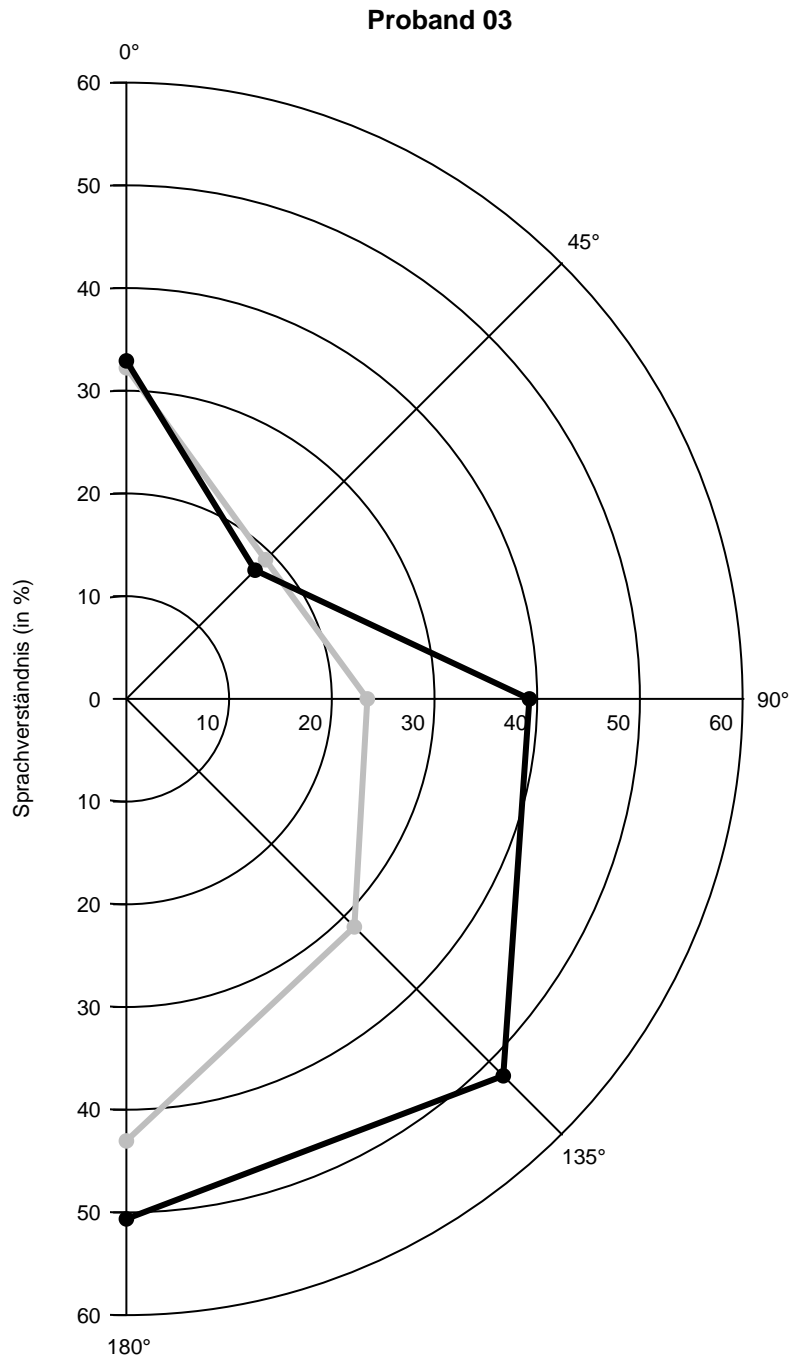
Folgend sind die Polarplots aller 15 Probanden dargestellt. Die helle Linie stellt die Mittelwerte aller Probanden dar, die dunkle Linie die Leistung jeder einzelnen Testperson.



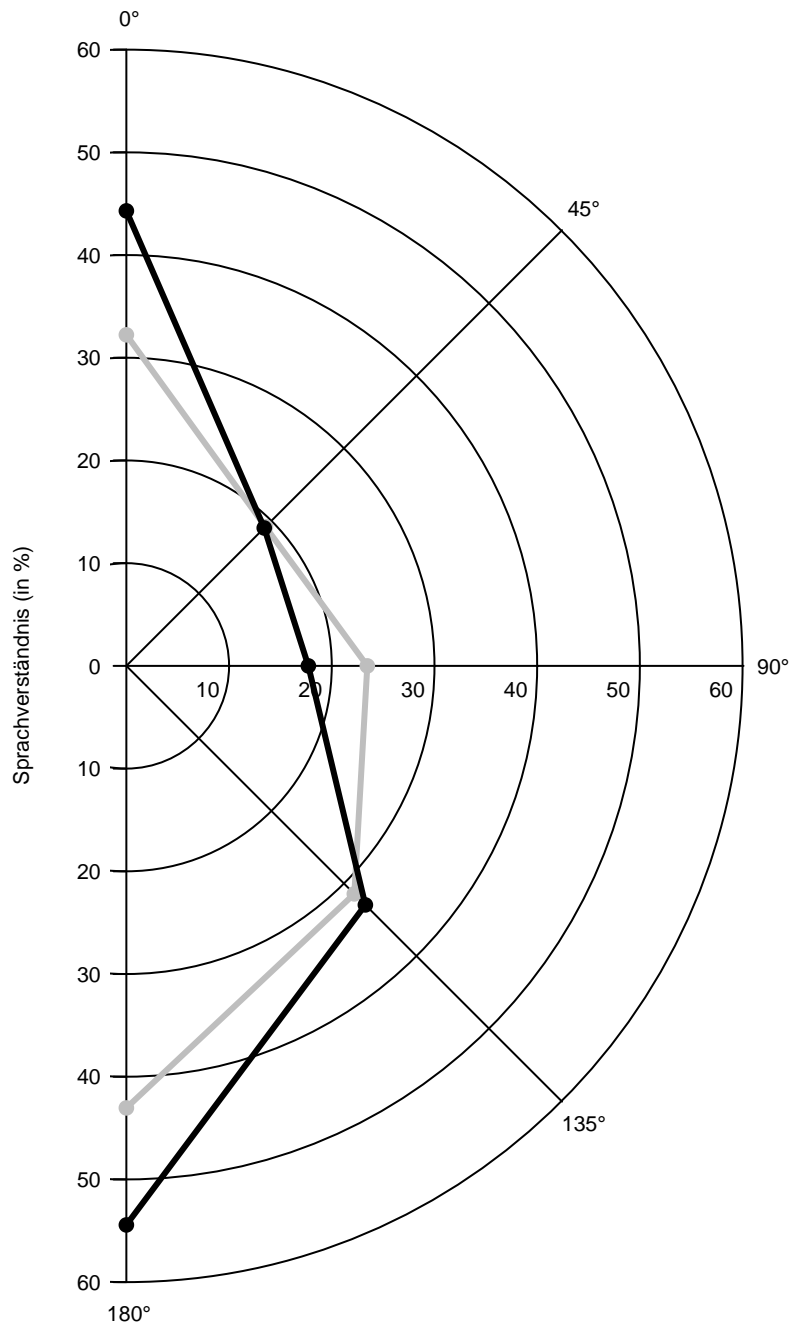


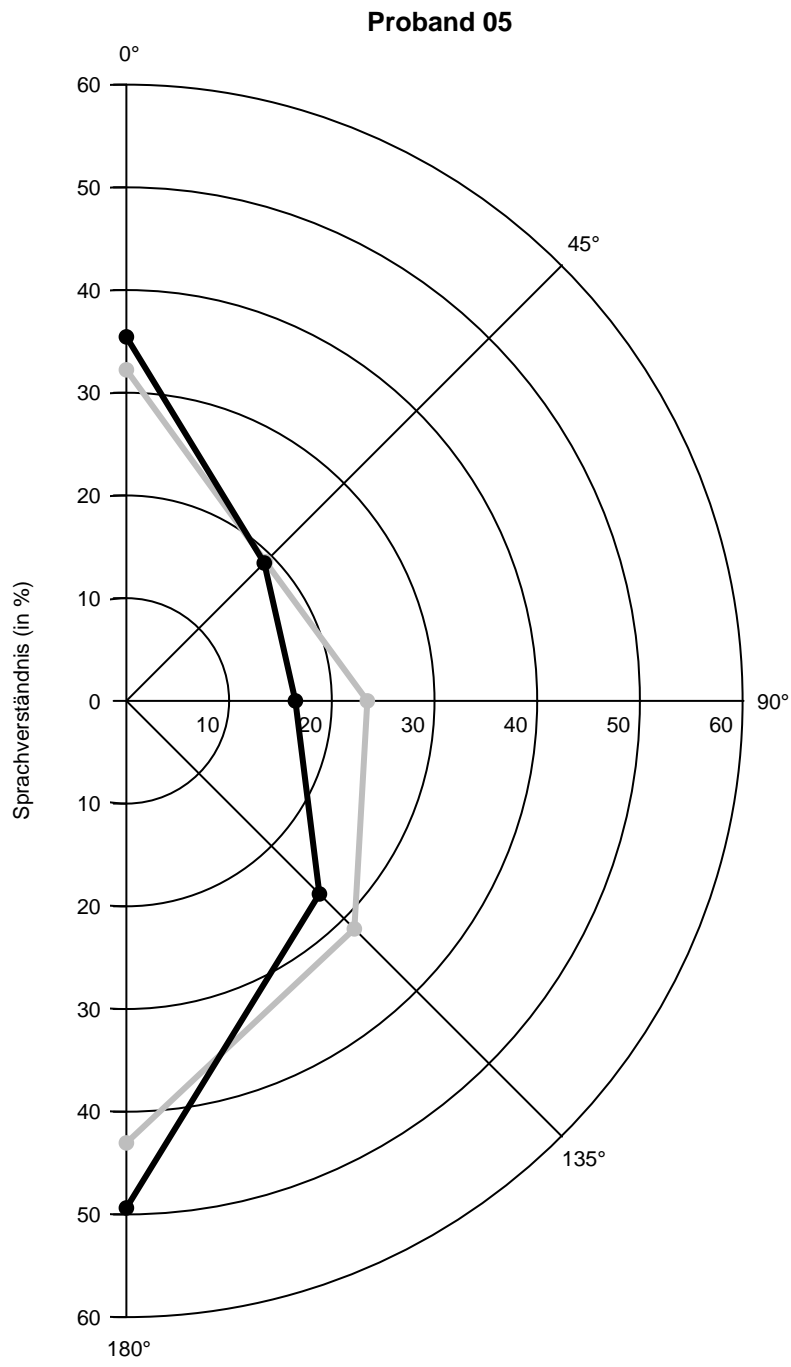
### Proband 02



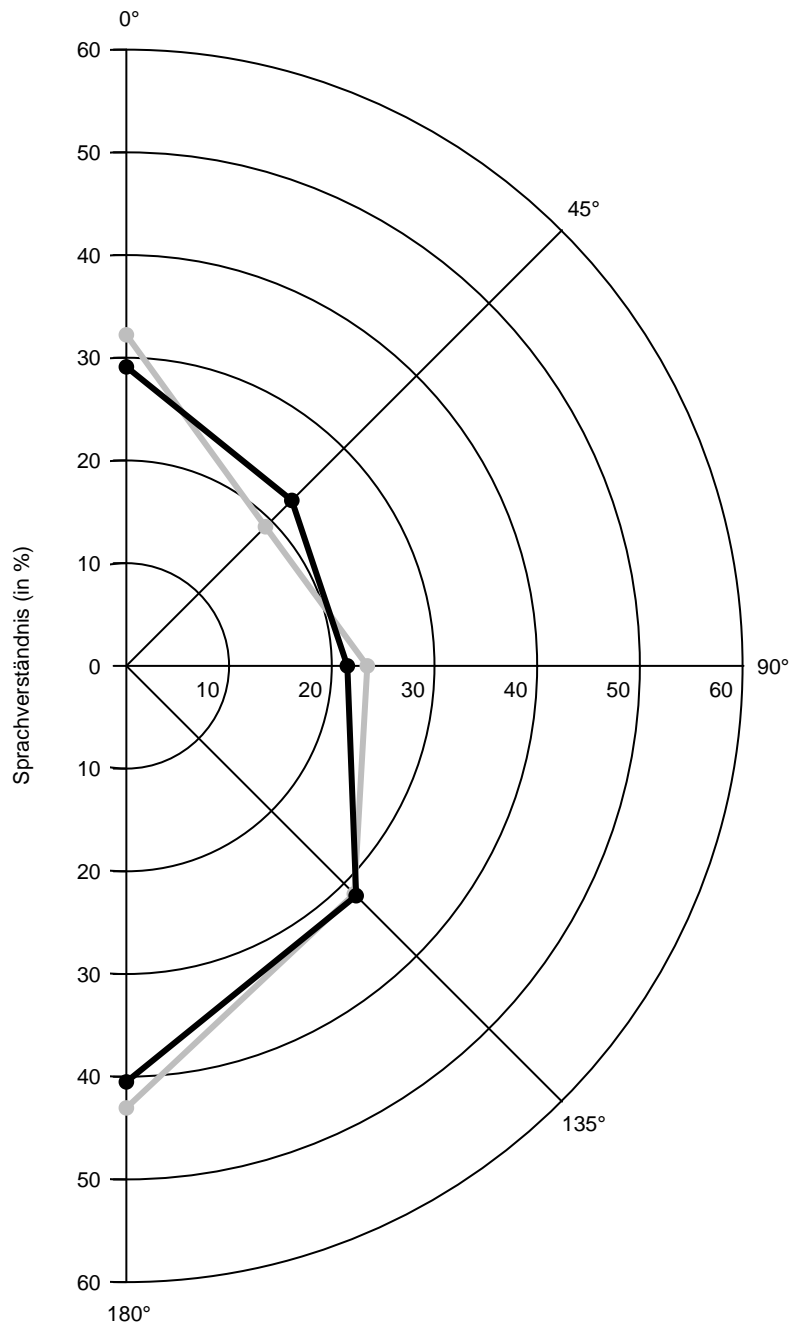


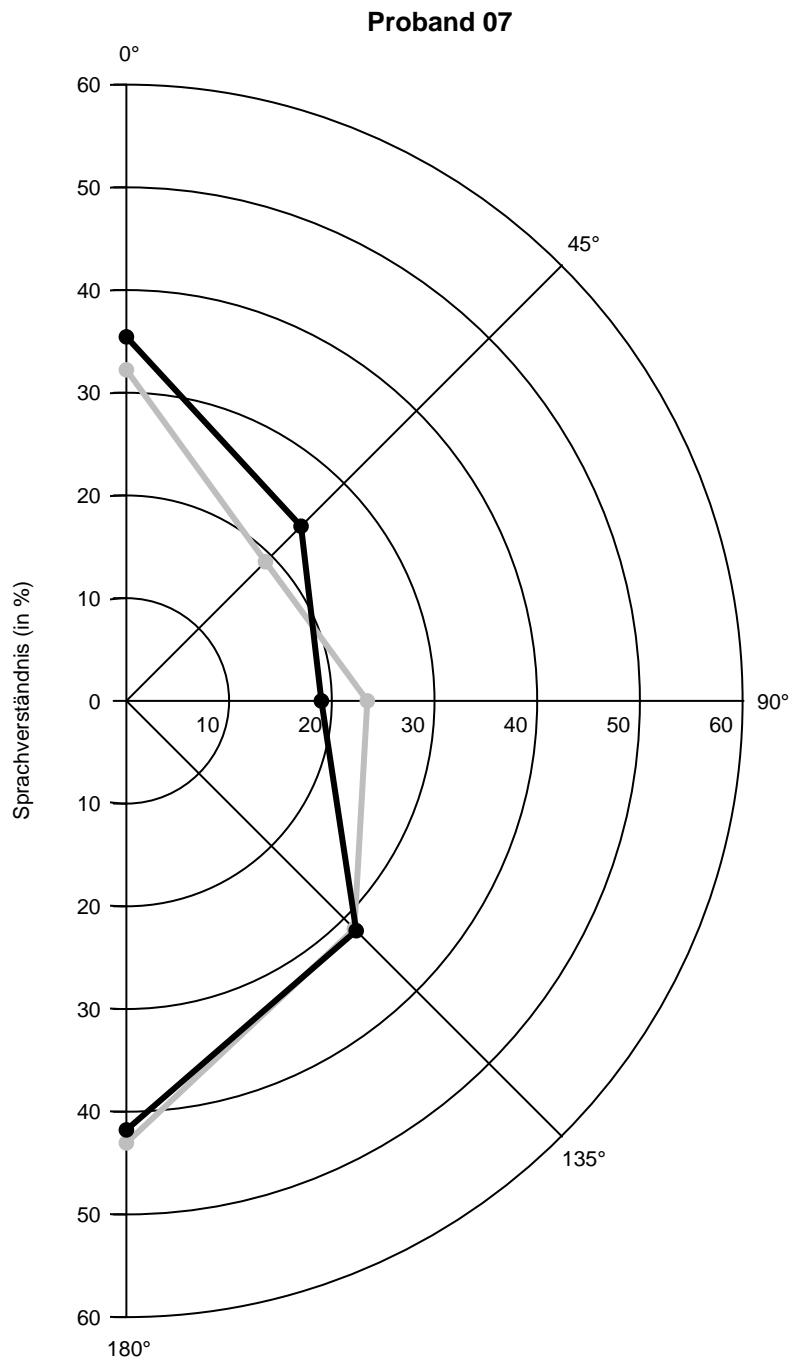
### Proband 04



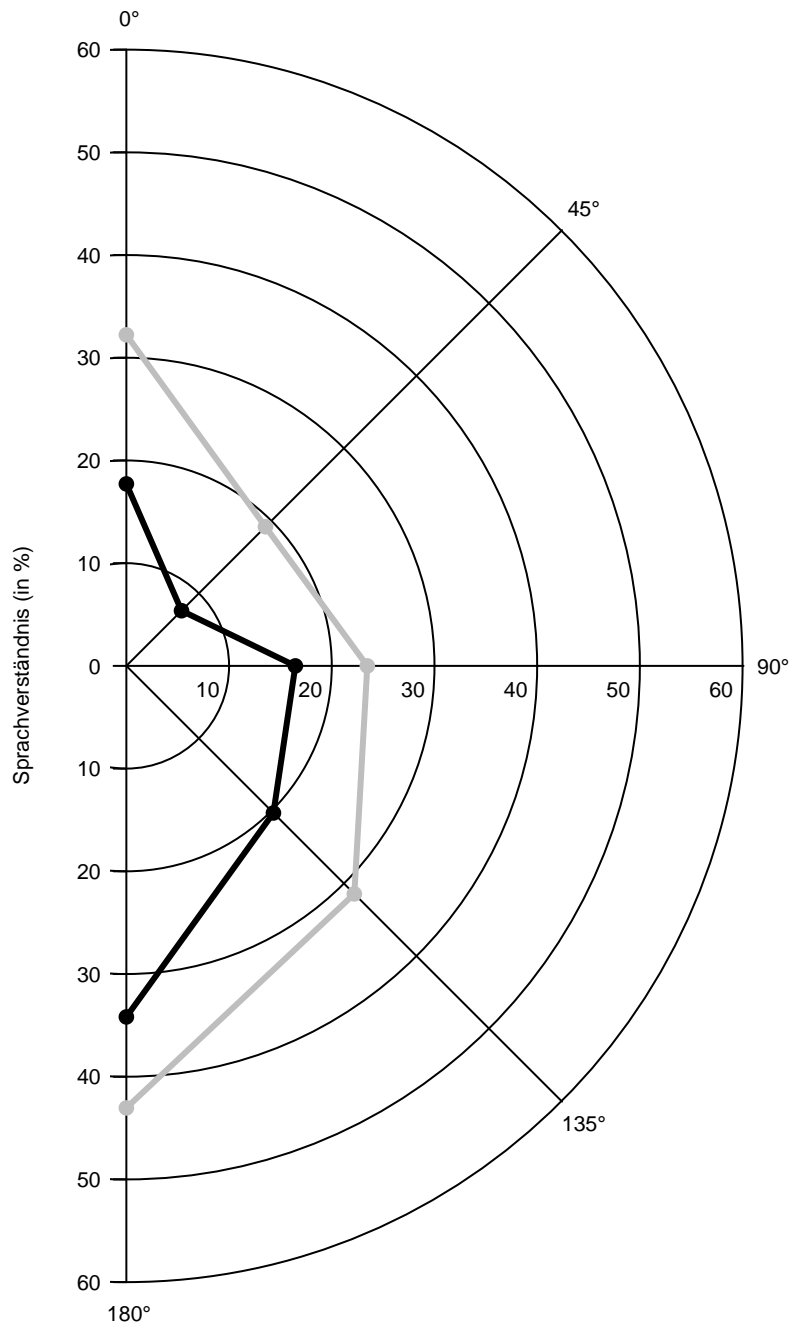


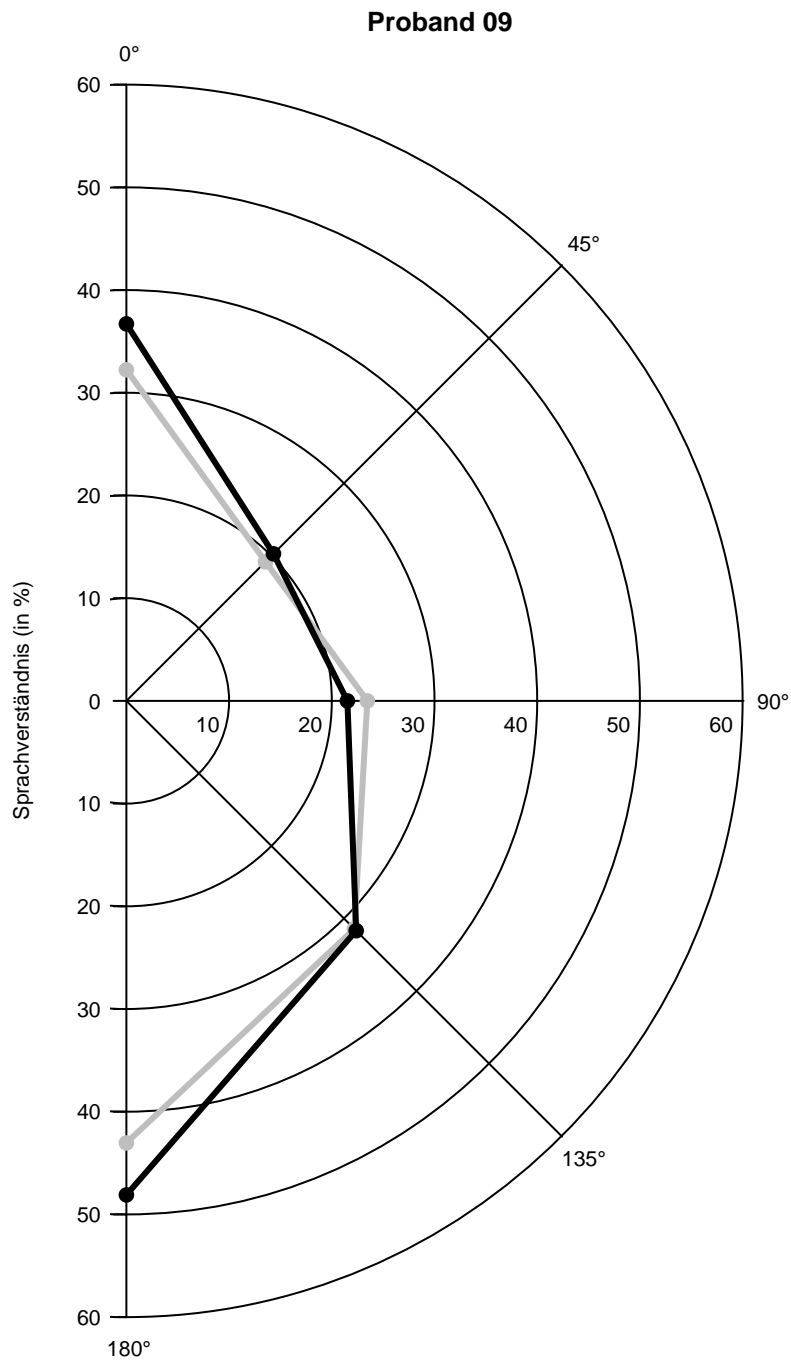
### Proband 06





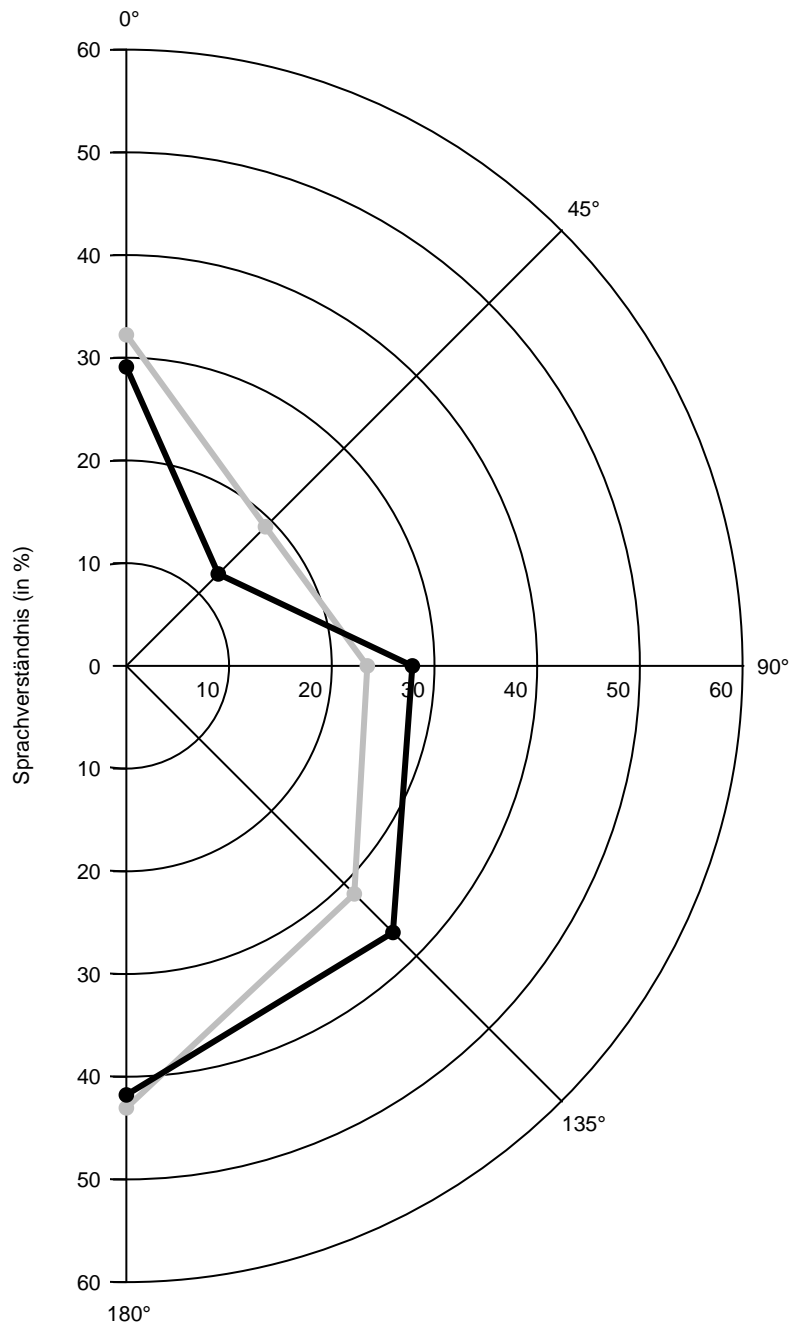
### Proband 08

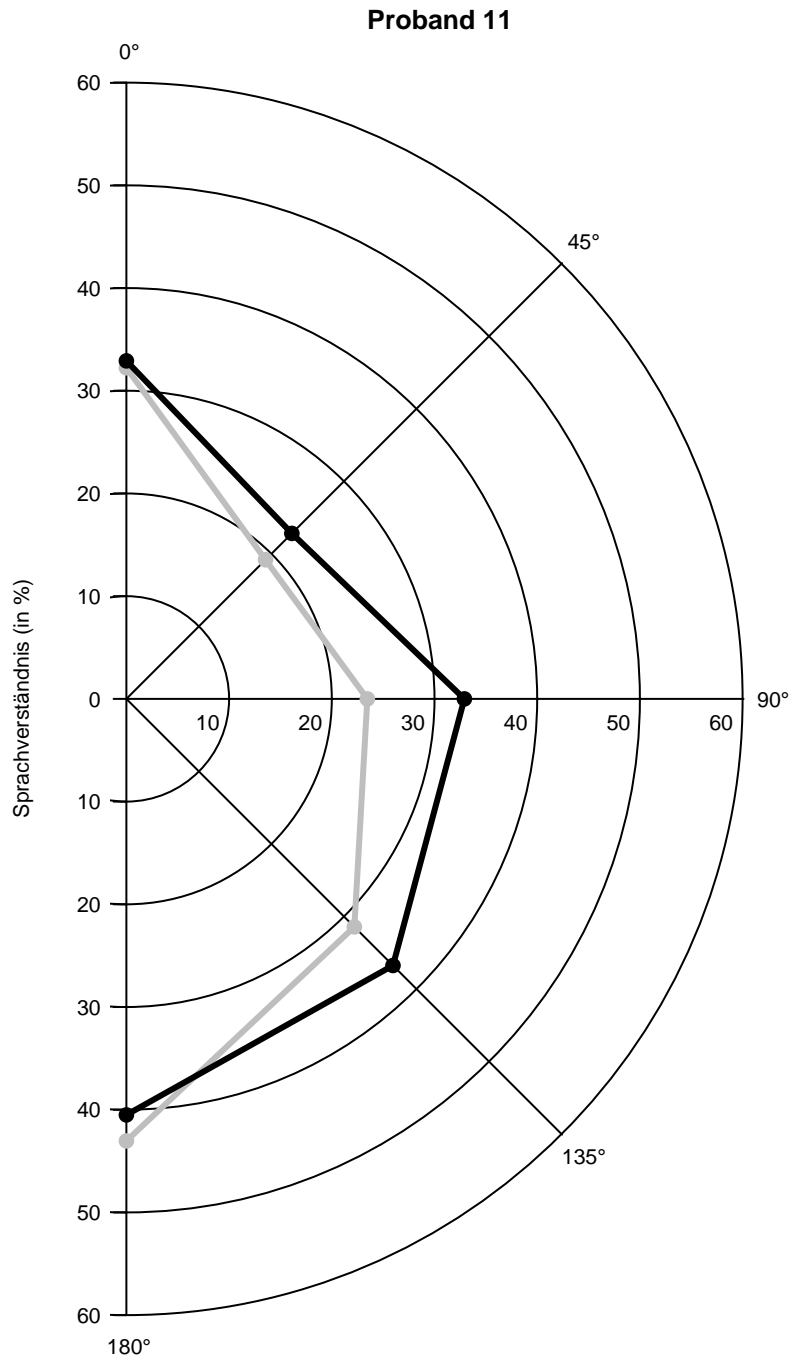




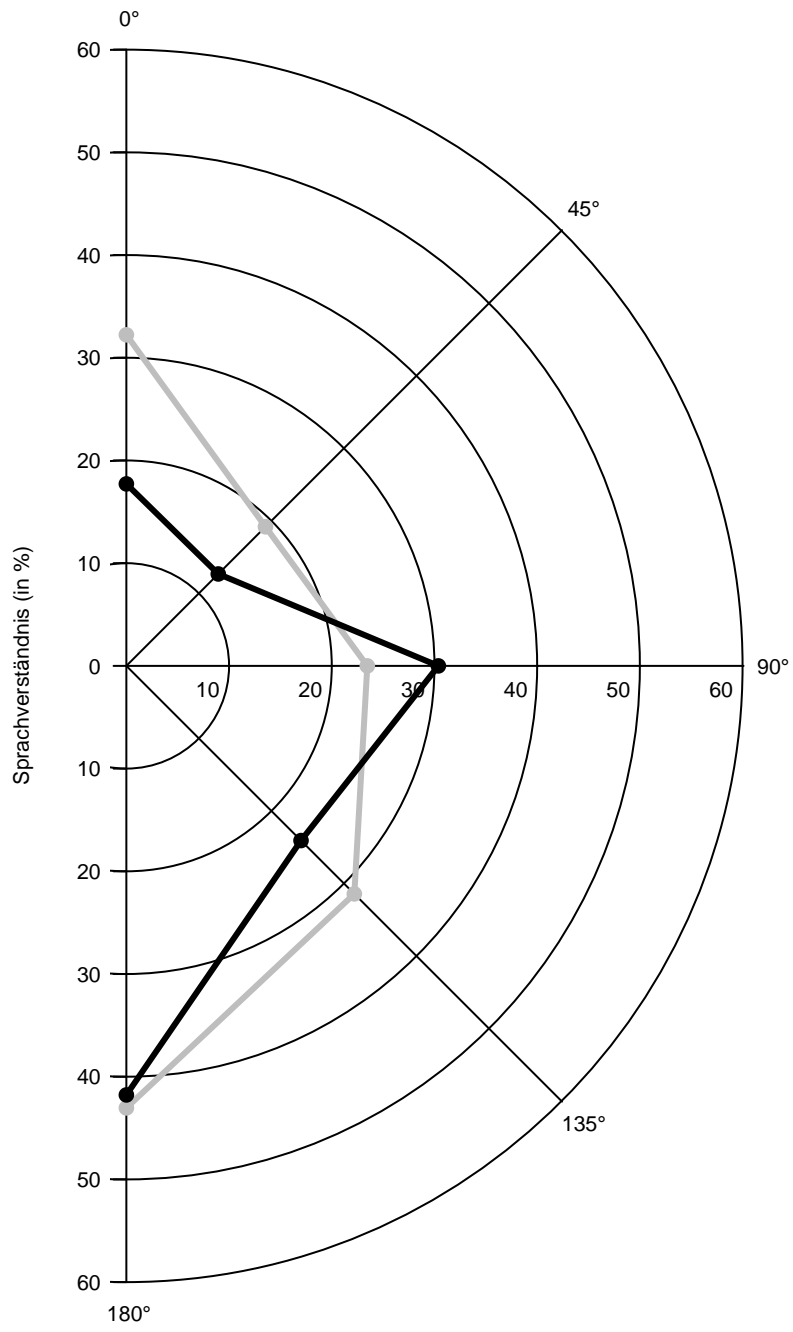


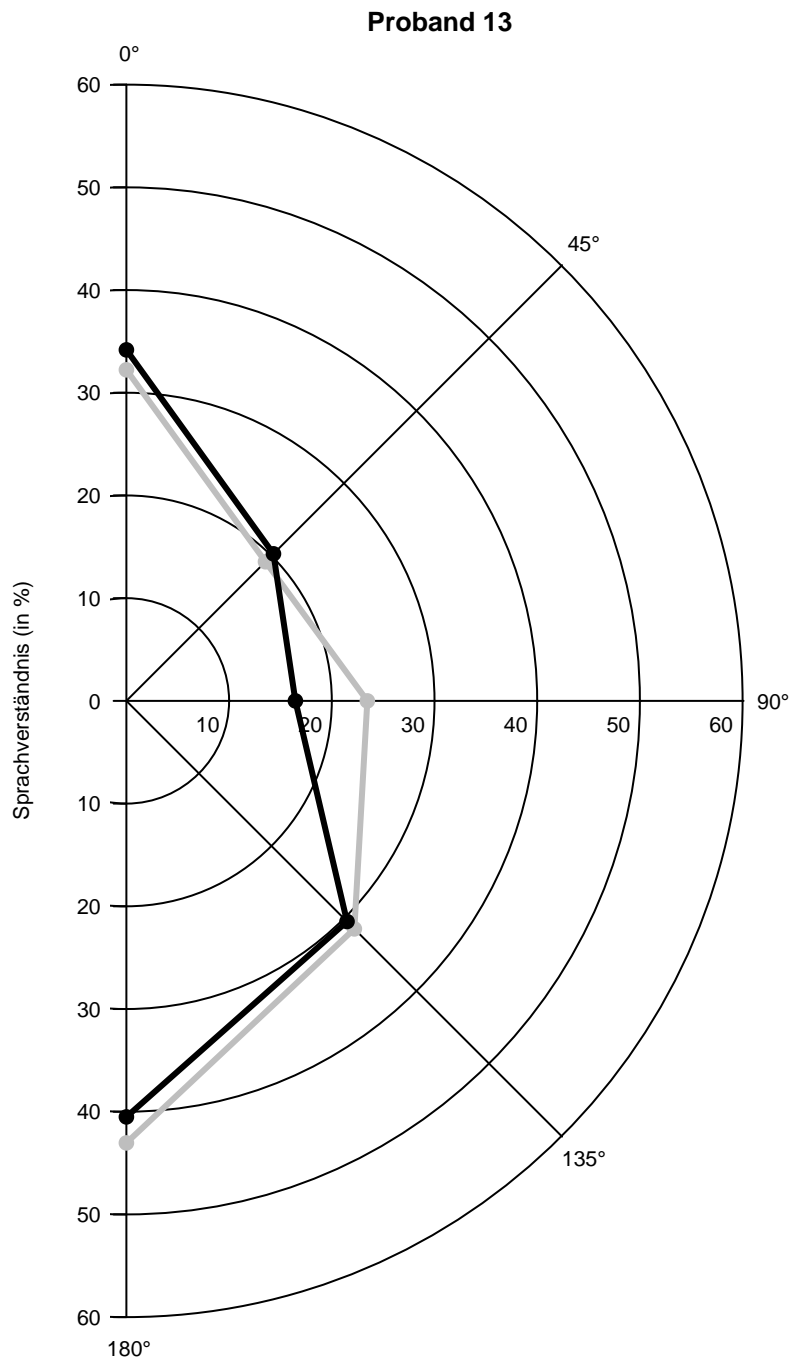
### Proband 10



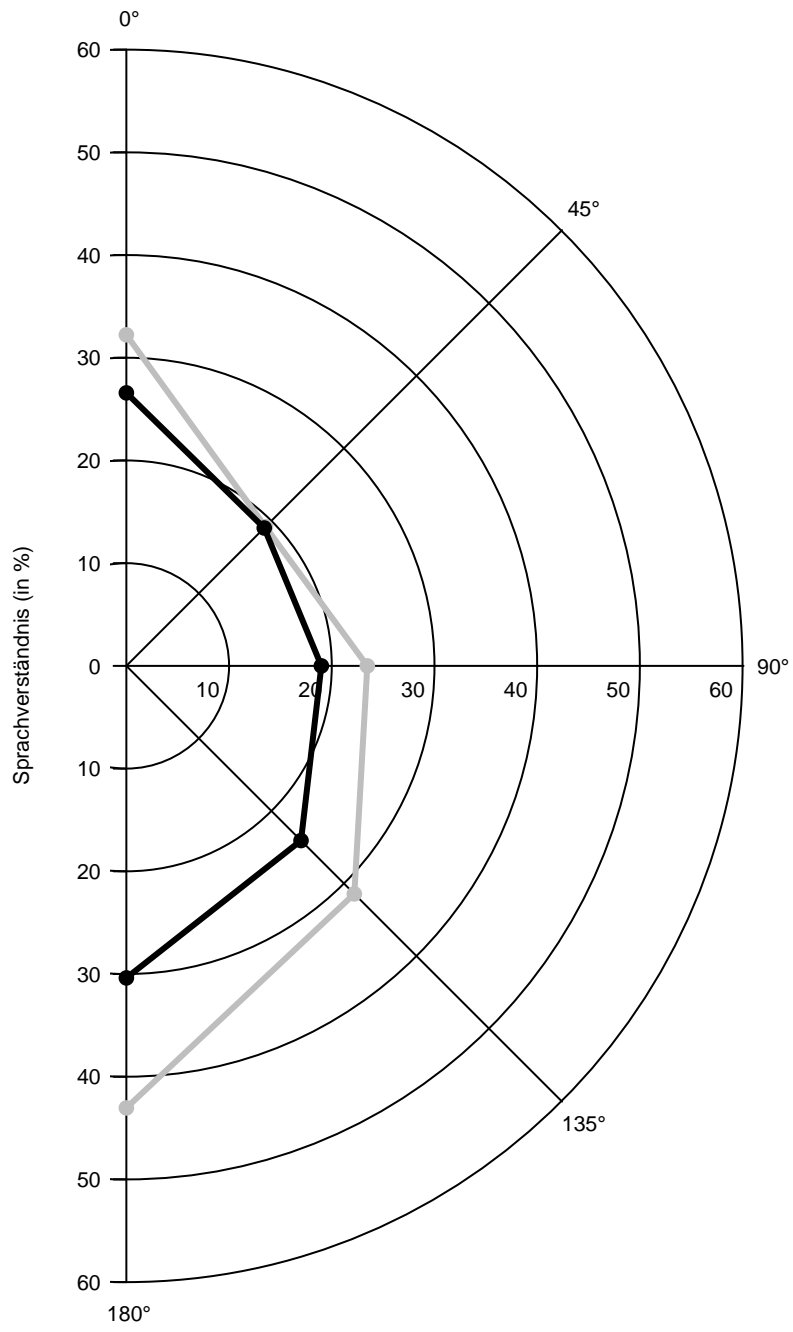


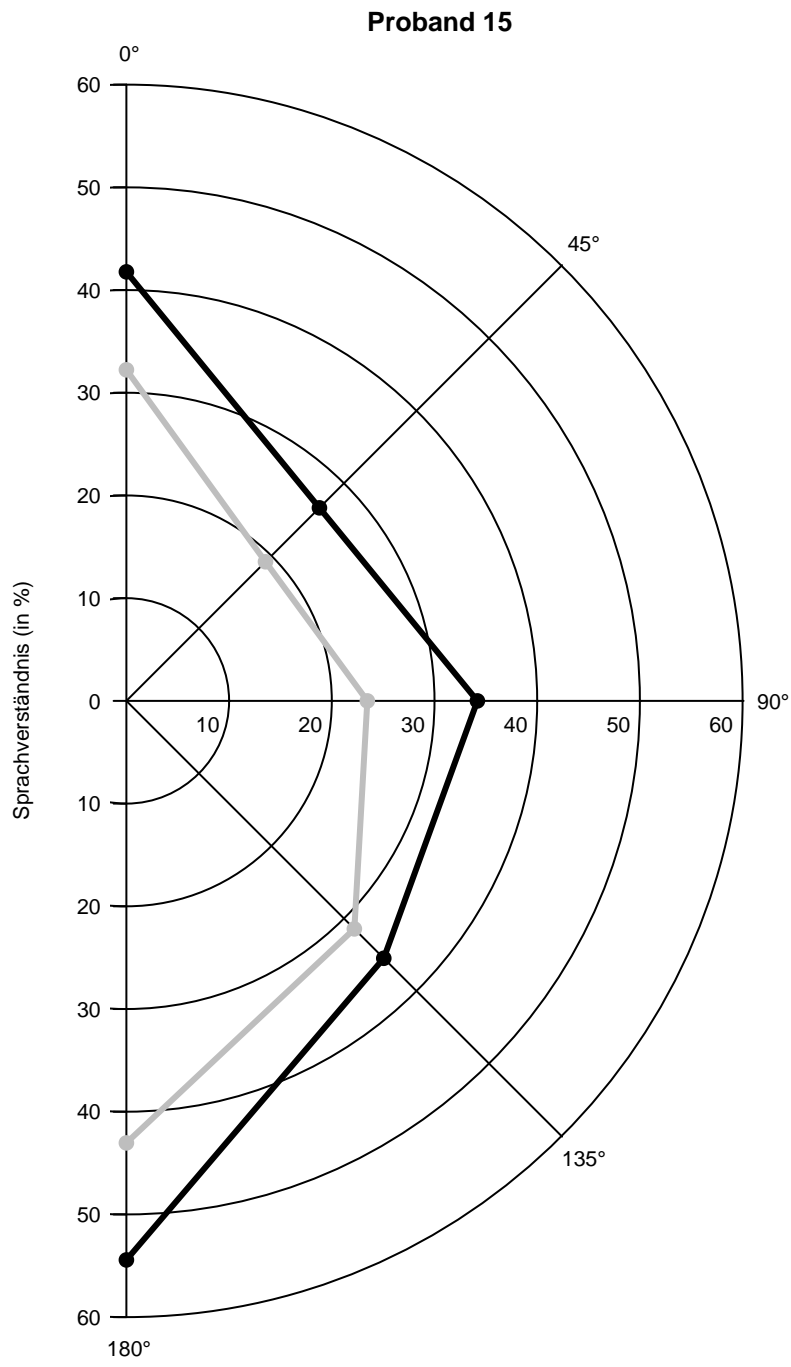
### Proband 12





### Proband 14





## Literaturverzeichnis

- Pschyrembel Klinisches Wörterbuch.* de Gruyter, Berlin, 260. Auflage, 2004.
- Angell J R und Fite W. 1901. The monaural localisation of sound. *Psychol. Rev.*, 8:225–46.
- Blauert J. *Räumliches Hören.* S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974.
- HATS Manual Brüel & Kjær Head and Torso Simulator Type 4128.* Brüel & Kjær.
- Cherry C E und Bowles J A. 1960. Contribution to a study of the "cocktail party problem". *Journal of the Acoustical Society of America*, 32//:884.
- Döring WH Hamacher V. *Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik.* In Kollmeier, B., *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie.*, Seiten 137–168. Median-Verlag, 1992.
- Fastl H. 1987. Ein Störgeräusch für die Sprachaudiometrie. *Audiologische Akustik*, 26:2–13.
- Feuerstein J F. 1992. Monaural versus binaural hearing: ease of listening, word recognition, and attentional effort. *Ear Hear.*, 13(2):80–6.
- Franzen A. *Hals, Nasen- und Ohrenheilkunde.* Urban&Fischer, 2001.
- Hahlbrock K H. *Sprachaudiometrie.* Thieme, 1970.
- Hellbrück J. *Hören Physiologie Psychologie und Pathologie.* Hogrefe, 1993.
- Hudde H und Pösselt C. 1988. Die Bedeutung des äußeren Ohres für das räumliche Hören beim Menschen aus der Sicht des Ingenieurwissenschaftlers. *HNO*, 36(6):215–20.
- International Telecommunication Union . ITU-T Recommendation G.227; Conventional Telephone Signal. Blue Book, Fascicle III.2, 11 1988.

- Kießling J, Schubert M, und Wagner I. 1994. Sprachverständlichkeitsmessungen an Normalhörenden und Schallempfindungsschwerhörigen - fünf Sprachstest im Vergleich. *Audiologische Akustik*, 1/94:6–12.
- Mueller J. Cochlear implants for unilateral deafness. In *11th international Conference on Cochlear Implants and Other Auditory Implantable Technologies*, Stockholm, 2010.
- Oldfield S R und Parker S P. 1986. Acuity of sound localisation: a topography of auditory space. iii. monaural hearing conditions. *Perception*, 15(1):67–81.
- Persson P, Lever C, Gatehouse S, Harder H, Arlinger S, und Magnuson B. 2001. Speech recognition in background noise: monaural versus binaural listening conditions in normal-hearing patients. *Otol Neurotol.*, 22(5):625–30.
- Platte H-J, Döring W H, und Schlöndorff G. 1978. Richtungshören und Sprachverstehen unter Störschalleinfluß bei „Normalhörenden“ . *Laryngologie, Rhinologie, Otologie*, 57.
- R Development Core Team . *R: A language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009. URL <http://www.R-project.org>. ISBN 3-900051-07-0.
- Röser D. 1969. Die Richtungsempfindung für Schall innerhalb der Medianebene. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, Volume 194, Number 2:473–477.
- Röser D. 1978. Der Freiburger Sprachtest in gekürzter Form. *Z. Hörgeräte-Akustik*, 17:154– 160.
- Shaw E A G. 1974. Transmission of sound pressure level from the freefield to the eardrum in the horizontal plane. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56/6:1848–1861.
- Sivian L J und White S D. 1930. On minimum audible sound fields. *Journal of the Acoustical Society of America*, Seiten 288– 321.
- Wedel von H. 1985. Untersuchungen zur Sprachdiskrimination bei umweltspezifischem Störgeräusch. *Laryngologie, Rhinologie, Otologie*, 64:430–435.



Wanrooij M Van und Opstal A J Van. Apr 2004. Contribution of head shadow and pinna cues to chronic monaural sound localization. *J Neurosci*, 24(17): 4163–4171.

Welzl-Müller K. 1981. Der Einfluß des Störlärms auf die Satzverständlichkeit. *Laryngologie, Rhinologie, Otologie*, 60:117–120.

Westra GmbH . *Hörgeräteanpassung, einfach, schnell, erfolgreich.*

Wiener F M. 1946. The pressure distribution in the auditory canal in a progressive sound field. *Journal of the Acoustical Society of America*, 18/2:401–08.

Wightman F L. 1996. Monaural sound localisation revisited. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101/2:1050–63.



## Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Rudolf Hagen, Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg und Herrn Prof. Dr. Joachim Müller, Oberarzt an der HNO-Klinik der Universität Würzburg, bin ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit zu besonderem Dank verpflichtet. Desweiteren möchte ich mich recht herzlich bei Frau Prof. Dr. Wermke für die Übernahme des Koreferates bedanken. Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill bin ich zu tiefstem Dank für die hervorragende Betreuung und so manchen Geistesblitz zu später Stunde verpflichtet. Mit seinem Engagement und seiner tatkräftigen Unterstützung im Aufbau der Vorversuche und des Hauptversuchs sowie seiner Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse hat Herr Brill sehr zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

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



## Lebenslauf

Name: Johannes Sebastian Wirsing  
Geboren am: 03.10.1980  
In: Stuttgart  
Konfession: evangelisch  
Familienstand: ledig

### Schulbildung:

1987 - 1991 Grundschole: Eichendorffschule Ludwigsburg  
1991 - 2000 Mörike Gymnasium Ludwigsburg  
06/2000 Abitur

### Zivildienst:

2000 - 2001 Zivildienst im Rettungsdienst des Arbeiter Samariter Bundes Ludwigsburg  
Ausbildung zum Rettungssanitäter

### Studium:

2002 - 2003 Semester der Naturwissenschaften  
und vorklinische Kurse in der Zahnmedizin  
03/2003 Vorphysikum (Univ. Würzburg)  
2003 - 2004 Semester der Naturwissenschaften  
und vorklinische Kurse in der Zahnmedizin  
09/2004 Zahnärztliche Vorprüfung (Univ. Würzburg)  
2004 - 2007 Klinisches Studium  
02/2007 - 06/2007 Staatsexamen (Univ. Würzburg)

### Assistenzzeit:

2008 - 2010 Assistenzarzt in der Tagesklinik PlantaDent/Praxis Dres.  
Bossmann, Bad Endorf