

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

**Sprachverstehen im Störgeräusch und
Lokalisationsfähigkeit Normalhörender
in Abhängigkeit vom Lebensalter**

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

Raphael Papke

aus Würzburg

Würzburg, März 2013

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

Korreferent: PD Dr. ing. Mario Cebulla

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Oktober 2013

Der Promovend ist Zahnarzt

Meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Räumliches Hören	1
1.2	Sprachverständnis im Störgeräusch	4
1.3	Presbyakusis	6
1.3.1	Physiologie und Zellbiologie der alternden Cochlea	6
1.3.2	Zentrale Alterungsprozesse	7
1.3.3	Sprachverständnis und Lokalisationsfähigkeit im höheren Lebensalter	8
1.4	Fragestellung	9
2	Material und Methoden	11
2.1	Probanden	11
2.1.1	Hörschwelle	11
2.2	Technik	12
2.2.1	Computer	12
2.2.2	Audio-Interface	12
2.2.3	Aktiv-Boxen	13
2.2.4	Software	13
2.3	Schalltoter Raum	13
2.4	Untersuchungsmethoden	14
2.4.1	Lokalisation	14
2.4.2	Sprachverständnis	16
2.4.3	D2-Konzentrationsleistungstest	20
2.5	Statistische Analyse	21
3	Ergebnisse	23
3.1	Hörschwelle der Probanden	23
3.2	Sprachverständnis in Ruhe	25

Inhaltsverzeichnis

3.3	Sprachverständnis im Störgeräusch	28
3.3.1	Abhängigkeit vom Einfallswinkel und Störschalltyp	28
3.3.2	Abhängigkeit vom Lebensalter	32
3.4	Lokalisation	35
3.4.1	Gesamtlokalisationsfähigkeit	35
3.4.2	Lokalisationsfähigkeit in Abhängigkeit von der Lautsprecher- position	39
3.5	Zusammenhang zwischen Lokalisation und Sprachverständnis	41
3.6	D2-Konzentrationsleistungstest	42
4	Diskussion	45
4.1	Abhängigkeit von Einfallswinkel und Art des Störgeräusches	46
4.2	Einflussfaktoren auf die Lokalisationsfähigkeit	50
4.3	Zusammenhang zwischen Lokalisationsfähigkeit und Sprachver- ständnis	51
4.4	Einfluss der Konzentrationsfähigkeit auf Lokalisation und Sprach- verständnis	52
5	Zusammenfassung	55
A	Einzelaudiogramme der Probanden	57
A.1	Frauen	58
A.2	Männer	60
B	Vollständige Ergebnisse der ANOVA	63
C	Einzelergebnisse der Probanden (Sprachtests)	65
	Literaturverzeichnis	67
	Danksagung	
	Lebenslauf	

1. Einleitung

Eine der zentralen Aufgaben des menschlichen auditiven Systems besteht darin, aus einer Vielzahl von Umgebungsgeräuschen Ort und Informationsgehalt einer Schallquelle herauszufiltern. Diese Fähigkeit ist von entscheidender Bedeutung für die Kommunikation in geräuschvoller Umgebung. Einschränkungen des Hörvermögens führen in unterschiedlichem Ausmaß zu einer Beeinträchtigung dieser Hörleistung. Im klinischen Alltag berichten jedoch auch ältere Menschen ohne offensichtliche Hörstörung über Schwierigkeiten, Sprache in Gegenwart von mehreren Sprechern oder Nebengeräuschen zu verstehen. Die vorliegende Arbeit untersucht altersabhängige Veränderungen von Sprachverständnis und Lokalisationsfähigkeit an normalhörenden Erwachsenen.

1.1. Räumliches Hören

Die Fähigkeit, ein einzelnes akustisches Signal aus einer Vielzahl von Schallquellen selektiv „herauszuhören“ wird als „Cocktail-Party-Phänomen“ bezeichnet, und steht bis heute im Fokus einer Vielzahl von Studien (siehe z. B. [Arbogast et al. \(2002, 2005\)](#); [Freyman et al. \(1999\)](#); [Helfer und Freyman \(2008\)](#); [Kuyper \(1972\)](#); [Noble und Perrett \(2002\)](#); [Wood und Cowan \(1995\)](#); [Yost et al. \(1996\)](#)). Das beidohrige (binaurale) Hören gilt gemeinhin als wichtigste Voraussetzung für das Orten und räumliche Trennen verschiedener Schallquellen im Raum sowie das Einschätzen der Entfernung ([Cherry, 1953](#)). Nach [Blauert \(1974\)](#) bewertet das auditive System dabei sowohl individuelle Merkmale der an linkem und rechtem Ohr auftreffenden akustischen Signale (monaurale Analyse) als auch Unterschiede zwischen diesen (binaurale Analyse).

Als wichtigster monauraler Effekt ([Blauert, 1974](#)) gilt die Veränderung des auftreffenden Schallsignals durch das äußere Ohr (Pinna). In Abhängigkeit von Schallquellenrichtung und -entfernung wird das akustische Signal zeitlich und

1. Einleitung

spektral verzerrt. Diese Umcodierung der räumlichen Schallfeldmerkmale ermöglicht Normalhörenden die Trennung von vorderem und hinterem Medianebensektor sowie die Wahrnehmung von Elevation und Entfernung der Schallquelle.

Der Vergleich der an linkem und rechtem Ohr auftreffenden Schallsignale (binaurale Analyse) stützt sich hauptsächlich auf die Auswertung interauraler Laufzeitdifferenzen (interaural time difference, ITD) und Schallpegeldifferenzen (interaural level difference, ILD) (Akeroyd, 2006; Blauert, 1974). Das von der in Abbildung 1.1 rechts neben dem Hörer angeordneten Schallquelle ausgehende Signal erreicht das rechte Ohr früher als das linke. Dieser Zeitunterschied (ITD) variiert mit dem Einfallswinkel der Schallquelle und dient vorwiegend der Ortung niederfrequenter Geräusche.

Nähert man den Kopf als Kugel und die Ohren als Punkte auf ihrer Oberfläche an, lässt sich die Laufzeitdifferenz zwischen beiden Ohren berechnen als Quotient aus der Distanz zwischen den Ohren, dem horizontalen Einfallswinkel θ und der Schallgeschwindigkeit c :

$$ITD = \frac{r\theta + r\sin\theta}{c}$$

r bezeichnet dabei den Radius des Kopfes (ca. 8,75 cm) (Akeroyd, 2006). Signale mit einer ITD von 0 μ s werden im Zentrum des Kopfes wahrgenommen, solche mit positiver bzw. negativer ITD werden lateralisiert, das heißt einer Seite zugeordnet. Unter idealen Bedingungen beträgt die eben wahrnehmbare Laufzeitdifferenz für einen Reinton zwischen 500 Hz und 1500 Hz etwa 10 μ s.

Zusätzlich zur ITD nutzt das auditive System die durch die Kopfabschattung hervorgerufene interaurale Schallpegeldifferenz (ILD, siehe Abbildung 1.2). Die ILD wird von Winkel, Frequenz und Abstand der Schallquelle beeinflusst, ihre Analyse dient vorwiegend der Ortung hochfrequenter Geräusche. Nähert man erneut den Kopf als Kugel an, lässt sich die Veränderung der ILD durch die Interaktion des Schalls mit der Kugeloberfläche erklären, wobei die Tiefe des Schallschattens durch die Wellenlänge des Signals bestimmt wird. Tieffrequente Signale mit großen Wellenlängen (z. B. 500 Hz bzw. 69 cm) erzeugen dabei

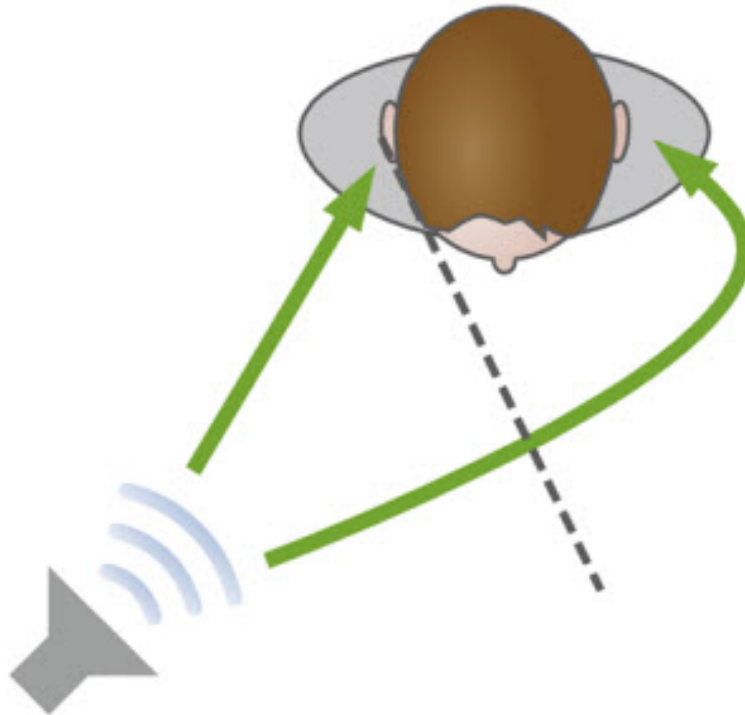


Abbildung 1.1.: Interaurale Laufzeitdifferenz (ITD). Quelle: www.audiologyonline.com

einen geringeren Schallschatten als hochfrequente Geräusche (z. B. 3000 Hz bzw. 11,5 cm). Normalhörende können dabei unter idealen Bedingungen Pegelunterschiede zwischen 0,5 dB und 1 dB auflösen. Sind Nutz- und Störschallquelle räumlich getrennt, ergeben sich durch den Kopfschatteneffekt für linkes und rechtes Ohr unterschiedliche Signal-Rausch-Abstände (signal to noise ratio, SNR). Kann der Zuhörer beide Ohren nutzen, wird dadurch das „Ausblenden“ einer irrelevanten Schallquelle erleichtert und das Sprachverständnis verbessert. Nach [Hellbrück \(1993\)](#) werden vom auditiven System in komplexen Schallsituationen des Alltags ständig Vergleiche zwischen den an beiden Ohren auftretenden Signalen durchgeführt, dabei nutzt das Hörsystem bei tieffrequenten Signalen vor allem interaurale Zeitdifferenzen, bei hochfrequenten Geräuschen Pegeldifferenzen.

1. Einleitung

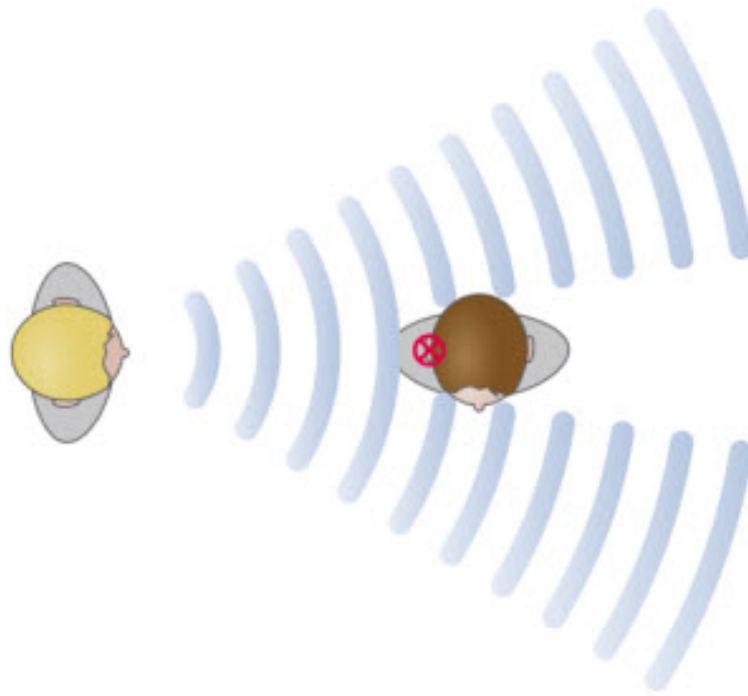


Abbildung 1.2.: Interaurale Schallpegeldifferenz (ILD). Quelle: www.audiologyonline.com

1.2. Sprachverständnis im Störgeräusch

Man unterscheidet zwei Mechanismen der Maskierung von Sprache durch Störgeräusche (Arbogast et al., 2002; Brungart, 2001; Brungart et al., 2001; Helfer und Freyman, 2008): Sogenannte „energetische Masker“ konkurrieren als Stör-signal bereits auf der Ebene der Cochlea mit dem Nutzsinal. Haben beide die gleiche oder eine ähnliche spektrale Struktur, kann auf der Basilarmembran nicht mehr zwischen Stör- und Nutzsinal unterschieden werden. Daher steht nur ein Teil des ursprünglichen Sprachsignals der zentralen Verarbeitung zur Verfügung. Als klassische energetische Masker gelten Rauschsignale mit unterschiedlichem spektralem Inhalt. Im Gegensatz dazu konkurrieren sogenannte „informationelle Masker“ auf höherer auditiver Ebene mit dem Nutzsinal: Obwohl beide durch neuronale Aktionspotentialmuster zentral repräsentiert werden, kommt es durch die qualitative Ähnlichkeit der Stimuli zu Unsicherheiten bezüglich der transportierten Information (Helfer und Freyman, 2008). Informationelle Masker enthalten in der Regel auch eine energetische Maskierungskomponente. Ein typisches Beispiel ist die im Alltag häufig als Störgeräusch vorkommende Sprache (Arbogast et al., 2002; Brungart, 2001; Helfer und Freyman, 2008).

Maskierungseffekte sind am stärksten, wenn die Ursprungsorte von Signal und Masker sehr nahe beieinander liegen und demzufolge kaum interaurale Unterschiede zwischen beiden Stimuli bestehen. In zahlreichen Untersuchungen konnte aufgezeigt werden, dass die räumliche Trennung von Nutz- und Stör-signal bei Normalhörenden zu einer Verbesserung des Sprachverständnisses führt (Arbogast et al., 2002; Brungart und Simpson, 2002; Freyman et al., 2004; Hawley et al., 1999; Helfer und Freyman, 2005). Als ursächlich werden vor allem binaurale Effekte angenommen. Plomp und Mimpen (1981) nannten die beobachtete Verbesserung der Sprachverständnisschwelle durch räumliche Trennung „binaural intelligibility level difference“ (BILD). Eine weitere häufig verwendete Bezeichnung dieses Effektes ist „spatial release from masking“ (SRM, vgl. Freyman et al., 1999). Bei Normalhörenden wird durch eine räumliche Trennung von beispielsweise 90° eine Verbesserung der Sprachverständnisschwelle von bis zu 18 dB für informationelle Masker und bis zu 10 dB für energetische Masker beschrieben. Der Umfang der Veränderung ist im Allgemeinen für informationelle Masker größer (Arbogast et al., 2002; Helfer und Freyman, 2008).

Mehrere Studien zeigten, dass Personen mit Hörschädigung diesen Vorteil der räumlichen Trennung nur in geringerem Umfang nutzen können als Normalhörende. Bronkhorst und Plomp (1989) beobachteten bei ihrer Untersuchung von 17 Testpersonen (Alter 18-45 Jahre) mit symmetrischem sensorineuralem Hörverlust von 24-48,7 dB, dass diese Probanden durch Anhebung der räumlichen Trennung von 0° auf 90° im Durchschnitt zwischen 2,6 dB und 5,1 dB weniger profitierten als eine normalhörende Vergleichsgruppe. Auch Noble et al. (1997) kamen bei ihrer Untersuchung an 88 Versuchspersonen (Alter 69,7 ±10Jahre) mit sensorineuralem Hörverlust zu ähnlichen Ergebnissen. Während in der normalhörenden Kontrollgruppe der beobachtete Gewinn durch die räumliche Trennung von 0° auf ±18° bzw. ±54° bei durchschnittlich 2-4 dB lag, erreichte die Probandengruppe mit Hörverlust im Mittel bei allen Tests schlechtere Ergebnisse und profitierte kaum von der räumlichen Trennung. Die Autoren schrieben diese Beobachtung dem Kopfschatteneffekt zu: Dieser ist besonders effektiv bei Frequenzen über 2-3 kHz und steht damit Personen mit Hochtonhörverlust nur eingeschränkt zur Verfügung. Interessanterweise scheint diese Theorie nicht in gleichem Maße für die Lokalisationsfähigkeit zu gelten. Noble et al. (1997) konn-

1. Einleitung

ten keinen konsistenten Zusammenhang zwischen Lokalisationsfähigkeit und Sprachverständnis im Störgeräusch in ihrem Probandenkollektiv mit Hörschädigung aufzeigen.

1.3. Presbyakusis

Nach [Mlekusch \(2006\)](#) kommt es statistisch gesehen etwa ab dem 50. Lebensjahr zu einer allmählich fortschreitenden Abnahme des Hörvermögens. Genetik, Hypertonie, Arteriosklerose, bestimmte Medikamente wie etwa Sulfonamide, Schleifendiuretika, Cisplatin und Aspirin sowie chronische Lärmexposition spielen dabei eine entscheidende Rolle. Eine häufige Höreinschränkung älterer Erwachsener besteht in der Schwierigkeit, sich in Situationen mit Störlärm auf einen Gesprächspartner zu konzentrieren und dem Gesagten zu folgen, vor allem wenn mehrere Personen an einem Gespräch beteiligt sind. Dies stellt Betroffene in Alltagssituationen wie zum Beispiel bei Familienfesten vor schwerwiegende Probleme. Mit dem akustischen Kontaktverlust geht eine fortschreitende soziale Ausgrenzung einher.

Einen umfassenden Überblick über die bisher bekannten Alterungsmechanismen des auditiven Systems bietet die Aufsatzsammlung von [Gordon-Salant et al. \(2010\)](#): Die Autoren beschreiben Presbyakusis als komplexes Phänomen mit unterschiedlicher interindividueller Ausprägung. Zum Tragen kommen dabei morphologische, chemische, physiologische und kognitive Prozesse. Im Allgemeinen gilt der mit zunehmendem Alter wachsende Hochtonhörverlust als Hauptursache für die von den Betroffenen beklagten Schwierigkeiten beim Sprachverstehen im Störgeräusch.

1.3.1. Physiologie und Zellbiologie der alternden Cochlea

Die Untersuchung von reinen Alterungseffekten der Cochlea gilt als schwierig, da unser auditives System über einen sehr langen Zeitraum unterschiedlichen Umweltfaktoren ausgesetzt ist. Die Schädigung der Hörschnecke durch chronische Lärmexposition und ototoxische Substanzen kann in jedem Lebensalter auftreten und führt vor allem zu einer Beeinträchtigung der Haarzellen. Werden diese beiden Faktoren im Tiermodell kontrolliert, kommt es dennoch zu altersab-

hängigen Veränderungen. In den vergangenen Jahrzehnten wurden eine Reihe von potentiellen Einflussfaktoren untersucht, die an dieser Stelle nur beispielhaft erwähnt werden sollen. Schuknecht (1974) beschrieb vier Typen menschlicher Presbyakusis:

1. Sensorisch: Verlust an Haarzellen und Stützzellen, insbesondere im basalen Bereich der Cochlea
2. Neuronal: Verlust afferenter Neurone der Cochlea
3. Metabolisch: Atrophie der lateralen Wand und Stria vascularis der Cochlea, verbunden mit einem Verlust des endocochleären Potentials
4. Mechanisch: Versteifung der Basilarmembran und des Corti-Organ

Mazurek et al. (2008) listen als Pathomechanismen der Presbyakusis Hypoxie/Ischämie, Radikalbildung/oxidativer Stress, Zelltod und mitochondriale Mutationen auf. Die Bedeutung der einzelnen Faktoren wird bis heute kontrovers diskutiert. Unumstritten ist jedoch die Funktion der lateralen Wand der Cochlea, der eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung des endocochleären Potentials (EP) zukommt. Pathologien dieses Systems führen zu einem verringertem Potential und im Tierversuch zu Audiogrammen, welche denen älterer Menschen gleichen.

1.3.2. Zentrale Alterungsprozesse

Nahezu alle Abschnitte der zentralen Hörbahn sind direkten und sekundären Alterungsprozessen unterworfen. Eine besondere Rolle spielt dabei das GABAerge System: In mehreren Tierversuchen konnte gezeigt werden, dass mit zunehmendem Lebensalter der inhibitorische Neurotransmitter GABA (γ -Aminobuttersäure) abnimmt, was zu einer Verschlechterung der zentralen Verarbeitung auditorischer Signale führt (Syka, 2010). Veränderungen der kognitiven Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter beeinträchtigen zusätzlich das Sprachverständnis in akustisch anspruchsvollen Situationen. Als wichtige Faktoren gelten hierbei die generelle Abnahme der mentalen Leistungsfähigkeit sowie die reduzierte Gedächtnisleistung (Rooij van und Plomp, 1990). Um an einer Konversation mit mehreren Personen effektiv teilzunehmen, ist mehr notwendig als Sprache nur

1. Einleitung

zu verstehen und zu wiederholen. Das Gesagte muss in geräuschvoller Umgebung ggf. aus Hörfragmenten extrahiert, einem Sprecher zugeordnet und im weiteren Verlauf erinnert werden. Parallel dazu erfolgt der Abgleich mit dem eigenen Wissen zum jeweiligen Gesprächsthema sowie die gedankliche Formulierung eines eigenen Kommentars. Die verbale Kommunikation erfordert damit sowohl auditive als auch kognitive Leistungen. In diesem Zusammenhang diskutieren einige Autoren eine vermehrte Anfälligkeit für informationelle Masker (Dubno et al., 2002; Duquesnoy, 1983a; Rajan und Cainer, 2008).

1.3.3. Sprachverständnis und Lokalisationsfähigkeit im höheren Lebensalter

Mit zunehmendem Lebensalter kommt es zu einem Hochtonhörverlust und Anstieg der Sprachverständnisschwelle (Delk et al., 1957; Fletcher, 1950; Harris et al., 1956; Kyle, 1977). Jokinen (1973) beschäftigte sich bereits 1973 mit altersabhängigen Veränderungen des Sprachverständnisses im Störgeräusch: Untersucht wurde das Wortverständnis in Gegenwart von weißem Rauschen bei vier verschiedenen SNRs. Nutz- und Störsignal wurden monaural über Kopfhörer angeboten. Ab dem 40. Lebensjahr kam es zu einer signifikanten Verschlechterung sowohl der Sprachverständnisschwelle als auch der Diskriminationsleistung. Die Altersgruppen ab dem 50. Lebensjahr schnitten in allen Testkonditionen signifikant schlechter ab als jüngere Probanden.

Die Veränderung des Sprachverständnisses durch räumliche Trennung von Nutz- und Störschallquelle in Abhängigkeit vom Lebensalter stand im Mittelpunkt einer Reihe von Untersuchungen (Agus et al., 2009; Helfer et al., 2010; Helfer und Freyman, 2008; Johnstone und Litovsky, 2006; Li et al., 2004; Marrone et al., 2008). Li et al. (2004) verglichen das Verständnis semantisch sinnloser Sätze zweier Probandengruppen unterschiedlichen Alters in Gegenwart eines informationellen (Sprachgemisch) sowie eines energetischen Maskers (Rauschen). Räumliche Trennung von Stör- und Nutzschaquelle führte für den informationellen Masker zu einer deutlicheren Verbesserung des Sprachverständnisses als für den energetischen Masker, das Ausmaß dieses Effektes war jedoch in beiden Altersgruppen vergleichbar. Im Gegensatz dazu kamen Rajan und Cainer (2008) und Helfer et al. (2010) zu dem Schluss, dass ältere Probanden stär-

ker von sinnvoller Störsprache beeinträchtigt werden und einen geringeren Verständnissgewinn durch räumliche Trennung der Schallquellen aufweisen. Nahezu alle Arbeitsgruppen differenzieren in ihren Studien zwar zwischen jüngeren und älteren Probanden, die Altersspanne der eingeschlossenen Personen ist jedoch häufig sehr inhomogen. Auch das Ausmaß des Hörverlustes schwankt erheblich zwischen den einzelnen Studien. Eine Trennung von Effekten der Hörschwelle von reinen Alterseffekten ist damit nicht ausreichend möglich. Darüberhinaus wurden in der Regel nur zwei räumliche Störschallwinkelkonditionen verglichen. Lediglich frühe Arbeiten, z. B. [Plomp und Mimpfen \(1981\)](#), [Festen und Plomp \(1983\)](#), untersuchten den Einfluss verschiedener Einfallswinkel; Alterseffekte wurden hierbei jedoch vernachlässigt.

Der Zusammenhang zwischen verschiedenen Formen des Hörverlustes und der Lokalisationsfähigkeit wurde in zahlreichen Studien untersucht ([Beijen et al., 2007](#); [Ching et al., 2005, 2004](#); [Häusler et al., 1983](#); [Hoesel et al., 2002](#); [Humes et al., 1980](#); [Lorenzi et al., 1999](#); [Newton, 1983](#); [Noble et al., 1994, 1997](#)). Zur altersabhängigen Lokalisationsfähigkeit Normalhörender finden sich im Gegensatz dazu nur wenige Publikationen ([Abel et al., 2000](#); [Baschek, 1979](#); [Dobrev et al., 2011](#)), die übereinstimmend eine Verschlechterung mit zunehmendem Lebensalter fanden.

1.4. Fragestellung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die systematische Erfassung altersabhängiger Veränderungen sowohl der Lokalisationsfähigkeit als auch des Sprachverständnisses im Störgeräusch. Untersucht werden sollten dabei neben verschiedenen Maskertypen (energetisch, informationell) auch unterschiedliche Einfallswinkel. Eine balancierte Geschlechts- und Altersverteilung sowie eine Begrenzung des zugelassenen Hochtonhörverlustes sollte hierbei die Vergleichbarkeit zu späteren Untersuchungen mit Hörgeschädigten unterschiedlicher Altersgruppen gewährleisten.

2. Material und Methoden

2.1. Probanden

In die Untersuchung sollten ausschließlich Probanden mit normalem Hörvermögen ohne Pathologien der Ohren eingeschlossen werden. Vor Versuchsbeginn erfolgte immer eine Ohrmikroskopie und ggf. Reinigung des Gehörganges durch einen Arzt der Universitätsklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten Würzburg. Das Probandenkollektiv bestand aus 48 Testpersonen und setzte sich aus Angestellten und Patienten der Klinik sowie aus dem Bekanntenkreis des Autors zusammen. Für jede Altersdekade zwischen dem 20. und 79. Lebensjahr (3. bis 8. Dekade) wurden acht Probanden eingeschlossen. Innerhalb jeder Altersgruppe wurden vier Männer und vier Frauen getestet.

2.1.1. Hörschwelle

Für jeden Probanden wurde die Reintonhörschwelle seitengetreunt mit dem Audiometer CAD03/1 der Firma Westra Electronic bestimmt. Die Testtöne zwischen 125 Hz und 8000 Hz wurden dem Probanden in Schritten von 5 dB über den zugehörigen Luftleitungskopfhörer DT48 als gepulstes Signal dargeboten. Die für das Alter und Geschlecht der Probanden zulässige Hörschwelle wurde wie folgt festgelegt: Die 10. Perzentile der ISO 7029 ([Internationale Organisation für Normung ISO, 2000](#)) wurde zunächst entsprechend der Standard-Einstellung des Audiometers auf Vielfache von 5 dB aufgerundet. Der zulässige Hochtonhörverlust wurde anschließend an die Grenzwerte von [Abel et al. \(2000\)](#) angepasst. Die daraus resultierenden frequenzspezifischen Hörverluste sind in Tabelle [2.1](#) für die einzelnen Altersgruppen sowie Männer und Frauen zusammengefasst. Der maximal zulässige Hörverlust zwischen 3000 Hz und 8000 Hz betrug 40 dB. Die rechts-links Differenz eines Probanden musste im Mittel geringer als 10 dB sein, Ausreißer von maximal 15 dB in einer Frequenz wurden zugelassen.

2. Material und Methoden

Tabelle 2.1.: Zulässige maximale frequenzspezifische Hörschwelle (in dB HL) für Frauen und Männer der Altersgruppen 20-79

Altersgruppe	Frauen									
	Frequenz [Hz]									
	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
20-29	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15
30-39	10	10	10	10	10	10	10	10	15	15
40-49	10	10	10	10	10	15	15	15	20	25
50-59	15	15	15	15	15	20	20	25	25	25
60-69	15	15	20	20	20	25	30	35	40	40
70-79	20	20	25	25	30	35	40	40	40	40

Altersgruppe	Männer									
	Frequenz [Hz]									
	125	250	500	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
20-29	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15
30-39	10	10	10	10	10	10	10	15	15	20
40-49	10	10	10	10	15	15	20	25	25	25
50-59	15	15	15	15	15	20	25	25	25	25
60-69	20	15	20	20	25	30	40	40	40	40
70-79	20	20	20	25	30	40	40	40	40	40

2.2. Technik

2.2.1. Computer

Als Computer wurde ein Notebook „Latitude E5500“ der Firma Dell verwendet. Es war mit dem Betriebssystem Windows XP, Professional Edition, SP2 ausgestattet. Wichtige technische Daten sind: Intel Core 2 Duo T7250 / 2 GHz, 4 GB RAM, Festplattengröße 160 GB.

2.2.2. Audio-Interface

Es wurde ein Presonus Firestudio Audio-Interface in Verbindung mit zwei Presonus Digimax 8-Kanal-Vorverstärkern genutzt, um die für den Versuchsaufbau erforderlichen neun Lautsprecher-Aktivboxen anzusteuern.

2.2.3. Aktiv-Boxen

Als Lautsprecher wurden Active Control Monitore „M52“ der Firma Klein & Hummel verwendet. Die Maße des Lautsprechers sind $173 \times 120 \times 116$ mm. Nach Angabe des Herstellers zeichnet sich der Active Control Monitor M52 durch das sehr geringe Eigenresonanzverhalten aus. Dadurch wird mit dem hochwertigen Breitbandchassis mit einem Durchmesser von 75 mm (3") bei geringem Klirrfaktor ein ausreichend verzerrungsarmes und neutrales Klangbild über den gesamten Frequenzbereich erreicht.

2.2.4. Software

Zur Datenaufnahme wurde die Software Matlab, Version 7.6.0 (R2008a), verwendet. Matlab ist eine kommerzielle Software des Unternehmens MathWorks zur Lösung mathematischer Probleme und zur graphischen Darstellung der Ergebnisse. Das Programm ist primär für numerische Berechnungen mithilfe von Matrizen ausgelegt.

2.3. Schalltoter Raum

Wie bei [Kaulitz \(2007\)](#) beschrieben, fanden die Versuche in der klinikeigenen „Camera silens“ statt. Diese

„... existiert seit dem Bau der Klinik und dient vorwiegend Forschungszwecken. Durch ihren Aufbau ist die Kammer in hohem Maße reflexionsarm. Glaswollewürfel verschiedener Größen befinden sich am Boden, an den Wänden und unter der Decke. Die inneren Türen eines Doppeltürsystems sind mit verschiedenen großen Schaumstoffkeilen verkleidet. Die Innenmaße der Kammer sind $5 \times 5 \times 4$ Meter. Um ideale Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden während des Versuchs die innere und äußere Tür geschlossen und die Lüftung des Vorraumes ausgeschaltet. So konnten Nebengeräusche auf ein Minimum reduziert werden. Der Schalldruckpegel nicht zu vermeidender Nebengeräusche lag bei weniger als 25 dB. Das Frequenzspektrum befand sich im Tieftonbereich. Es handelte sich am wahrscheinlichsten um Maschinengeräusche.“ ([Kaulitz, 2007](#))

2.4. Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung bestand aus je einem Experiment zur Lokalisationsfähigkeit und einem zum Sprachverständnis. Jeweils vor und nach dem Sprachverständnistest wurde der D2-Konzentrationsleistungstest (s. Abschnitt 2.4.3, S. 20 f.) durchgeführt. Die Reihenfolge der Stimuli bzw. der einzelnen Testkonditionen waren innerhalb der Experimente randomisiert.

2.4.1. Lokalisation

Stimuli

Für das Lokalisationsexperiment wurden drei verschiedene Stimuli verwendet: Ein CCITT-Rauschen und ein Sprachsignal von je einer Sekunde Dauer (siehe Kaulitz, 2007) sowie ein sogenannter „Clicktrain“, bestehend aus zehn Wiederholungen eines Rechteckclicks von 100 μ s Dauer mit einer Wiederholrate von 12,05 Hz (Gesamtdauer = 747 ms).

Versuchsaufbau und -ablauf

Der Proband befand sich im Zentrum eines Halbkreises aus neun Lautsprechern mit einem Radius von 1,5 m (siehe Abbildung 2.1). Die Lautsprecher waren zwischen -90° und $+90^\circ$ äquidistant angeordnet, entsprechend einer jeweiligen Winkeldifferenz von $22,5^\circ$. Den einzelnen Winkelpositionen waren Ziffern von 1 bis 9 zugeordnet. Der Proband wurde angewiesen, während der Stimuluspräsentation den Lautsprecher 5 (entsprechend 0°) visuell zu fixieren und eine Drehung des Kopfes zu vermeiden. Innerhalb des Lokalisationsexperimentes wurden pro Lautsprecher jeweils fünf Wiederholungen eines Stimulustyps bei drei verschiedenen Schallpegeln (55, 60 und 65 dB SPL) angeboten. Die Abfolge der Stimuli war randomisiert. Es wurden also insgesamt 3 Stimuli \times 3 Messpegel \times 9 Lautsprecherpositionen \times 5 Wiederholungen = 405 Testsignale angeboten. Vor Versuchsbeginn erhielt jeder Proband eine schriftliche Instruktion mit folgendem Wortlaut:

„Mit diesem Test wollen wir untersuchen, wie gut Sie erkennen können, aus welcher Richtung ein Geräusch kommt. Sie sitzen in einem Halbkreis von Lautsprechern, die von 1 bis 9 nummeriert sind. Bitte

sitzen Sie gerade und schauen Sie nach vorn auf Lautsprecher 5. Wir werden Ihnen Geräusche vorspielen, die aus einem der 9 Lautsprecher kommen können. Bitte sagen Sie uns, aus welchem Lautsprecher das Geräusch kam. Die Geräusche werden mehrmals angeboten und können aus jedem der 9 Lautsprecher kommen. Die Reihenfolge ist dabei zufällig, so dass auch mehrmals hintereinander derselbe Lautsprecher ein Geräusch abgeben kann. Wenn das Geräusch abgespielt wurde, dürfen Sie den Kopf bewegen, um die Nummer des Lautsprechers zu lesen. Schauen Sie danach bitte immer wieder nach vorn (auf Lautsprecher 5) zurück.“

Das Ergebnis wurde vom Versuchsleiter in das Testprogramm eingegeben. Wiederholungen des Teststimulus oder Rückmeldungen bezüglich der Korrektheit der Antworten waren nicht zulässig. Im Anschluss an das Experiment wurden für jeden Teststimulus verschiedene Fehlermaße - sowohl für den gesamten Test als auch für die individuellen Lautsprecher - berechnet. In der Literatur wurden eine Vielzahl solcher Fehlermaße beschrieben und für unterschiedliche Probandenkollektive verwendet (vgl. [Litovsky, 2011](#)). Zu den gängigsten gehören der mittlere Quadratwurzel-Fehler (root mean square error, RMS), der mittlere absolute Fehler (mean absolute error, MAE) und der Prozentsatz der korrekten Zuordnungen (percent correct, PC). RMS und MAE quantifizieren die Genauigkeit der Antworten in °, die Abweichung des einzelnen (k -ten) geantworteten Winkels ψ_k vom angebotenen Winkel φ_k geht dabei quadratisch in den RMS-Fehler ein, während für die Berechnung des MAE die absolute Differenz verwendet wird. Im Einzelnen wurden die Fehlermaße nach folgenden Formeln berechnet:

$$MAE = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N |\varphi_k - \psi_k| \quad (2.1)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (\varphi_k - \psi_k)^2} \quad (2.2)$$

N repräsentiert dabei die Anzahl der Lautsprecher (hier: 9), während M für die Anzahl der Wiederholungen pro Lautsprecher (hier 5 Wiederholungen \times 3 Pegel = 15) steht.

2. Material und Methoden

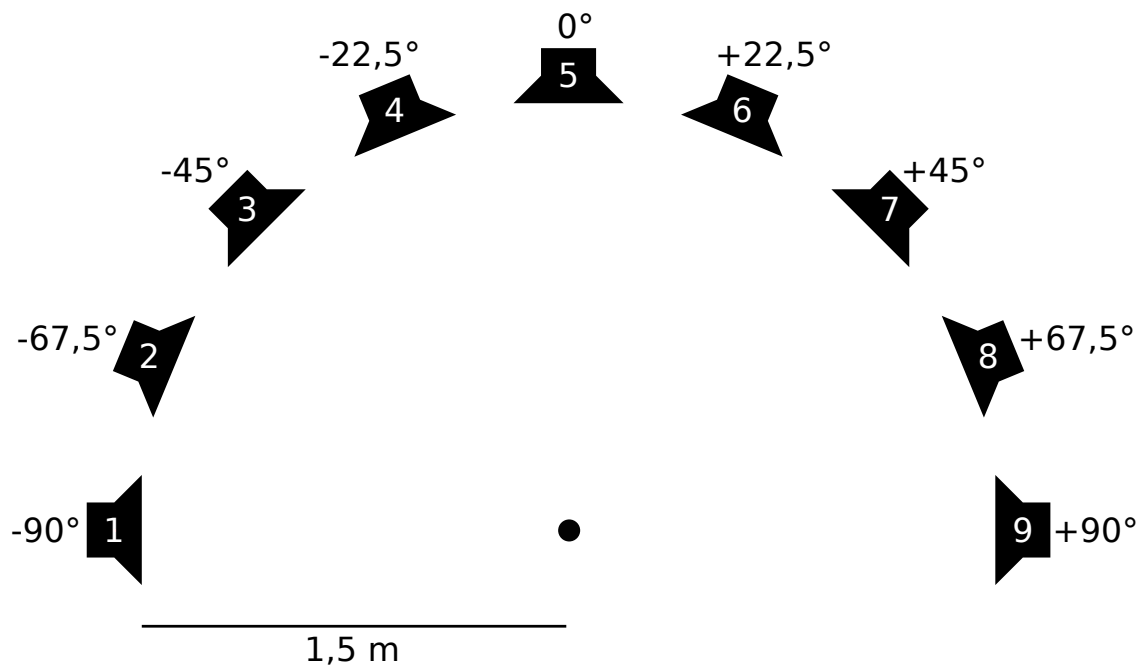


Abbildung 2.1.: Lokalisationsaufbau

2.4.2. Sprachverständnis

Der Sprachverständnistest wurde in Ruhe und in Gegenwart von zwei verschiedenen Störgeräuschen durchgeführt: Zur Anwendung kam zum einen ein CCITT-Rauschen als energetischer Masker, als vorwiegend informationeller Masker wurde ein Gemisch aus zwei männlichen Störsprechern verwendet, das zuvor aus Sätzen der Originalaufsprache des HSM-Satztests (Hochmair-Desoyer et al., 1997) sowie einer im Rahmen einer Dissertation von Dipl.-Ing. S. Brill neu aufgesprochenen Version dieses Testes erzeugt worden war. Die Spitzenpegel der beiden Sprachsignale wurden jeweils aneinander angepasst. Durch Addition von jeweils einem zufällig ausgewählten Satz beider Aufsprachen wurden insgesamt 130 Sprachstimuli erzeugt. Jeweils 30 Stimuli wurden zu insgesamt vier Listen (S1 - S4) zusammengefasst, die übrigen zehn wurden einer Demonstrationsliste zugeordnet.

Oldenburger Satztest

Als Sprachtest wurde in dieser Arbeit der von [Wagener et al. \(1999c\)](#) entwickelte Oldenburger Satztest (OLSA) verwendet. Dieser besteht aus zehn Testlisten und zwei Übungslisten zur Vermeidung des Trainingseffekts, die von einem männlichen Sprecher aufgesprochen wurden. Die Sätze weisen eine gleiche Satzstruktur auf und bestehen jeweils aus Name, Verb, Zahlwort, Adjektiv und Substantiv. Er wurde mit der Intention entwickelt, Unzulänglichkeiten anderer Sprachtests wie dem Marburger Satztest (unvollständige Satzkonstruktionen), Göttinger Satztest (hohe Redundanz der Testsätze) und dem HSM Satztest (niedrige Äquivalenz der Testlisten) auszugleichen. Grundlage für den OLSA ist der Satztest nach [Hagerman \(1982\)](#), welcher auf Grund seiner Entwicklung in schwedischer Sprache nicht ohne Weiteres auf das Deutsche übertragbar ist. Die Anforderungen

1. Durchführbarkeit im Störgeräusch
2. Steile Diskriminationskurve
3. Hohe Anzahl bzw. Wiederholbarkeit der Testlisten
4. Mittlere Sprechgeschwindigkeit der Aufsprache
5. Verwendung gebräuchlicher Umgangssprache

waren nach Optimierung und Evaluierung nach [Wagener et al. \(1999a,b,c\)](#) erfüllt. Das entscheidende Kriterium für die Wahl dieses Tests in der vorliegenden Arbeit war die Wiederholbarkeit. Die Autoren sehen vor, zur Bestimmung der Sprachverständnisschwelle (speech reception threshold, SRT) bei konstantem Störgeräuschpegel den Pegel des Sprechers adaptiv zu verändern. Der SRT wird als Mittelwert der SNRs der letzten 20 angebotenen Sätze berechnet. Im Unterschied zu dieser Methode wurde hier der Pegel des *Sprechers* konstant gehalten und der Störgeräuschpegel variiert. Dies sollte die Realität der „cocktail party“ repräsentieren, in welcher ein Sprecher auch nur nach vorheriger Aufforderung seine Lautstärke erhöht, die Änderung der Lautstärke der Umgebungsgeräusche jedoch nicht beeinflussbar ist. Durch die Anpassung der Störgeräuschlautstärke kann ermittelt werden, wie viel Störlärm der jeweilige Proband toleriert um gerade eben 50 % der angebotenen Stimuli korrekt zu verstehen.

Versuchsaufbau und -ablauf

Der Sprachverständnistest wurde ebenfalls im oben beschriebenen (s. Abschnitt [2.4.1, Lokalisation](#), S. 14) Halbkreis aus Lautsprechern durchgeführt. Alle Nutzstimuli wurden aus Lautsprecher 5 (entsprechend einem Azimuth von 0°) angeboten. Begonnen wurde jeweils mit einer Satzliste ohne Störgeräusch. Hier wurde die Sprachverständnisschwelle in Ruhe durch Anpassung des Signalpegels bestimmt. Im Anschluss wurden die im zweiten Teil der Untersuchung verwendeten Störgeräuschtypen (CCITT-Rauschen und Sprache) jeweils einmal vorgespielt, um den Unterschied zwischen Nutz- und Störstimulus für jeden Probanden eindeutig verständlich zu machen. Die Sprachverständnisschwelle wurde anschließend für beide Störgeräusche und jeweils vier verschiedene Winkel 0° , $22,5^\circ$, 45° und 90° bzw. 0° , $-22,5^\circ$, -45° und -90° , das heißt in insgesamt acht Einzeltests bestimmt. Innerhalb einer Altersgruppe wurden die Störgeräusche für jeweils die Hälfte der Männer und Frauen von rechts bzw. von links angeboten. Die verwendeten Kombinationen illustriert [Abbildung 2.2](#).

Auch für diesen Test wurde jedem Probanden vorab eine schriftliche Instruktion mit folgendem Wortlaut ausgehändigt:

„Mit diesem Test wollen wir untersuchen, wie gut Sie Sätze in schwierigen Hörsituationen verstehen können. Es werden Ihnen kurze Sätze vorgespielt, die immer gleich aufgebaut, aber nicht immer sinnvoll sind, z. B.: „Josef erbt acht kalte Bäume“. Die Sätze werden von einem männlichen Sprecher gesprochen und kommen immer von vorn (Lautsprecher 5). Bitte hören Sie gut zu und sprechen Sie nach, was Sie verstanden haben. Jedes Einzelwort zählt. Damit Sie sich an den Test gewöhnen können, üben wir zunächst ein paar Sätze ohne Störgeräusche. Anschließend wird der Test mit Störgeräuschen durchgeführt: Zusätzlich zu den Sätzen von vorn hören Sie gleichzeitig Störstimmen oder -geräusche aus verschiedenen Richtungen. Bitte achten Sie weiterhin nur auf den Sprecher von vorn und ignorieren Sie die anderen Geräusche. Wir wollen herausfinden, bei welcher Lautstärke Sie gerade eben noch die Hälfte der Wörter verstehen. Deshalb verändert sich die Lautstärke der Störgeräusche. Auch wenn Sie kaum noch etwas verstanden haben, sprechen Sie einfach nach – oder raten Sie – was gesprochen wurde.“

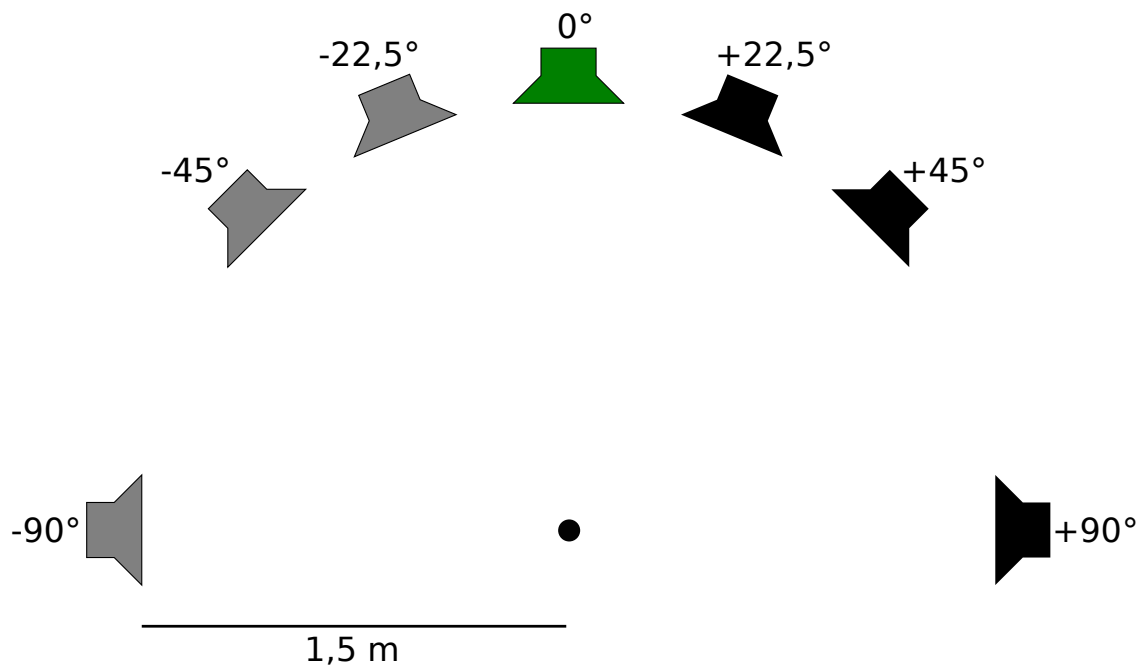


Abbildung 2.2.: Aufbau Sprachtest

Das Ergebnis wurde vom Versuchsleiter in das Testprogramm eingegeben. Wiederholungen des Teststimulus oder Rückmeldungen bezüglich der Korrektheit der Antworten waren nicht zulässig.

Verteilung der Testkonditionen

Es wurden vier unterschiedliche Störschallwinkel in zwei Masker-Konditionen (CCITT-Rauschen und Sprache) untersucht, jeder Winkel sollte innerhalb jeder Altersgruppe mindestens einmal als erstes angeboten werden. Das heißt, pro Altersgruppe sollten mindestens acht Probanden untersucht werden. Zusätzlich wurde vorab festgelegt, die Maskertypen innerhalb einer Testsitzung abwechselnd anzubieten. Innerhalb jeder Altersgruppe sollten folgende Parameter gleich behandelt werden:

- Geschlecht
- Störschallseite
- Reihenfolge der Masker

Für eine echte Randomisierung der oben genannten Konditionen wäre eine sehr hohe Probandenzahl pro Altersgruppe notwendig. Um die statistische Vergleichbarkeit der Altersgruppen zu gewährleisten, wurden unter Einbeziehung

2. Material und Methoden

Tabelle 2.2.: Zusammenstellung der Testblöcke 1-4. Die Maskertypen S1-S4 stehen für die jeweilige Liste des Sprachmaskers.

OLSA-Liste	Block 1		Block 2		Block 3		Block 4	
	Masker	Winkel	Masker	Winkel	Masker	Winkel	Masker	Winkel
1	CCITT	0°	S1	-22,5°	CCITT	-45°	S1	90°
2	S1	45°	CCITT	-90°	S1	0°	CCITT	22,5°
3	CCITT	22,5°	S2	-45°	CCITT	-90°	S2	0°
4	S2	90°	CCITT	0°	S2	-22,5°	CCITT	45°
5	CCITT	45°	S3	-90°	CCITT	0°	S3	22,5°
6	S3	0°	CCITT	-22,5°	S3	-45°	CCITT	90°
7	CCITT	90°	S4	0°	CCITT	-22,5°	S4	45°
8	S4	22,5°	CCITT	-45°	S4	-90°	CCITT	0°

der oben genannten Bedingungen vier verschiedene Testblöcke erstellt (s. Tabelle 2.2). Jeder der vier Blöcke wurde innerhalb einer Altersgruppe je einem Mann und einer Frau angeboten, somit wurden jeweils acht Probanden pro Dekade getestet.

2.4.3. D2-Konzentrationsleistungstest

Der D2-Konzentrationsleistungstest ist ein psychologisches Instrument zur Bewertung der Aufmerksamkeit. Dieser wurde 1962 von [Brickenkamp \(2002\)](#) entwickelt. Im Rahmen der vorliegenden Fragestellung sollte er zur Bemessung einer eventuellen Abnahme der Konzentration bzw. Aufmerksamkeit durch die wiederholte Durchführung des Sprachverständnistests im Störgeräusch dienen. Er wurde daher jeweils unmittelbar vor und nach dem Sprachverständnistest durchgeführt.

Es handelt sich um einen Durchstreichtest mit den Buchstaben d und p, welche in 14 Reihen zu je 47 Zeichen angeordnet sind. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, innerhalb von 20 s möglichst viele der mit zwei Strichen gekennzeichneten d in einer Zeile durchzustreichen. Es dürfen weder d mit mehr oder weniger als zwei Strichen noch der Buchstabe p durchgestrichen werden. Begleitet wurde dieser Test durch den Versuchsleiter, welcher auch die zeitlichen Kommandos zum Beginn und Ende der jeweiligen Testreihe gab. Die Testanlei-

tung sieht zu Beginn eine Übung vor, im Rahmen welcher die Probanden mündlich instruiert werden und Testreihen zur Probe abstreichen. Im Anschluss erfolgt die Kontrolle und erneute Erklärung durch den Testleiter, der genaue Ablauf kann dem Manual entnommen werden (Brickenkamp, 2002).

Nach Durchführung des Tests wurden die Testbögen mit Hilfe einer Schablone ausgewertet. Der qualitative Leistungsaspekt, die Leistungsgüte, ergibt sich dann aus dem Fehlerrohwert (F). Dieser besteht aus den Auslassungsfehlern (F1) und den Verwechslungsfehlern (F2), die addiert und prozentual auf die Leistungsmenge bezogen werden (Messwert F %). Der eigentlich entscheidende Konzentrationsleistungswert (KL) besteht aus der Summe aller zutreffend durchgestrichenen Zeichen, abzüglich der Verwechslungsfehler (F2).

Die Konzentrationsleistungswerte der einzelnen Altersgruppen wurden anschließend statistisch ausgewertet.

2.5. Statistische Analyse

Zur Prüfung der statistischen Zusammenhänge der einzelnen Variablen und Einflussfaktoren wurde eine mehrfaktorielle univariate Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Für die Anwendbarkeit dieses Verfahrens müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein:

1. die abhängige Variable ist metrisch
2. die unabhängigen Variablen sind kategorial mit mindestens zwei Faktorstufen
3. die Stichproben sind normalverteilt
4. die Stichprobenvarianzen sind homogen

Die Versuchsplanung stellt dabei die ersten beiden Bedingungen sicher. Normalverteilung und Varianzhomogenität wurden für jede Fragestellung separat untersucht. Zur Anwendung kamen der Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung sowie der Levene-Test für die Varianzhomogenität. In beiden Fällen sollte die

2. Material und Methoden

Nullhypothese nicht abgelehnt werden ($p > 0,05$), damit die Testvoraussetzungen erfüllt sind. Nach [Bortz \(2010\)](#) ist die Varianzanalyse gegenüber Verletzungen dieser beiden Voraussetzungen relativ robust, sofern gleichgroße Stichproben vorliegen. Auch dieser Punkt wird durch die Versuchsplanung erfüllt. Der Vollständigkeit halber wurden dennoch zu jedem ANOVA-Ergebnis die p-Werte des Shapiro-Wilk-Tests und des Levene-Tests mit angegeben. Für die Post-hoc-Analyse der einzelnen Untergruppen wurde auf den Tukey-Test zurückgegriffen.

3. Ergebnisse

3.1. Hörschwelle der Probanden

Wie in Abschnitt 2.1.1 (Hörschwelle, S. 11) beschrieben, wurden die Probanden entsprechend ihrer Hörschwelle selektiert. Dabei erfolgte bewusst eine Begrenzung des zulässigen Hochtonhörverlustes (s. Tabelle 2.1). Die individuellen Audiogramme der eingeschlossenen Probanden sind dem Anhang zu entnehmen (s. Anhang A, Einzelaudiogramme der Probanden, S. 57 ff.). Einen Überblick über die mittlere Hörschwelle der einzelnen Altersgruppen gibt Abbildung 3.1. In der Literatur wird zur Beschreibung und statistischen Evaluation der Hörschwelle häufig ein Mittelwert aus den vier Frequenzen 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz verwendet. Diese im englischen Sprachraum als „pure tone average“ (PTA) bezeichnete Kennzahl wurde deshalb als Faktor des individuellen Hörvermögens in die statistische Analyse mit einbezogen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der PTA sind in Tabelle 3.1 nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeschlüsselt.

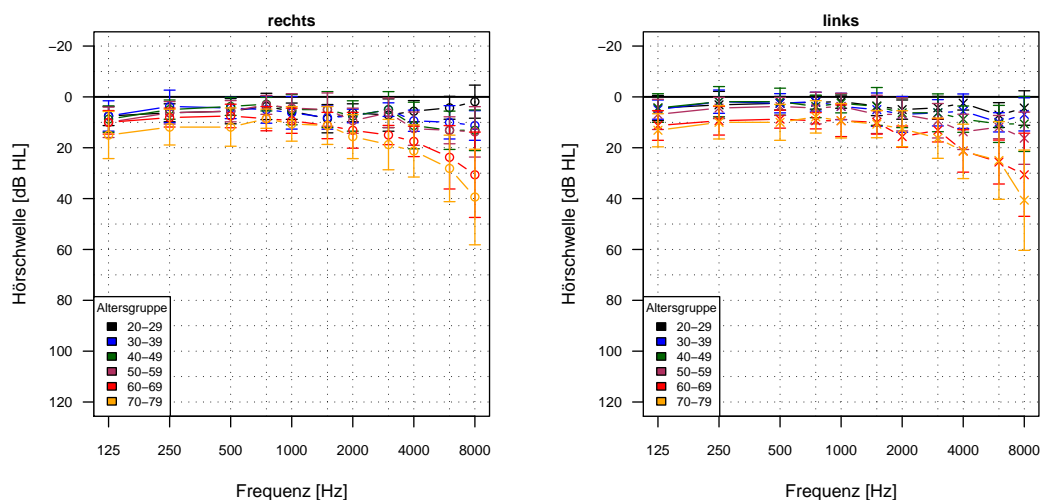


Abbildung 3.1.: Mittelwert der Hörschwellen nach Altersgruppen

3. Ergebnisse

Tabelle 3.1.: 4-Ton PTA [dB HL] nach Altersgruppen und Geschlecht, jeweils Mittelwert \pm Standardabweichung

Altersgruppe	Frauen	Männer	gesamt
20-29	5,6 \pm 2,0	3,1 \pm 0,9	4,4 \pm 1,9
30-39	4,4 \pm 2,3	7,2 \pm 4,3	5,8 \pm 3,5
40-49	8,0 \pm 3,7	3,8 \pm 5,2	5,9 \pm 4,8
50-59	6,7 \pm 2,9	8,3 \pm 5,0	7,5 \pm 3,9
60-69	12,8 \pm 3,0	12,8 \pm 2,4	12,8 \pm 2,5
70-79	10,3 \pm 3,6	17,3 \pm 8,7	13,8 \pm 7,2

Nach den zugrundegelegten Einschlusskriterien wäre eine Geschlechtsdifferenz – insbesondere in den höheren Altersgruppen – innerhalb des Probandenkollektivs möglich. Da lediglich die maximal zulässige Hörschwelle festgelegt wurde, war auch in den höheren Altersgruppen der Einschluss von Probanden ohne einen Hochtonhörverlust sowie einer insgesamt deutlich über der Altersnorm verlaufenden Hörschwelle möglich. Vor der statistischen Analyse der eigentlichen Zielgrößen (Sprachverständnis und Lokalisationsfähigkeit) wurde deshalb zunächst geprüft, ob eine Abhängigkeit der PTA von Alter und Geschlecht vorlag. Zunächst wurde eine mehrfaktorielle univariate Varianzanalyse (ANOVA) als Globaltest genutzt. Im Anschluss erfolgte der statistische Vergleich der einzelnen Faktorstufen durch den Tukey-Test. Wie aus Tabelle 3.2 ersichtlich, hat nur das Probandenalter einen statistisch signifikanten Einfluss auf die PTA ($p < 0,001$). Es lag weder ein signifikanter Einfluss des Geschlechts noch eine Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren vor. Entsprechend dem η^2 von 0,4462 erklärt das Alter nahezu 45 % der Varianz. Im Post-hoc-Test unterscheiden sich die Altersgruppen 60-79 signifikant von den Altersgruppen 20-49. Die der 50-59-Jährigen nimmt eine Mittelstellung ein (s. Tabelle 3.3). Probandenalter und PTA sind signifikant miteinander korreliert ($r = 0,65$, $p < 0,0001$). Für die varianzanalytischen Fragestellungen wurde die numerische PTA in sechs Faktorstufen zu je fünf dB (≤ 5 dB, 5-10 dB usw.) umgewandelt.

Tabelle 3.2.: ANOVA-Ergebnistabelle: Abhängigkeit der Hörschwelle (PTA in dB HL) von Altersgruppe, Geschlecht und Interaktion (Altersgruppe \times Geschlecht). df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Altersgruppe	5	634	7,37	< 0,001	0,4462
Geschlecht	1	7,32	0,43	0,5182	0,0052
Geschlecht \times Altersgruppe	5	160,3	1,86	0,125	0,1129
Residuen	36	619,1			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): p = 0,9622

Varianzhomogenität (Levene-Test): p = 0,0106

Tabelle 3.3.: Post-hoc-Vergleich (Tukey-Test) der Altersgruppen hinsichtlich der Hörschwelle (PTA): Altersgruppen 60-79 unterscheiden sich signifikant von 20-49, 50-59 hat eine Zwischenstellung. Angegeben sind jeweils die p-Werte.

Altersgruppe	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
20-29	0,9867	0,9831	0,7069	0,0048	0,0012
30-39		1,0000	0,9680	0,0278	0,0080
40-49			0,9738	0,0305	0,0088
50-59				0,1677	0,0613
60-69					0,9971

3.2. Sprachverständnis in Ruhe

Eine Übersicht über Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Sprachverständnisschwellen für die einzelnen Altersgruppen aufgeschlüsselt nach dem Geschlecht gibt Tabelle 3.4. Potentielle Einflussfaktoren auf das Sprachverständnis in Ruhe waren in unserem Modell: Alter, Geschlecht sowie die Hörschwelle (PTA). In der ANOVA zeigte sich ein signifikanter Einfluss von Alter und PTA auf das Sprachverständnis in Ruhe. Beide Faktoren erklären zusammen ca. 84% der Gesamtvarianz (s. Tabelle 3.5). Ein weiteres Maß für den statistischen Zusammenhang dieser beiden Faktoren mit dem Sprachverständnis in Ruhe ist die Korrelation: Trägt man SRT in Ruhe gegen PTA (Abbildung 3.2) bzw. Alter (Abbildung 3.3) auf, wird die signifikante Korrelation in beiden Fällen deutlich: Für

3. Ergebnisse

Tabelle 3.4.: SRT in Ruhe (in dB) nach Altersgruppen und Geschlecht, jeweils Mittelwert \pm Standardabweichung.

Altersgruppe	Frauen	Männer	gesamt
20-29	17,9 \pm 2,5	15,3 \pm 1,6	16,6 \pm 2,4
30-39	16,8 \pm 0,7	18,9 \pm 3,8	17,8 \pm 2,8
40-49	18,6 \pm 2,2	17,1 \pm 5,7	17,8 \pm 4,1
50-59	20,0 \pm 3,0	21,0 \pm 2,4	20,5 \pm 2,6
60-69	24,0 \pm 2,9	22,8 \pm 2,1	23,4 \pm 2,4
70-79	21,7 \pm 3,1	30,4 \pm 7,8	26,1 \pm 7,2

Tabelle 3.5.: ANOVA-Ergebnistabelle Sprachverständnisschwelle (SRT) in Ruhe: Abhängige Variable = SRT in dB, Faktoren: Altersgruppe, PTA und Geschlecht. df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Altersgruppe	5	550	20,78	< 0,001	0,4547
PTA	5	467,2	17,65	< 0,001	0,3862
Geschlecht	1	1,92	0,36	0,5509	0,0016
Residuen	36	190,6			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): p = 0,8595

Varianzhomogenität (Levene-Test): p = 0,0089

die Hörschwelle liegt der Korrelationskoeffizient r bei 0,88 (p < 0,001), für das Alter bei 0,68 (p < 0,001). Im Post-hoc-Test zeigte sich auch hier ein signifikanter Unterschied der Altersgruppen 60-79 und 20-49. Die Gruppe 50-59 nimmt wiederum eine Mittelstellung ein (s. Tabelle 3.6).

Tabelle 3.6.: Post-hoc-Vergleich der Altersgruppen: SRT in Ruhe (in dB)

Altersgruppe	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
20-29	0,9757	0,8805	0,0242	<0,001	<0,001
30-39		1,0000	0,2261	<0,001	<0,001
40-49			0,2216	<0,001	<0,001
50-59				0,1547	<0,001
60-69					0,2187

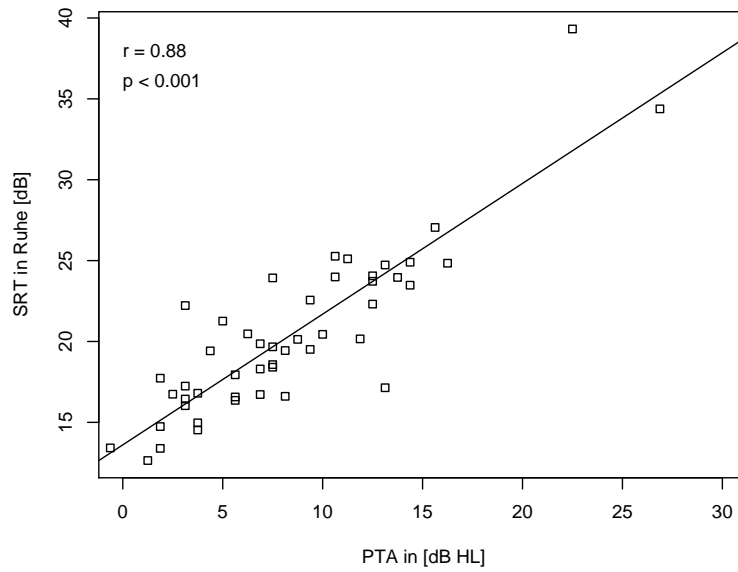


Abbildung 3.2.: Abhängigkeit der Sprachverständnisschwelle in Ruhe (SRT in dB) von der mittleren Hörschwelle (PTA)

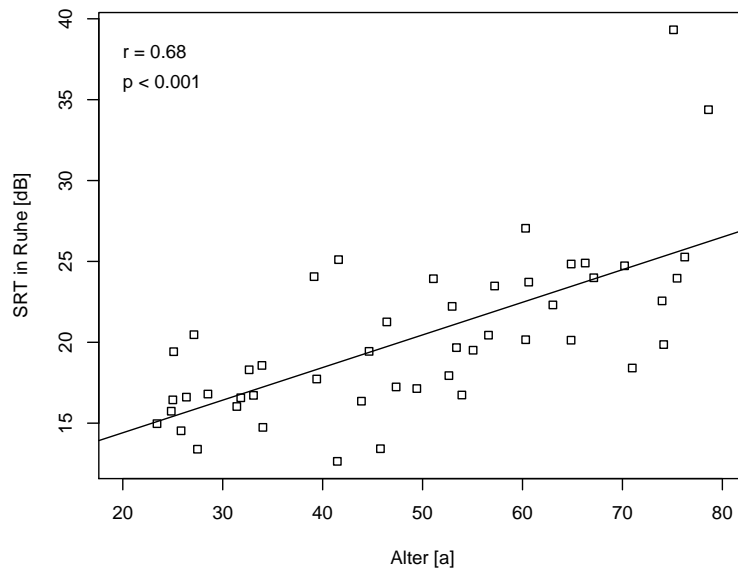


Abbildung 3.3.: Abhängigkeit der Sprachverständnisschwelle in Ruhe (SRT in dB) vom Alter in Jahren

3.3. Sprachverständnis im Störgeräusch

Im Rahmen der Dissertation sollte der Einfluss verschiedener Maskertypen und Störschallwinkel auf das Sprachverständnis in verschiedenen Altersgruppen untersucht werden. Die Mittelwerte und Standardabweichungen, aufgeschlüsselt nach diesen Faktoren, sind in Tabelle 3.7 zusammengefasst. Ergänzt wurde für jeden Winkel $\theta \neq 0^\circ$ die „binaural intelligibility level difference“ (BILD) in dB, das heißt die Differenz zum SRT für $\theta = 0^\circ$.

Dabei stehen negative BILD-Werte für eine Verbesserung der Sprachverständnisschwelle durch räumliche Trennung von Nutz- (immer bei 0°) und Störschallquelle um den jeweiligen Einfallswinkel θ . In der letzten Spalte wurden die p-Werte des gepaarten t-Tests für den Vergleich der beiden Masker-Typen (CCITT-Rauschen und Sprache) hinzugefügt.

Vor der genaueren Betrachtung der einzelnen Faktoren erfolgte die Varianzanalyse für das Gesamtmodell. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.8 zusammengestellt.

3.3.1. Abhängigkeit vom Einfallswinkel und Störschalltyp

Den Einfluss des Einfallswinkels illustrieren Abbildung 3.4 für das CCITT-Rauschen sowie Abbildung 3.5 für die Störsprache. Der grobe Verlauf der SRT-Kurven ist für beide Störgeräushtypen vergleichbar: Die Sprachverständnisschwelle ist für die Kondition Sprache und Störgeräusch von vorn (S_0N_0) am höchsten und entspricht damit der stärksten Maskierung. Werden Signal und Störgeräuschquelle getrennt, kommt es sowohl für das CCITT-Rauschen als auch für die Störsprache zu einer Verbesserung (= Reduktion) der Sprachverständnisschwelle. In der Post-hoc-Analyse (s. Tabelle 3.9 sowie Tabelle 3.10) unterscheiden sich alle Winkelkondition $> 0^\circ$ signifikant von S_0N_0 . Sowohl der Wechsel des Einfallswinkels von 0° zu $22,5^\circ$ als auch von $22,5^\circ$ zu 45° führt zu einer signifikanten Verbesserung des SRT. Die Winkeldifferenz von 45° zu 90° bewirkt hingegen keine weitere signifikante Änderung der Sprachverständnisschwelle. Betrachtet man den durch die Winkeländerung von 0° zu $22,5^\circ$ hervorgerufenen Gewinn (BILD, vgl. Tabelle 3.7), liegt der Mittelwert für das CCITT-Rauschen je

3.3. Sprachverständnis im Störgeräusch

Tabelle 3.7.: Ergebnisse der Sprachverständnistests im Störgeräusch aufgeschlüsselt nach Maskertyp, Altersgruppe und Einfallswinkel θ in $^{\circ}$. BILD = „binaural intelligibility level difference“, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, p = p-Wert für den Vergleich der Maskertypen, gepaarter t-Test.

Alter	θ	CCITT-Rauschen			Sprache			p
		MW	SD	BILD [dB]	MW	SD	BILD [dB]	
20-29	0	-10,4	1,3		-6,6	2,2		0,0077**
	22,5	-14,0	1,7	-3,7	-16,4	2,6	-9,8	0,0447*
	45	-16,7	1,2	-6,3	-19,6	2,3	-13,0	0,0158*
	90	-19,0	1,6	-8,6	-19,7	3,2	-13,1	0,5312
30-39	0	-9,2	1,4		-5,6	2,8		0,0106*
	22,5	-12,5	1,2	-3,3	-14,8	1,1	-9,2	0,0024**
	45	-15,5	1,2	-6,4	-18,0	2,2	-12,4	0,0416*
	90	-17,6	1,5	-8,4	-19,0	2,8	-13,3	0,286
40-49	0	-9,2	2,8		-5,5	4,8		0,0028**
	22,5	-12,9	3,2	-3,6	-15,6	4,7	-10,1	0,0214*
	45	-15,5	3,9	-6,2	-18,3	3,8	-12,9	0,0137*
	90	-17,1	4,6	-7,9	-18,8	3,7	-13,3	0,0372*
50-59	0	-8,4	1,3		-4,5	2,8		0,0031**
	22,5	-10,8	1,6	-2,4	-13,9	1,3	-9,4	0,0011**
	45	-13,6	1,3	-5,2	-16,6	1,8	-12,1	0,0048**
	90	-14,7	2,2	-6,3	-18,3	3,6	-13,8	0,0114*
60-69	0	-5,8	1,8		-3,5	3,5		0,0696
	22,5	-9,6	2,4	-3,8	-11,3	2,6	-7,8	0,1025
	45	-12,2	2,5	-6,5	-14,8	3,0	-11,3	0,0069**
	90	-13,7	2,5	-7,9	-15,3	4,1	-11,8	0,1372
70-79	0	-4,3	0,9		-0,3	1,6		<0,0001***
	22,5	-7,5	1,9	-3,2	-9,4	3,6	-9,1	0,0854
	45	-10,0	1,7	-5,7	-12,2	3,3	-11,9	0,0506
	90	-11,8	2,4	-7,5	-13,3	3,7	-13,0	0,1131

Signifikanzen: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

3. Ergebnisse

Tabelle 3.8.: ANOVA-Ergebnistabelle für das Sprachverständnis im Störgeräusch in Abhängigkeit von Altersgruppe, Geschlecht, PTA, Störgeräusch, Störschallwinkel und Interaktionen. Aufgelistet sind nur die signifikanten Faktoren (vollständige Tabelle s. Anhang B, [Vollständige Ergebnisse der ANOVA](#), S. 63 ff.). df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Störschallwinkel	3	6208	287,2	< 0,001	0,5464
Störgeräusch	1	59,85	8,31	0,0043	0,0053
Altersgruppe	5	1982	55,03	< 0,001	0,1745
PTA	5	280,2	7,78	< 0,001	0,0247
Störschallwinkel × Störgeräusch	3	619,9	28,68	< 0,001	0,0546
Altersgruppe × PTA	7	173,4	3,44	0,0016	0,0153
Residuen	240	1729			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): $p < 0,001$

Varianzhomogenität (Levene-Test): $p = 0,2235$

nach Altersgruppe zwischen -2,4 dB und -3,8 dB, im Gegensatz dazu werden in Gegenwart der Störsprache Mittelwerte zwischen -7,8 dB und -10,1 dB erreicht. Diese Differenz ist hochsignifikant ($p < 0,0001$) und spiegelt sich ebenfalls in der signifikanten Interaktion zwischen Störschallwinkel und Störgeräuschtyp wider (ANOVA, Ergebnisse s. Tabelle 3.8). In der graphischen Darstellung entspricht dies dem Kreuzen der Verbindungslinien der beiden Störschalltypen zwischen 0° und $22,5^\circ$ (s. Abbildung 3.6). Für die Winkelkondition 0° wurden für den Störgeräuschtyp Sprache signifikant höhere SRTs gemessen als für das CCITT-Rauschen. Das heißt, der überwiegend informationelle Masker Sprache reduziert bei Darbietung ohne räumliche Trennung die Wahrnehmung des Nutzsignals stärker als der energetische Masker (CCITT-Rauschen). Für alle übrigen Winkelkonditionen ist das Gegenteil der Fall: Die Sprachverständnisschwelle ist in Gegenwart von Sprache niedriger als in Anwesenheit von CCITT-Rauschen.

3.3. Sprachverständnis im Störgeräusch

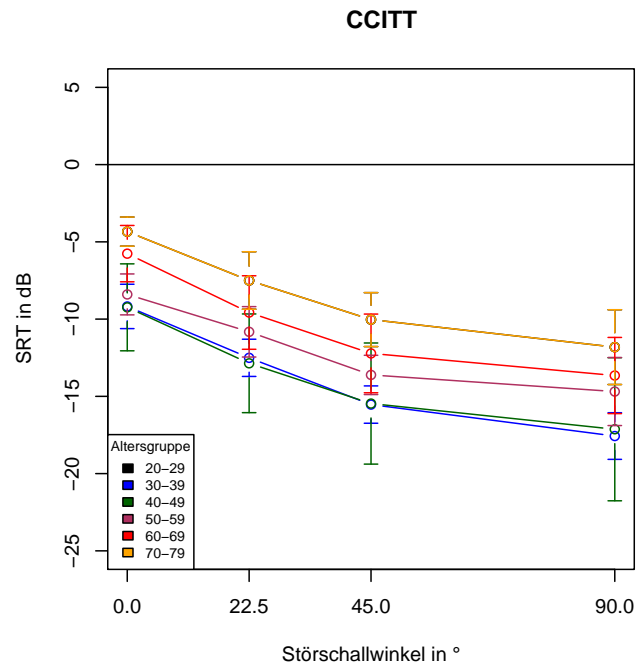


Abbildung 3.4.: Abhängigkeit der Sprachverständnisschwelle im Störgeräusch (CCITT-Rauschen, SRT in dB) vom Störschallwinkel, Altersgruppen farbig markiert

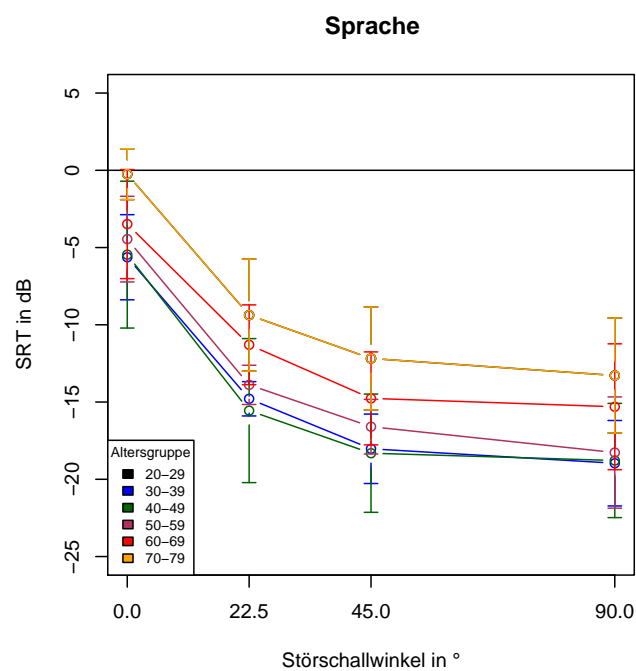


Abbildung 3.5.: Abhängigkeit der Sprachverständnisschwelle im Störgeräusch (Sprache, SRT in dB) vom Störschallwinkel, Altersgruppen farbig markiert

3. Ergebnisse

Tabelle 3.9.: Post-hoc-Test (Tukey): SRT in Abhängigkeit vom Störschallwinkel, Störgeräusch: CCITT-Rauschen

Störschallwinkel	22,5°	45°	90°
0°	<0,001	<0,001	<0,001
22,5°		<0,001	<0,001
45°			0,0165

Tabelle 3.10.: Post-hoc-Test (Tukey): SRT in Abhängigkeit vom Störschallwinkel, Störgeräusch: Sprache

Störschallwinkel	22,5°	45°	90°
0°	<0,001	<0,001	<0,001
22,5°		<0,001	<0,001
45°			0,7610

3.3.2. Abhängigkeit vom Lebensalter

Betrachtet man die Sprachverständnisschwellen in Abhängigkeit vom Lebensalter (Einzeldarstellung: Abbildung 3.6 bzw. nach Störgeräuschtyp: Abbildung 3.4 sowie Abbildung 3.5), imponiert ein nahezu identischer Kurvenverlauf für die einzelnen Altersgruppen. Wie aus Tabelle 3.11 und Tabelle 3.12 ersichtlich, gibt es für die Altersgruppen 20-49 keinen signifikanten Unterschied, während sich die Altersgruppen zwischen 50 und 79 untereinander signifikant unterscheiden. Die SRT-Kurven wirken für diese Altersgruppen wie zu höheren SRTs hin parallel verschoben. Der Gewinn durch die räumliche Trennung der Schallquellen (BILD) ist für jede Altersgruppe gleich (s. Tabelle 3.7).

3.3. Sprachverständnis im Störgeräusch

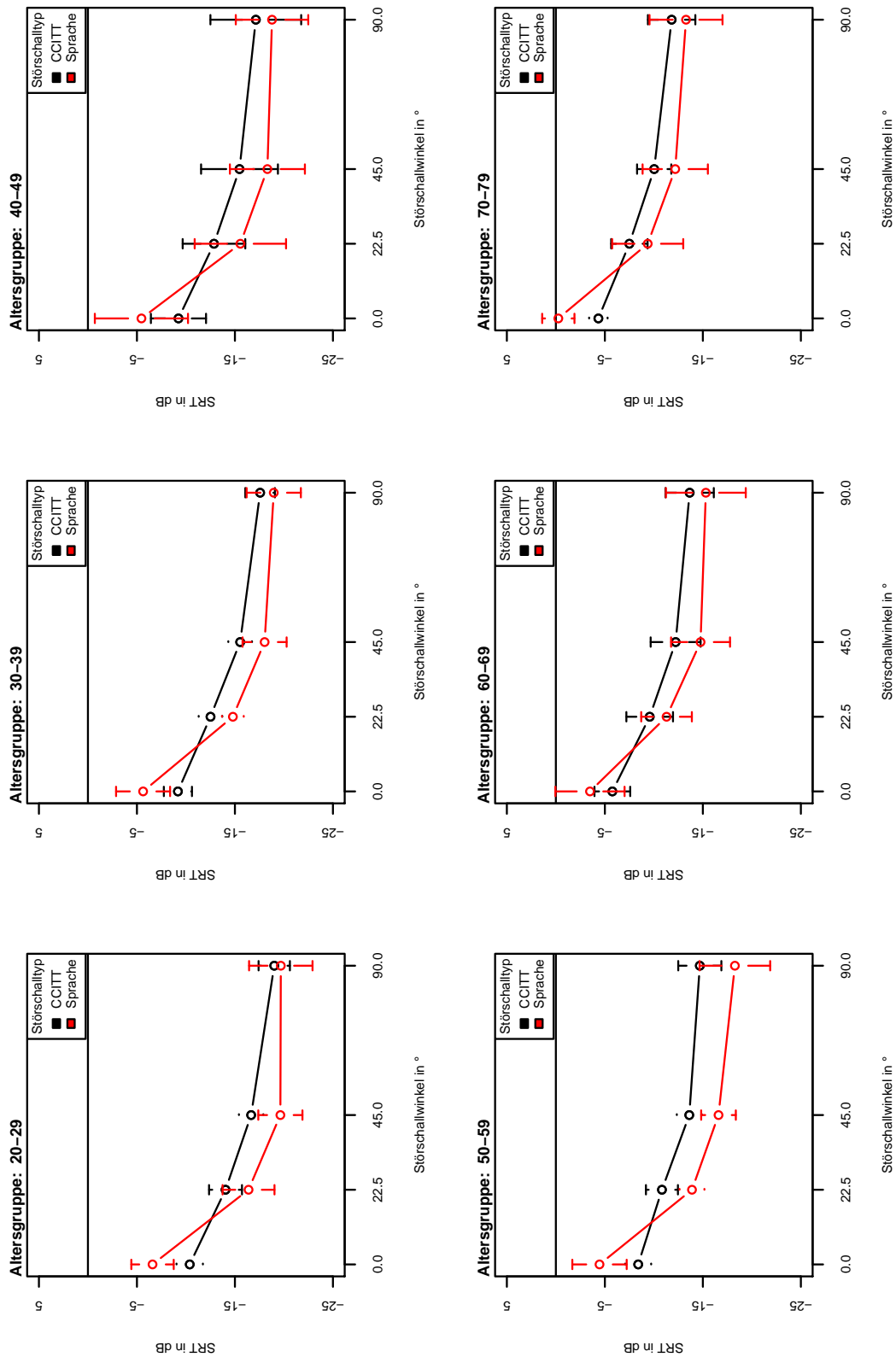


Abbildung 3.6.: Abhängigkeit der Sprachverständnisschwelle im Störgeräusch (rot: Sprache, schwarz: CCITT-Rauschen, SRT in dB) vom Störschallwinkel nach Altersgruppen aufgeschlüsselt

3. Ergebnisse

Tabelle 3.11.: Post-hoc-Vergleich der Altersgruppen: SRT im Störgeräusch (CCITT-Rauschen)

Altersgruppe	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
20-29	0,5856	0,5586	<0,001	<0,001	<0,001
30-39		1,0000	0,1324	<0,001	<0,001
40-49			0,1451	<0,001	<0,001
50-59				0,3065	<0,001
60-69					0,1007

Tabelle 3.12.: Post-hoc-Vergleich der Altersgruppen: SRT im Störgeräusch (Sprache)

Altersgruppe	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
20-29	0,7018	0,8658	0,0149	<0,001	<0,001
30-39		1,0000	0,8642	<0,001	<0,001
40-49			0,6994	<0,001	<0,001
50-59				0,0384	<0,001
60-69					0,0057

3.4. Lokalisation

Im Rahmen des Lokalisationsexperimentes mussten die Probanden den wahrgenommenen Lautsprecher benennen, aus dem einer der drei Teststimuli (CCITT-Rauschen, Sprache oder Clicktrain, s. Abschnitt [2.4.1 Lokalisation](#), S. 14) angeboten wurde. Nach Abschluss des Experimentes wurden aus den Antworten des Probanden für jeden Stimulustyp die Fehlermaße RMS, MAE und PC sowohl für das Gesamtexperiment als auch für jeden einzelnen Lautsprecher berechnet. Im Folgenden wird zur Veranschaulichung der Ergebnisse beispielhaft der RMS-Wert dargestellt, alle Effekte waren für die übrigen Fehlermaße (MAE, PC) in gleicher Weise zu beobachten. Eine Veränderung der Signifikanz durch Auswahl eines anderen Fehlermaßes ergab sich für keine der beschriebenen Analysen.

3.4.1. Gesamtlokalisationsfähigkeit

Abhängigkeit vom Stimulustyp

In Tabelle [3.13](#) sind die Mittelwerte der berechneten Fehlermaße für jeden Stimulustyp aufgeschlüsselt nach Altersgruppen zusammengestellt. Die mittlere altersabhängige Veränderung der Lokalisationsfähigkeit – hier am Beispiel des RMS – in Abhängigkeit vom Stimulustyp illustriert Abbildung [3.7](#). Bei oberflächlicher Betrachtung scheint sowohl ein Zusammenhang mit dem Lebensalter als auch dem Stimulustyp zu bestehen: So scheint es im Mittel mit steigendem Alter zu einem Anstieg der Fehlerrate zu kommen. Während CCITT-Rauschen und Sprache für die Altersgruppen bis 69 Jahre ähnliche RMS-Werte aufweisen, scheint der Fehlerwinkel für den Clicktrain größer. In der Altersgruppe 70-79 Jahre liegen wiederum Sprache und Clicktrain näher beieinander und führen zu mehr Fehlern als die Lokalisation von CCITT-Rauschen. Die Absolutgröße der Fehler ist insgesamt jedoch sehr gering. Diesen Effekt scheint die Varianzanalyse zunächst zu bestätigen: In der ANOVA sind sowohl Altersgruppe als auch Stimulustyp signifikante Einflussfaktoren (s. Tabelle [3.14](#)). Die Post-hoc-Analyse zeigt beim Einzelvergleich der Altersgruppen für jeden Stimulustyp bzw. beim Vergleich der einzelnen Stimulustypen innerhalb einer Altersgruppe jedoch keinen signifikanten Unterschied.

3. Ergebnisse

Tabelle 3.13.: Ergebnisse des Lokalisationstests aufgeschlüsselt nach Stimulustyp und Altersgruppe (jeweils Mittelwert \pm Standardabweichung), Maße: RMS = Root Mean Square (mittlerer Quadratwurzel-Fehler), MAE = Mean Absolute Error (mittlerer absoluter Fehler), PC = Percent Correct (Prozentsatz der korrekten Antworten)

Altersgruppe	Stimulus	RMS	MAE	PC
20-29	Clicktrain	7,1 \pm 2,0	2,4 \pm 1,2	89,3 \pm 5,5
	CCITT	4,5 \pm 2,3	1,1 \pm 1,1	95,0 \pm 4,7
	Sprache	3,2 \pm 1,7	0,6 \pm 0,5	97,5 \pm 2,1
30-39	Clicktrain	6,3 \pm 2,8	2,0 \pm 1,9	91,2 \pm 8,6
	CCITT	2,7 \pm 2,2	0,5 \pm 0,6	97,8 \pm 2,7
	Sprache	3,0 \pm 1,1	0,4 \pm 0,3	98,1 \pm 1,5
40-49	Clicktrain	5,6 \pm 4,1	2,0 \pm 1,8	90,9 \pm 8,2
	CCITT	2,6 \pm 2,4	0,5 \pm 0,6	97,6 \pm 2,5
	Sprache	2,1 \pm 2,5	0,4 \pm 0,6	98,1 \pm 2,8
50-59	Clicktrain	7,5 \pm 2,6	2,8 \pm 1,9	87,7 \pm 8,6
	CCITT	4,3 \pm 1,8	1,0 \pm 0,9	95,7 \pm 3,8
	Sprache	5,0 \pm 2,3	1,3 \pm 1,1	94,2 \pm 4,9
60-69	Clicktrain	8,7 \pm 6,5	3,8 \pm 5,1	85,3 \pm 16,5
	CCITT	4,8 \pm 6,6	2,0 \pm 4,7	92,6 \pm 17,1
	Sprache	5,3 \pm 5,7	1,9 \pm 3,9	92,6 \pm 14,4
70-79	Clicktrain	10,5 \pm 3,6	4,6 \pm 2,7	80,6 \pm 11,7
	CCITT	5,2 \pm 4,1	1,9 \pm 2,3	91,8 \pm 10,0
	Sprache	11,3 \pm 13,9	6,3 \pm 10,8	81,9 \pm 23,6

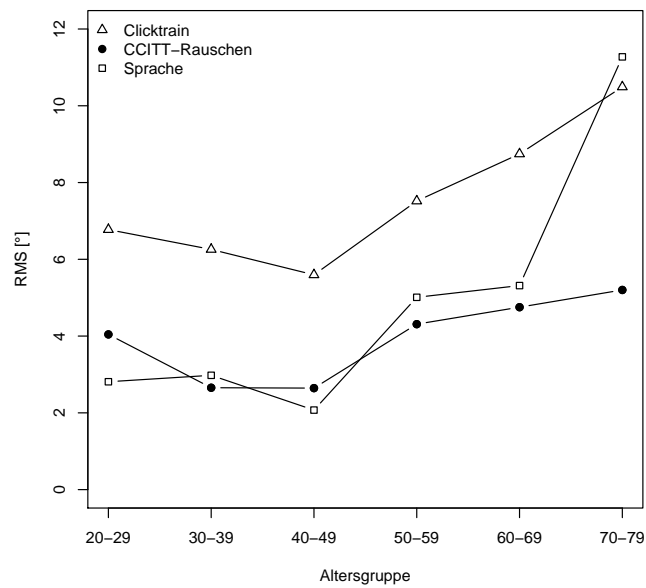


Abbildung 3.7.: RMS in Abhängigkeit vom Stimulustyp aufgeschlüsselt nach Altersgruppen (Mittelwert)

Tabelle 3.14.: ANOVA-Ergebnistabelle: Abhängige Variable = RMS, Faktoren: Altersgruppe, Stimulustyp und Interaktion. df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Altersgruppe	5	472,6	4,13	0,0016	0,1232
Stimulus	2	335,2	7,33	< 0,001	0,0874
Altersgruppe × Stimulus	10	145,5	0,64	0,7805	0,0379
Residuen	126	2882			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): $p < 0,001$

Varianzhomogenität (Levene-Test): $p = 0,2632$

Abhängigkeit von Pegel und Versuchsdauer

Zusätzlich wurde der Einfluss des Stimulationspegels sowie der Versuchsdauer (Verlauf über die fünf Messwiederholungen pro Pegel) untersucht. Den Altersverlauf der Mittelwerte zeigen Abbildung 3.8 sowie Abbildung 3.9. Die Varianzanalyse ergab keinen signifikanten Einfluss beider Faktoren auf die Fehlermaße.

3. Ergebnisse

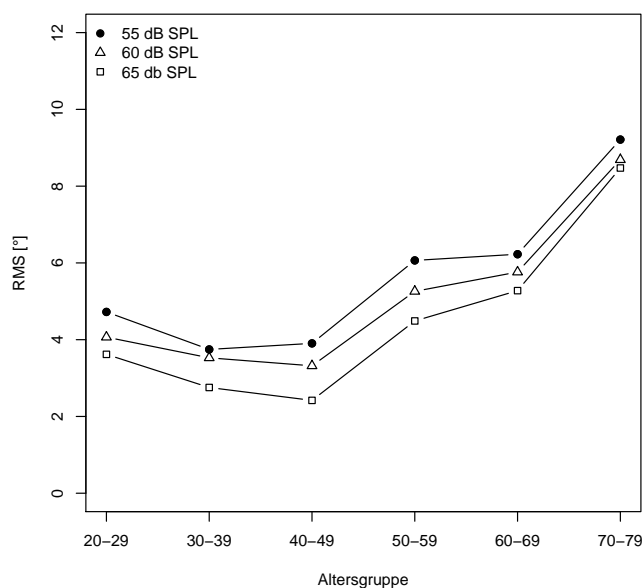


Abbildung 3.8.: RMS (Mittelwert) in Abhängigkeit vom Pegel aufgeschlüsselt nach Altersgruppen

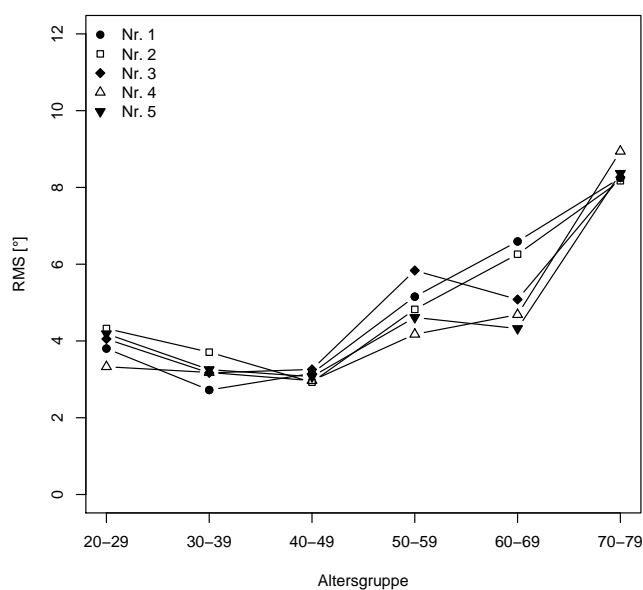


Abbildung 3.9.: RMS (Mittelwert) in Abhängigkeit vom Testdurchlauf (Messungsnummer) aufgeschlüsselt nach Altersgruppen. Mittlere Durchlaufzeiten (in min): 6,12 (Nr. 1), 5,68 (Nr. 2), 5,57 (Nr. 3), 5,53 (Nr. 4), 5,44 (Nr. 5)

Tabelle 3.15.: ANOVA-Ergebnistabelle: Abhängige Variable = RMS, Faktoren: Altersgruppe, Stimulustyp, Lautsprecherposition und Interaktion. df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Altersgruppe	5	2822	15,09	< 0,001	0,0474
Stimulus	2	1656	22,14	< 0,001	0,0278
Lautsprecher (LS)	8	7628	25,49	< 0,001	0,1281
Altersgruppe × Stimulus	10	886,5	2,37	0,0089	0,0149
Altersgruppe × LS	40	1350	0,9	0,6457	0,0227
Stimulus × LS	16	1645	2,75	< 0,001	0,0276
Altersgruppe × Stimulus × LS	80	1154	0,39	1	0,0194
Residuen	1134	42410			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): $p < 0,001$

3.4.2. Lokalisationsfähigkeit in Abhängigkeit von der Lautsprecherposition

Um den Einfluss der Lautsprecherposition auf den Lokalisationsfehler zu untersuchen, wurde erneut eine Varianzanalyse durchgeführt. Tabelle 3.15 fasst die Ergebnisse der ANOVA zusammen. Es zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Lautsprecherposition, mit einer Varianzaufklärung von 12%. Die weiteren signifikanten Einflussfaktoren Altersgruppe, Stimulustyp sowie die Interaktion Stimulustyp und Lautsprecher sind deutlich nachrangig. Die Verteilung der Fehler für die einzelnen Altersgruppen und Stimulustypen illustriert Abbildung 3.10. Für alle Altersgruppen waren Stimuli aus den äußeren beiden Lautsprechern (-90° , $-67,5^\circ$, $67,5^\circ$, 90°) am schwierigsten zu lokalisieren. Während Probanden bis 59 Jahre Stimuli aus den zentralen Lautsprechern ($-22,5^\circ$, 0° und $22,5^\circ$) nahezu perfekt zuordnen konnten, stieg die Fehlerhäufigkeit in den beiden ältesten Probandengruppen (60-79) deutlich an.

3. Ergebnisse

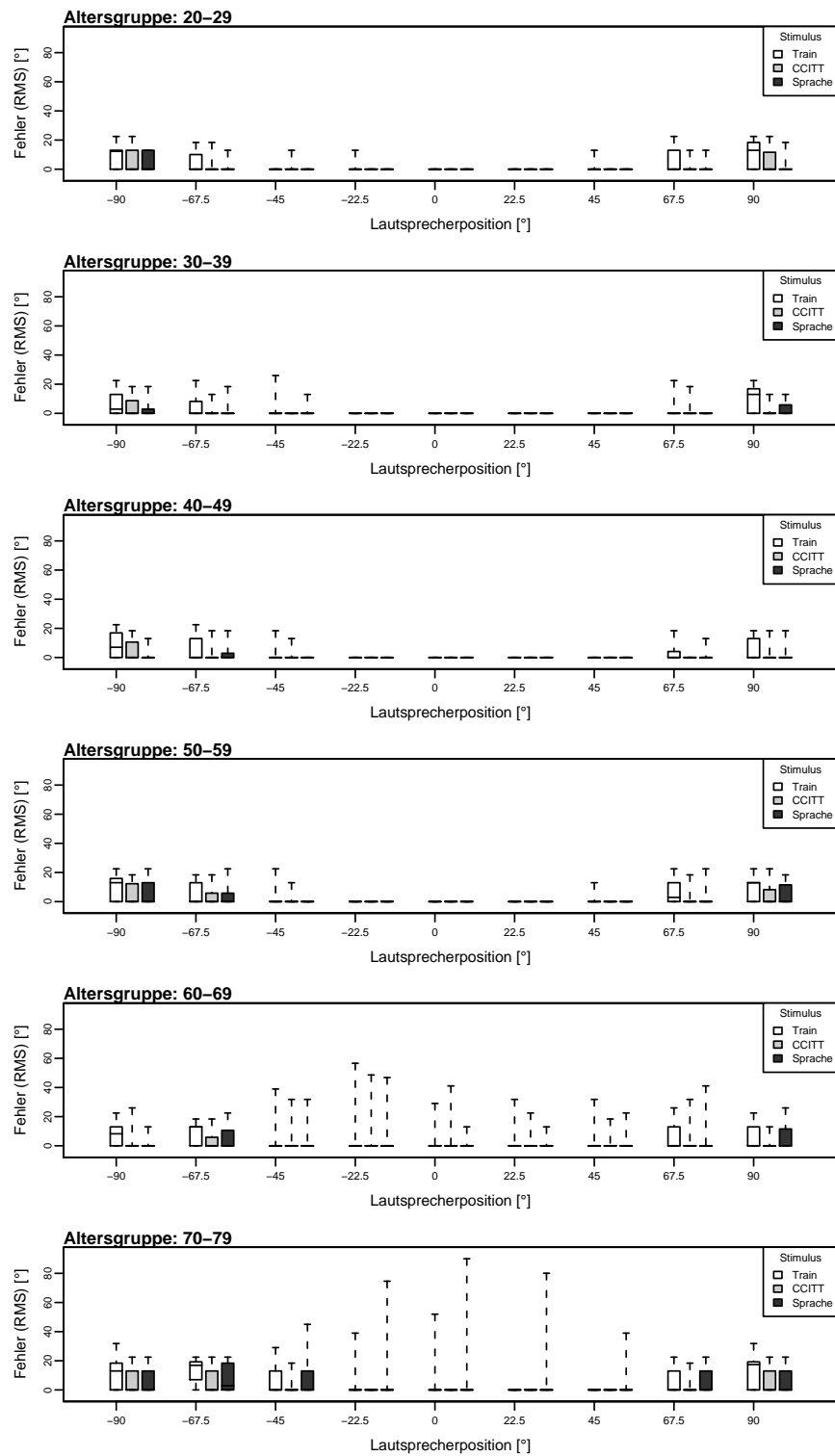


Abbildung 3.10.: RMS in Abhängigkeit von der Lautsprecherposition nach Altersgruppen

3.5. Zusammenhang zwischen Lokalisation und Sprachverständnis

Tabelle 3.16.: Korrelationsübersicht: RMS vs. SRT im Störgeräusch

RMS Sprache	Winkel [°]	Störgeräusch			
		Sprache		CCITT- Rauschen	
		R	p-Wert	R	p-Wert
RMS	0	0,29	< 0.05	0,35	< 0.05
	22,5	0,52	< 0,001	0,39	< 0,01
	45	0,48	< 0,001	0,42	< 0,01
	90	0,40	< 0,01	0,47	< 0,001
CCITT	0	0,21	n.s.	0,12	n.s.
	22,5	0,28	n.s.	0,17	n.s.
	45	0,14	n.s.	0,28	n.s.
	90	0,22	n.s.	0,32	<0,05

3.5. Zusammenhang zwischen Lokalisation und Sprachverständnis

Zur Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der Lokalisationsfähigkeit auf das Sprachverständnis im Störgeräusch erfolgte die Korrelationsanalyse für die beiden Stimuli CCITT-Rauschen und Sprache. Als Maß für die Lokalisationsfähigkeit wurde der RMS-Fehler des Gesamttests mit dem SRT im Störgeräusch (CCITT-Rauschen oder Sprache) für die einzelnen Einfallswinkel zwischen 0° und 90° korreliert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.16 zusammengefasst. Die Lokalisationsfähigkeit von Sprache ist für alle Einfallswinkel und beide Maskertypen signifikant, jedoch nur schwach ($r < 0,5$) mit dem Sprachverständnis im Störgeräusch korreliert. Für den Lokalisationsfehler beim Stimulus CCITT-Rauschen fand sich lediglich für die Korrelation mit dem Sprachverständnis im Rauschen bei einem Einfallswinkel von 90° ein schwach signifikanter Zusammenhang. Auch hier lagen nur sehr kleine Korrelationskoeffizienten vor.

3.6. D2-Konzentrationsleistungstest

Der D2-Test wurde jeweils vor und nach dem Sprachverständnistest durchgeführt. Dadurch sollte ein eventueller Abfall der Konzentrationsleistung (KL) über die Dauer des Gesamtversuchs von 90-120 min erfasst werden. Die Einzelergebnisse finden sich in Tabelle 3.17 und sind für beide Zeitpunkte nach Altersgruppen in Abbildung 3.11 dargestellt. Sowohl Untersuchungszeitpunkt als auch Altersgruppe beeinflussen signifikant die Konzentrationsleistung: Mit zunehmendem Lebensalter nimmt die KL ab, die Ergebnisse des zweiten Zeitpunktes liegen für alle Altersgruppen signifikant über denen des ersten Zeitpunktes, die Verbesserung betrug im Mittel $18,4\% \pm 14,5\%$. Die Ergebnisse der ANOVA sind in Tabelle 3.18 zusammengefasst. Die Differenz der Leistungen vor bzw. nach dem Sprachtest war jedoch vom Alter unabhängig ($r = -0,18$, $p = 0,2043$).

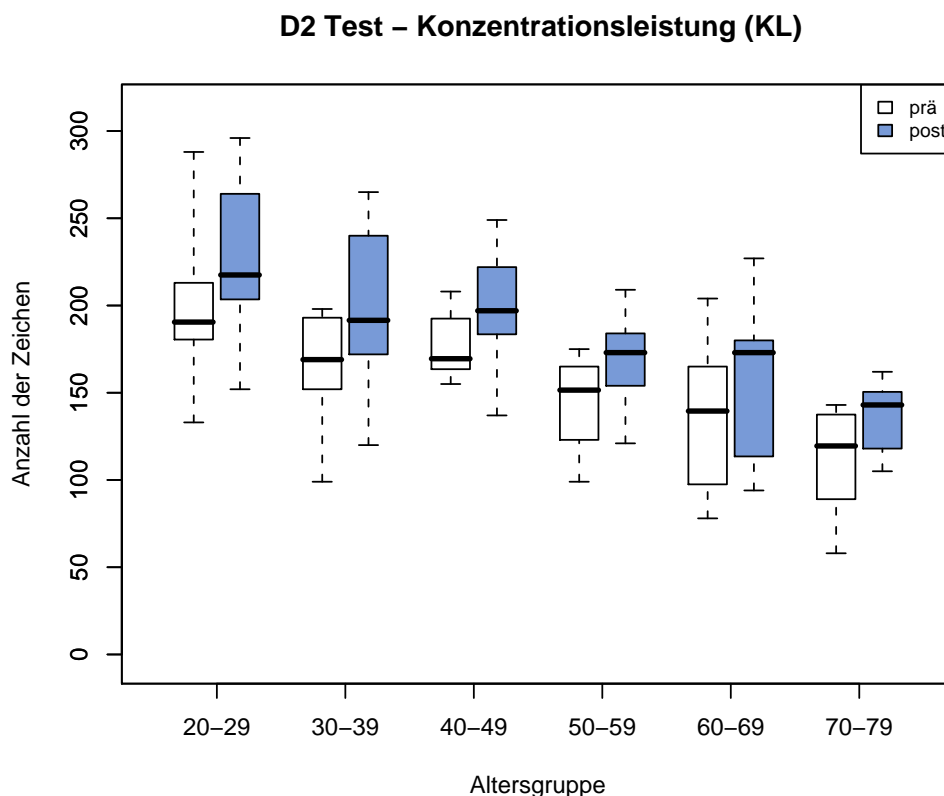


Abbildung 3.11.: Konzentrationsleistung vor („prä“) und nach („post“) Durchführung des Sprachtests aufgeschlüsselt nach Altersgruppen

Tabelle 3.17.: Ergebnisse des D2-Tests, F1 = Auslassungsfehler, F2 = Verwechslungsfehler, GZ = Gesamtzahl der bearbeiteten Zeichen, KL = Konzentrationsleistung, KL_{diff} = Differenz der Konzentrationsleistungen zum Zeitpunkt a und b, a = Messung vor Beginn des OLSA, b = Messung nach Abschluss des OLSA

		20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
F1	(a)	26,5 ± 27,8	20,6 ± 25,3	15,9 ± 9,0	23,9 ± 11,1	28,6 ± 25,6	23,8 ± 28,4
	(b)	26,2 ± 28,6	14,6 ± 17,4	16,6 ± 12,1	21,4 ± 9,7	29,2 ± 24,2	12,8 ± 9,1
F2	(a)	0,1 ± 0,4	0,2 ± 0,5	0,5 ± 0,8	1,4 ± 1,6	1,2 ± 2,5	4,1 ± 5,0
	(b)	0,2 ± 0,5	0,8 ± 1,0	0,9 ± 1,4	0,5 ± 0,9	0,8 ± 0,5	1,0 ± 1,7
GZ	(a)	524,6 ± 60,7	446,0 ± 91,4	459,1 ± 39,3	418,8 ± 60,5	385,4 ± 145,9	336,9 ± 52,9
	(b)	581,6 ± 50,1	497,9 ± 98,5	508,4 ± 65,4	459,9 ± 59,7	433,4 ± 141,2	357,4 ± 54,9
KL	(a)	198,6 ± 44,0	165,6 ± 33,1	176,8 ± 19,0	144,1 ± 27,7	135,8 ± 43,7	111,6 ± 31,9
	(b)	227,2 ± 47,2	199,0 ± 47,4	198,9 ± 35,3	169,0 ± 26,4	156,8 ± 45,3	136,2 ± 20,2
KL_{diff}	(abs.)	28,6 ± 20,9	33,4 ± 18,2	22,1 ± 21,1	24,9 ± 9,8	21,0 ± 10,6	24,6 ± 14,9
	[%]	14,9 ± 9,9	19,6 ± 8,0	12,0 ± 12,0	18,3 ± 9,8	16,7 ± 8,3	28,6 ± 27,7

Tabelle 3.18.: ANOVA-Ergebnistabelle: Abhängigkeit der Konzentrationsleistung (KL) von Altersgruppe, Zeitpunkt der Messung sowie Interaktion (Altersgruppe × Zeitpunkt). df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Altersgruppe	5	82590	12,41	< 0,001	0,392
Zeitpunkt	1	15940	11,98	< 0,001	0,0756
Altersgruppe × Zeitpunkt	5	416,6	0,06	0,9973	0,002
Residuen	84	111800			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): p = 0,6785

Varianzhomogenität (Levene-Test): p = 0,5878

4. Diskussion

In zahlreichen Studien wurde eine klare Korrelation zwischen Alter, Hörvermögen und Sprachverständnis gefunden (Delk et al., 1957; Fletcher, 1950; Harris et al., 1956; Jokinen, 1973; Kyle, 1977). Die beobachtbaren Defizite werden hauptsächlich dem Hörverlust im Bereich der höheren Frequenzen zugeschrieben. Jedoch klagen einige ältere Probanden über Verständnisprobleme im Alltag, auch wenn ihre Reinton-Hörschwellen im Normbereich liegen.

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Veränderung von Lokalisationsfähigkeit und Sprachverständnis im Störgeräusch in Abhängigkeit vom Lebensalter weitgehend unabhängig vom Hörverlust. Experimentelle Grundlage war die Untersuchung von 48 normalhörenden Probanden der dritten bis achten Lebensdekade.

Wie in Abschnitt 2.1 (Probanden, S. 11) beschrieben, wurde der zulässige Hochtonhörverlust der eingeschlossenen Studienteilnehmer begrenzt. In der Literatur findet man bei Untersuchungen von größeren Probandenzahlen zusätzlich geschlechtsspezifische Unterschiede, sowohl für die Hörschwelle als auch für das Sprachverständnis (Dubno et al., 2008). Im Mittel kommt es bei Männern zu einem größeren Abfall der Hörschwelle in den höheren Frequenzen als bei Frauen. Berücksichtigt man die individuelle Lärmexposition, relativiert sich dieser geschlechtsspezifische Unterschied (Jerger, 1993).

In der Analyse der Audiogramme der Probanden konnten keine Geschlechtsunterschiede festgestellt werden. Einziger signifikanter Einflussfaktor auf die mittlere Hörschwelle (pure tone average, PTA) ist das Alter mit einer Varianzaufklärung von rund 45 % (s. Tabelle 3.2). Die vorliegende Gruppe war damit hinsichtlich der Geschlechtsunterschiede homogen, in der weiteren Analyse wurde daher auf die Auswertung des Faktors „Geschlecht“ verzichtet. Trotz der Be-

4. Diskussion

grenzung der maximal zulässigen Hörschwelle für die einzelnen Altersgruppen, fanden sich bezüglich des Hochtonhörverlustes Unterschiede: Die Altersgruppe der 20-49-Jährigen wich signifikant von derjenigen der 60-79-Jährigen ab, wobei die Altersgruppe 50-59 eine Mittelstellung einnahm.

In Übereinstimmung mit der Literatur wurde ein signifikanter Zusammenhang des Sprachverständnisses in Ruhe sowohl mit dem Lebensalter als auch mit der Hörschwelle nachgewiesen. Diese Abhängigkeit scheint jedoch unabhängig vom Hochtonhörverlust zu bestehen. Andere Autoren geben im Gegensatz dazu an, dass bis zu 90 % der reduzierten auditorischen Wahrnehmung allein durch den Hochtonhörverlust erklärbar seien (vgl. z. B. [Gordon-Salant et al., 2010](#)).

4.1. Abhängigkeit des Sprachverständnisses von Einfallswinkel und Art des Störgeräusches

Die Verbesserung des Sprachverständnisses durch räumliche Trennung von Nutz- und Störschallquelle ist seit vielen Jahren bekannt und wurde von einer Reihe von Autoren untersucht ([Arbogast et al., 2002](#); [Brungart und Simpson, 2002](#); [Freyman et al., 2004](#); [Hawley et al., 1999](#); [Helfer und Freyman, 2005](#); [Plomp und Mimpfen, 1981](#)). [Plomp und Mimpfen \(1981\)](#) untersuchten beispielsweise an zehn normalhörenden Probanden den Einfluss der Kopforientierung sowie des Einfallswinkels. Als Testmaterial wurden Sätze in Anwesenheit eines konstanten Störgeräusches mit Sprachspektrum bei 55 dB angeboten, deren Pegel solange variiert wurde, bis 50 % der Sätze korrekt verstanden wurden. Es wurden Einfallswinkel (θ) von 0° bis 180° in $22,5^\circ$ -Schritten untersucht. Die so berechnete mittlere Sprachverständnisschwelle (speech reception threshold, SRT) lag bei $-7,2 \text{ dB} \pm 1,0 \text{ dB}$ für nicht getrennte Stör- und Nutzschaquelle ($\theta = 0^\circ$), bei $\theta = 90^\circ$ lag der SRT bei $-17,0 \text{ dB} \pm 2,3 \text{ dB}$, das Minimum lag bei $\theta = 112,5^\circ$ mit einem SRT von $-18,1 \text{ dB} \pm 1,6 \text{ dB}$. Für diese Gruppe ergab sich daraus eine „binaural intelligibility level difference“ (BILD) von im Mittel $-4,5 \text{ dB}$ bei $\theta = 22,5^\circ$; $-6,8 \text{ dB}$ bei $\theta = 45^\circ$ sowie $-9,8 \text{ dB}$ bei $\theta = 90^\circ$. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen [Duquesnoy \(1983a\)](#) beim Vergleich zweier Einfallswinkel (0° und 90°) für verschiedene Hörkonditionen und Störgeräuschtypen: Die Referenzgruppe von zehn normalhörenden jungen Probanden (Durchschnittsalter 22,6 Jahre)

4.1. Abhängigkeit von Einfallswinkel und Art des Störgeräusches

erreichte durch die räumliche Trennung von 90° in Gegenwart von Sprachspektrumrauschen eine Verbesserung der Sprachverständnisschwelle von -9,6 dB. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit an 48 altersentsprechend normalhörenden Probanden bestätigen die Resultate beider Studien (s. Tabelle 3.7).

Die durch die räumliche Trennung von Stör- und Nutzschaquelle bewirkte Verbesserung der Sprachverständnisschwelle ist zusätzlich von der Art des Störgeräusches abhängig, allerdings haben bisher nur wenige Autoren sowohl Sprache als auch Sprachspektrumrauschen an derselben Probandengruppe untersucht. Einigkeit besteht in allen Studien (Arbogast et al., 2002; Duquesnoy, 1983a; Helfer und Freyman, 2008; Li et al., 2004) darüber, dass die Verbesserung des Sprachverständnisses durch räumliche Trennung für Störsprache stärker ist als für ein Sprachspektrumrauschen. Für nicht getrennte Stör- und Nutzschaquellen divergieren die Ergebnisse: Während in den Untersuchungen von Arbogast et al. (2002); Duquesnoy (1983a) das Rauschen einen stärkeren maskierenden Effekt als die Sprache ausübt, zeigten Helfer und Freyman (2008) eine stärkere Maskierung durch informationelle Masker – in diesem Fall gleichgeschlechtliche Störsprecher – für räumlich nicht getrennte Nutz- und Störschaquelle als für kontinuierliches Rauschen. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie: Für alle Altersgruppen liegt die Sprachverständnisschwelle in Anwesenheit des CCITT-Rauschens ca. 4 dB unter derjenigen für Sprache als Störgeräusch (s. Tabelle 3.7).

Der Einfluss des Lebensalters auf das Sprachverständnis im Störgeräusch wurde bisher nur an relativ grob eingeteilten Gruppen untersucht, zusätzlich wiesen die älteren Probanden teilweise erhebliche Hochtonhörverluste auf, so dass eine klare Trennung zwischen Effekten des Alters und Effekten der Hörschwelverschlechterung nicht ausreichend möglich ist. Bei Duquesnoy (1983b) lag beispielsweise die Hörschwelle der 20 älteren Probanden im Alter von 76-88 Jahren bei 4 kHz bei ca. 60 dB und bei 8 kHz bei ca. 80 dB. Für die Gruppe der 12 älteren Probanden von Helfer und Freyman (2008) (mittleres Alter 71,5 Jahre) lag der mittlere Hörverlust bei 4 kHz um 40 dB und bei 8 kHz um 55 dB, diese Hörschwelle ist damit vergleichbar mit der der nicht hörgeschädigten Gruppe von Arbogast et al. (2005) (Alter: 19-79 Jahre), die ebenfalls mittlere Hörverluste von 40 dB bei 4 kHz bzw. 60 dB bei 8 kHz aufwiesen. In den Arbeiten

4. Diskussion

von [Duquesnoy \(1983a\)](#) und [Helfer und Freyman \(2008\)](#) profitierten die älteren Probanden signifikant weniger von der räumlichen Trennung als die jüngeren Kontrollgruppen. [Helfer und Freyman \(2008\)](#) interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, dass ältere Menschen irrelevante semantische Informationen schlechter unterdrücken können und daher stärker von informationellen Maskern – wie z. B. Störsprache – beeinträchtigt werden. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen [Arbogast et al. \(2005\)](#) für hörgeschädigte Patienten unterschiedlichen Alters mit zu den obigen Arbeiten vergleichbarem Hochtonhörverlust. Nur eine Studie versuchte, den Einfluss des Alters relativ unabhängig vom Hochtonhörverlust zu untersuchen: [Li et al. \(2004\)](#) beschränkten den zulässigen Hörverlust ihrer 12 älteren Probanden im Alter von 65-75 Jahren auf maximal 40 dB bei 8 kHz und fanden bei der Analyse der Daten zwar altersabhängige Unterschiede in der Sprachverständnisschwelle, allerdings profitierten jüngere und ältere Probanden in gleichem Maße von der räumlichen Trennung von Stör- und Nutzschaallquelle in Anwesenheit eines informationellen Maskers. Im Gegensatz zu [Helfer und Freyman \(2008\)](#) diskutieren [Li et al. \(2004\)](#), dass auf kognitiver Ebene die Beeinträchtigung durch eine irrelevante Störschaallquelle für ältere Hörer nicht stärker als für jüngere Probanden ist, sondern diese nur einen höheren Signal-Rausch-Abstand benötigen. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen [Gelfand et al. \(1988\)](#): Die Autoren untersuchten insgesamt 41 Normalhörende (maximaler Hörverlust 25 dB) der Altersgruppen 20-39, 40-54 sowie 55-70 Jahre im Vergleich zu zehn Probanden mit Presbyakusis (Alter 55-70, mittlerer Hörverlust bei 4000 Hz 60,0 dB (rechts) und 60,6 dB (links) sowie bei 8000 Hz 66,1 dB (rechts) und 65,0 dB (links)). Getestet wurde das Satzverständnis bei 70 dB SPL (Signal von vorn) in Gegenwart eines Gemisches von 12 Sprechern (12-Talker-Babble), das ebenfalls von vorn ($\theta = 0^\circ$) oder der Seite ($\theta = 90^\circ$) angeboten wurde. Unter den Normalhörenden fanden sich altersabhängige Unterschiede in der Absolutlage der Verständnisschwellen, alle Altersgruppen profitierten jedoch in gleichem Maße von der räumlichen Trennung der Lautsprecher. Signifikante Unterschiede fanden sich beim Vergleich mit den schwerhörigen älteren Probanden: Sowohl das absolute Sprachverständnis als auch der Profit von der räumlichen Trennung waren schlechter als in der gleichaltrigen Gruppe der Normalhörenden.

In der vorliegenden Arbeit sollte der Alterseffekt differenzierter untersucht werden. Dazu wurden jeweils acht Probanden der sechs Dekaden vom 20. bis 79.

4.1. Abhängigkeit von Einfallswinkel und Art des Störgeräusches

Lebensjahr untersucht und der Hochtonhörverlust in den höheren Altersgruppen begrenzt (s. Abschnitt 2.1.1, Hörschwelle, S. 11). Schon aus der Übersichtsdarstellung der SRT-Verläufe in Abhängigkeit von Störgeräuschtyp, Einfallswinkel und Altersgruppe (s. Abbildung 3.6) wird ersichtlich, dass sich die Kurvenverläufe der einzelnen Altersgruppen stark ähneln, unterschiedlich ist nur das jeweilige Ausgangsniveau. Die genaue Analyse der Rohdaten bestätigte diese Vermutung: Betrachtet man die BILD-Werte, d. h. die relativen Gewinne durch die räumliche Trennung, besteht weder für das CCITT-Rauschen noch für die Sprache als Störgeräusch eine signifikante Altersabhängigkeit. Damit konnten die Ergebnisse von Li et al. (2004) auch für die bisher nicht untersuchten mittleren Lebensdekaden bestätigt werden. Bezüglich der Absolutlage der Sprachverständnisschwellen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel sowie Störgeräuschtyp bestehen für die Altersgruppen 20-49 keine signifikanten Unterschiede, während der Abstand der SRTs für die Altersgruppen 50 bis 79 mit jeder Dekade deutlich zunehmen (s. Tabellen 3.11 und 3.12). Die Vermutung, dass der Hochtonhörverlust nicht als einzige relevante Ursache für das reduzierte Sprachverständnis im Störgeräusch anzusehen ist, wird durch die Betrachtung einzelner Probanden untermauert: Die Testpersonen 45 und 47 der Altersgruppe 70-79 Jahre wiesen einen relativ geringen Hochtonhörverlust von 10-20 dB HL bei 6000 Hz auf (s. Abschnitt A, Einzelaudiogramme der Probanden, S. 57) und liegen damit bezogen auf die Reintonhörschwelle im Bereich der 30-39-jährigen Frauen. Vergleicht man nun die Sprachtestergebnisse dieser beiden Testpersonen (s. Tabelle C.1) mit den Mittelwerten der 30-39-jährigen Frauen aus Tabelle 3.7, findet man für die beiden Probandinnen deutlich schlechtere Ergebnisse als für die jüngeren Frauen mit vergleichbarer Hörschwelle. Innerhalb der Gruppe der 70-79-Jährigen weichen die Ergebnisse der beiden Probanden 45 und 47 nicht von den übrigen Testpersonen ab, auch wenn diese teilweise erheblich schlechtere Reintonhörschwellen aufweisen (Mittelwert und Standardabweichung der Testpersonen der Altersgruppe 70-79 ohne Probanden 45 und 47: Masker CCITT-Rauschen: $\theta = 0^\circ$: -4,1 dB \pm 1,0 dB; $\theta = 22,5^\circ$: -7,3 dB \pm 2,1 dB; $\theta = 45^\circ$: -9,8 dB \pm 1,8 dB; $\theta = 90^\circ$: -11,5 dB \pm 2,7 dB; Masker Sprache: $\theta = 0^\circ$: 0,2 dB \pm 1,6 dB; $\theta = 22,5^\circ$: -9,1 dB \pm 3,9 dB; $\theta = 45^\circ$: -11,8 dB \pm 3,7 dB; $\theta = 90^\circ$: -13,0 dB \pm 4,3 dB). Das heißt, neben der Hörschwelle kommen andere, am ehesten zentrale, altersabhängige Faktoren zum Tragen und führen zu einer Verschlechterung der Sprachverständnisleistung.

4.2. Einflussfaktoren auf die Lokalisationsfähigkeit

Nur wenige Studien untersuchten systematisch den Einfluss des Alters auf die Fähigkeit zur Lokalisation von Geräuschen. [Abel et al. \(2000\)](#) und Mitarbeiter ließen sieben Gruppen von je 16 Probanden im Alter von 10-81 Jahren 300 ms lange Geräusche mit drei unterschiedlichen Spektren lokalisieren. Der Testaufbau umfasste verschiedene Anordnungen von vier bzw. acht Lautsprechern in der Horizontalebene. Neben Alterseffekten wurden zusätzlich die Verwechslung zwischen einzelnen Quadranten sowie frontal und hinter dem Kopf positionierten Lautsprechern und der Einfluss der jeweiligen Spektren analysiert. Die Autoren beobachteten bereits in der 3. Lebensdekade eine Zunahme des Lokalisationsfehlers. Breitbandrauschen war insgesamt am einfachsten zu lokalisieren, während Geräusche mit einer Mittenfrequenz im Tieftonbereich (500 Hz) deutlich schlechter der korrekten Ausgangsquelle zugeordnet werden konnten. Insgesamt lag die beobachtete Abnahme der Präzision mit zunehmendem Alter je nach Stimulustyp zwischen 12 % und 15 %. [Abel et al. \(2000\)](#) vermuteten ebenso wie [Babkoff et al. \(2002\)](#); [Dobrevá et al. \(2011\)](#), dass Geräuschlokalisierung nicht nur durch eine Abnahme des Hörvermögens, sondern zusätzlich durch zentrale Defizite, insbesondere eine reduzierte zeitliche Auflösung von auditorischen Stimuli, mit steigendem Alter beeinflusst wird. In der hier untersuchten Probandengruppe waren Alterseffekte zu beobachten, die Effektstärke war ebenfalls insgesamt relativ gering: Schlüsselt man die Lokalisationsfähigkeit nach Altersgruppe, Stimulustyp und Lautsprecherposition auf (s. Tabelle 3.15), sind zwar alle drei Faktoren signifikant, die Varianzaufklärung durch Alter und Stimulustyp liegt aber jeweils unter 5 %. Lediglich die Lautsprecherposition hat mit 12,8 % eine etwas größere Relevanz für die Gesamtvarianz. Wie bei [Abel et al. \(2000\)](#) waren für alle Altersgruppen die am weitesten lateral gelegenen Lautsprecher am schwierigsten zu lokalisieren, während die Fehlerrate für die zentralen, frontalen Lautsprecher am geringsten war. Für einzelne Probanden war ab der 7. Lebensdekade vor allem in diesem Bereich eine starke Abnahme der Genauigkeit zu beobachten (s. Abbildung 3.10). Dies könnte auch ein Zeichen der nachlassenden temporalen Auflösung mit zunehmendem Lebensalter sein.

Der am schwierigsten zu lokalisierende Stimulus war für alle Altersgruppen der Clicktrain. Aufgrund seiner Struktur mit wiederholten Onsets und sehr kurzer

4.3. Zusammenhang zwischen Lokalisationsfähigkeit und Sprachverständnis

Dauer der aneinandergereihten Einzelclicks bietet dieser Stimulus im Vergleich zum CCITT-Rauschen sowie der Sprache weniger auditorische Information. Ein deutlicher Abfall der Lokalisationsfähigkeit des Sprachstimulus war in der Altersgruppe 70-79 zu beobachten: Während alle anderen Gruppen im Mittel MAEs von unter 2° erreichen bzw. mehr als 90 % Prozent der Testreize korrekt zuordnen konnten, liegt der MAE der 70-79-Jährigen im Durchschnitt bei $6,3^\circ$, es werden lediglich 81,9% der Stimuli richtig lokalisiert. Eine mögliche Erklärung bietet die Arbeit von [Dobrev et al. \(2011\)](#): Alterungseffekte führen demnach zu einer reduzierten Wahrnehmung insbesondere mittlerer und damit den Hauptsprachbereich betreffender Frequenzen. In diesem Bereich sind sowohl interaurale Laufzeitunterschiede wie auch interaurale Pegeldifferenzen nicht sonderlich robust. Die Autoren erklären damit zum einen die Abnahme der horizontalen Lokalisationsfähigkeit sowie Schwierigkeiten bei der Trennung von Schallquellen im Rahmen des Cocktail-Party-Effektes.

4.3. Zusammenhang zwischen Lokalisationsfähigkeit und Sprachverständnis

Abschließend sollte der Zusammenhang zwischen Lokalisationsfähigkeit und Sprachverständnis im Störgeräusch analysiert werden. Bereits [Hirsh \(1950\)](#) beschrieben, dass die Steigerung des Sprachverständnisses durch räumlich getrennte Stör- und Nutzschallquellen möglicherweise vor allem durch den Kopfschatteneffekt, das heißt durch eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes verursacht werden könnte, und damit möglicherweise unabhängig vom räumlichen Hören sei. [Saber et al. \(1991\)](#) vermuteten darüberhinaus frequenzspezifische Veränderungen des SNR durch Pinnaeffekte. Die von [Bronkhorst und Plomp \(1989, 1992\)](#) beschriebenen Schwierigkeiten Hörgeschädigter, in binauralen Hörsituationen von räumlich getrennten Stör- und Nutzschallquellen zu profitieren, scheint diese Hypothese zu untermauern: Kopfschatteneffekte sind am größten für Frequenzen oberhalb von ca. 2 kHz und damit für Patienten mit ausgeprägtem Hochtonhörverlust schlechter nutzbar. [Noble et al. \(1997\)](#) fanden für Probanden mit Hochtonhörverlust eine Abnahme der Lokalisationsgenauigkeit für seitlich vom Kopf befindliche Schallquellen und führten diesen Effekt auf eine Reduktion der verfügbaren akustischen Information im Bereich zwischen

4. Diskussion

4-6 kHz zurück. Der Effekt war jedoch insgesamt relativ schwach. Die Autoren fanden keinen konsistenten Zusammenhang zwischen der Lokalisationsfähigkeit einer einzelnen Schallquelle und dem Sprachverständnisbenefit durch die räumliche Trennung. Ein Test zur Wahrnehmung der räumlichen Trennung selbst schien jedoch deutlicher mit der Sprachverständnisverbesserung verbunden zu sein. Dieses Muster war bei Patienten mit kombinierter Schwerhörigkeit deutlicher als bei solchen mit reiner Innenohrschwerhörigkeit. Noble et al. (1997) schlossen daraus, dass Schädigungen des auditorischen Systems selbst zusätzlich eine erhebliche Rolle bei der Hörbeeinträchtigung spielen. In der hier vorliegenden Untersuchung wurde ebenfalls nur eine zwar signifikante aber praktisch nicht bedeutsame ($r < 0,5$) Korrelation zwischen Lokalisationsfähigkeit von Sprache und Sprachverständnis in Gegenwart von Störsprache festgestellt. Für das CCITT-Rauschen war sogar nur der Vergleich mit der Hörsituation mit dem günstigsten SNR ($\theta = 90^\circ$) signifikant. Auch diese Untersuchung bestätigt, dass die exakte räumliche Wahrnehmung einer Schallquelle für das Sprachverständnis im Störgeräusch zwar eine Rolle spielt, die von älteren Patienten beschriebenen Defizite jedoch nicht vollständig erklären kann.

4.4. Einfluss der Konzentrationsfähigkeit auf Lokalisation und Sprachverständnis

Da der Versuchsablauf mit 1,5-2 Stunden pro Proband relativ zeitaufwendig und ermüdend war, wurde versucht, einen eventuellen Abfall der Konzentrationsleistung auf die Lokalisationsfähigkeit und das Sprachverständnis im Störgeräusch durch einen Konzentrationsleistungstest zu erfassen. Wie zu erwarten, schnitten die älteren Altersgruppen, sowohl zu Beginn der Versuchsreihe als auch danach, schlechter als die jüngeren Versuchsteilnehmer ab. Interessanterweise kam es jedoch über alle Altersgruppen hinweg zu einer scheinbaren *Verbesserung* der Konzentrationsleistung zum zweiten Zeitpunkt (s. Tabelle 3.17). Das heißt, der vom D2-Test gelieferte KL-Wert war nach dem Sprachverständnistest größer als vorher. Beide Faktoren – Altersgruppe und Untersuchungszeitpunkt – beeinflussen die Konzentrationsleistung signifikant (s. Tabelle 3.18). Dass es trotz der von vielen Probanden geäußerten Ermüdung nach dem Sprachtest in allen Altersgruppen zu einer Verbesserung des Ergebnisses im D2-Test kam, ist vermut-

4.4. Einfluss der Konzentrationsfähigkeit auf Lokalisation und Sprachverständnis

lich auf einen Übungseffekt zurückzuführen. Bühner et al. (2006) beobachteten bei ihrer Untersuchung an 125 Studierenden bereits nach einmaliger Testwiederholung eine Steigerung des konzentrativen Tempos, die Verbesserung der Konzentrationsleistung lag im Mittel bei 13%. Das Ergebnis ähnelt der hier beobachteten Steigerung im zweiten Versuch von 18,4%.

Die Diskrepanz zwischen gemessener Konzentrationsleistung und subjektiv geäußerter Ermüdung nach dem Test spricht gegen die Eignung des D2-Tests zum Erfassen der auditiven Ermüdung. Auch Rooij van und Plomp (1992) beschäftigten sich mit dem möglichen Zusammenhang kognitiver und auditiver Faktoren. Zum Einsatz kamen Testinstrumente zur Gedächtniskapazität und Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie ein Satzverständnistest in Ruhe sowie in Gegenwart eines Sprachspektrumrauschens an Erwachsenen im Alter von 53-94 Jahren. Die Ergebnisse der Korrelation von SRT und kognitiven Faktoren waren nicht konsistent und wenig spezifisch. Die Autoren begründen dies unter anderem damit, dass ihre verwendeten Tests zu ungenau bzw. unangemessen für den Vergleich kognitiver Fähigkeiten mit der Fähigkeit des Sprachverständnisses im Störgeräusch sind. Für zukünftige Untersuchungen wäre die Verwendung eines Testinstruments denkbar, das die kognitive Leistungsfähigkeit ebenfalls auf auditiver Ebene – z. B. mit Testtönen – untersucht, um Fehler durch unterschiedliche Modalitäten (optische Diskrimination wie beim D2-Test wird verglichen mit auditiver Leistungsfähigkeit im Sprachverständnistest) zu vermeiden. Bei einem solchen Instrument bestünde dann allerdings nicht mehr die Möglichkeit, zentral-kognitive und peripher-auditive Leistungsfähigkeit zu trennen, wodurch der Wert für die Modellbildung limitiert wäre. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch hier Übungseffekte dominieren.

5. Zusammenfassung

Eine der zentralen Aufgaben des menschlichen auditiven Systems besteht darin, aus einer Vielzahl von Umgebungsgeräuschen Ort und Informationsgehalt einer Schallquelle herauszufiltern. Diese Fähigkeit ist von entscheidender Bedeutung für die Kommunikation in geräuschvoller Umgebung. Einschränkungen des Hörvermögens führen in unterschiedlichem Ausmaß zu einer Beeinträchtigung dieser Hörleistung. Im klinischen Alltag berichten jedoch auch ältere Menschen ohne offensichtliche Hörstörung über Schwierigkeiten, Sprache in Gegenwart von mehreren Sprechern oder Nebengeräuschen zu verstehen. Die vorliegende Arbeit untersucht altersabhängige Veränderungen von Sprachverständnis und Lokalisationsfähigkeit an normalhörenden Erwachsenen.

Zur Bestimmung der Sprachverständnisschwelle wurde der Oldenburger Satztest (OLSA) in Ruhe und in Gegenwart je eines energetischen (CCITT-Rauschen) sowie eines informationellen Maskers (Sprachgemisch aus zwei männlichen Störsprechern) verwendet. Dabei wurde die Sprache jeweils von vorn angeboten, während der Einfallswinkel der Störschallquelle in vier Schritten zwischen 0° und 90° variiert wurde. Die Lokalisationsfähigkeit in der vorderen Horizontalebene (-90° bis $+90^\circ$) wurde für drei verschiedene Signale (CCITT-Rauschen, Sprache und Clicktrain) untersucht, wobei der Pegel zwischen 55 dB und 65 dB zufallsvariiert wurde. Der D2-Konzentrationsleistungstest wurde zur Erfassung möglicher Ermüdungseffekte vor und nach dem Sprachverständnistest eingesetzt. Zur Untersuchung von Alterseffekten wurden je vier männliche und weibliche Probanden in sechs Dekaden (3. bis 8.) mit altersentsprechender Normalhörigkeit eingeschlossen. Zusätzlich wurde der zulässige Hochtonhörverlust begrenzt, um reine Alterseffekte von einer Presbyakusis trennen zu können.

In der statistischen Auswertung des Sprachverständnisses in Ruhe hatten die beiden Einflussfaktoren Probandenalter und Hörschwelle den größten Einfluss

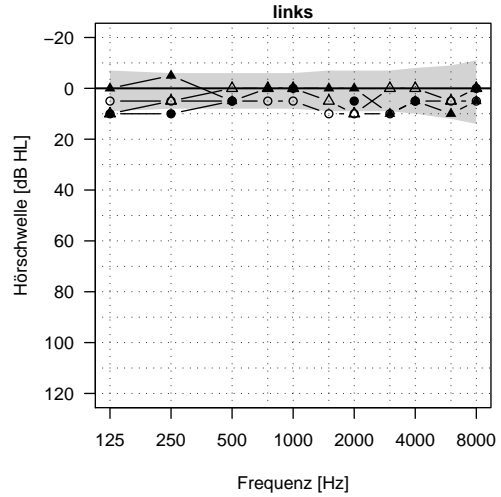
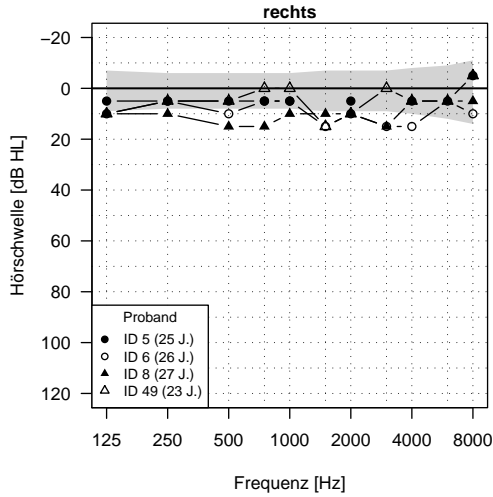
5. Zusammenfassung

und erklärten zusammen 84 % der Gesamtvarianz. Bei der winkelabhängigen Untersuchung der beiden Maskertypen Störsprache (informationell) und CCITT-Rauschen (energetisch) zeigte sich, dass für alle Altersgruppen die Sprachverständnisschwelle für nicht räumlich getrennte Schallquellen am höchsten war. In dieser Kondition war der informationelle Maskierungseffekt ausgeprägter als der energetische. Die räumliche Trennung von Nutz- und Störsignal führte für beide Maskertypen zu einer Verbesserung der Sprachverständnisschwelle, wobei hier der energetische Maskierungseffekt überwog. Der größte Gewinn trat schon beim kleinsten Trennungswinkel ($22,5^\circ$) auf. Während die Absolutlage der Sprachverständnisschwelle altersabhängig signifikant variierte, profitierten alle Probanden in gleichem Maße von der räumlichen Trennung. Im Lokalisationsexperiment war der mittlere absolute Fehler unabhängig vom Stimulustyp relativ gering. Relevanter Einflussfaktor war nur die Lautsprecherposition, mit einer Varianzaufklärung von 12 %. Für alle Altersgruppen waren Stimuli aus den äußeren beiden Lautsprechern am schwierigsten zu lokalisieren. Während Probanden bis 59 Jahre Stimuli aus den zentralen Lautsprechern nahezu perfekt zuordnen konnten, stieg die Fehlerhäufigkeit in den beiden ältesten Probandengruppen an. Es konnte nur eine zwar signifikante, aber praktisch nicht bedeutsame ($r < 0,5$) Korrelation zwischen Lokalisationsfähigkeit von Sprache und Sprachverständnis in Gegenwart von Störsprache festgestellt werden. Für das Störsignal CCITT-Rauschen war die Korrelation noch geringer. Die exakte räumliche Wahrnehmung einer Schallquelle spielt demnach für das Sprachverständnis im Störgeräusch eine Rolle, kann die von älteren Patienten beschriebenen Defizite jedoch nicht vollständig erklären.

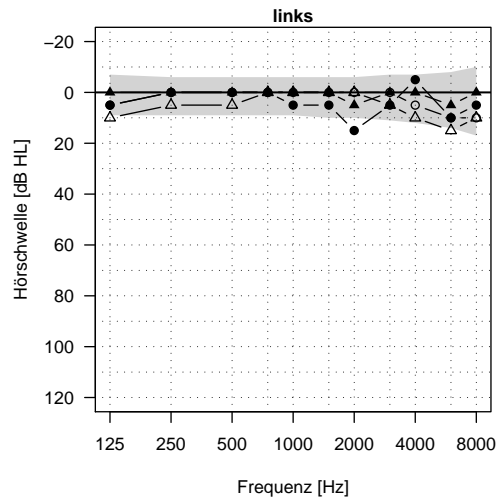
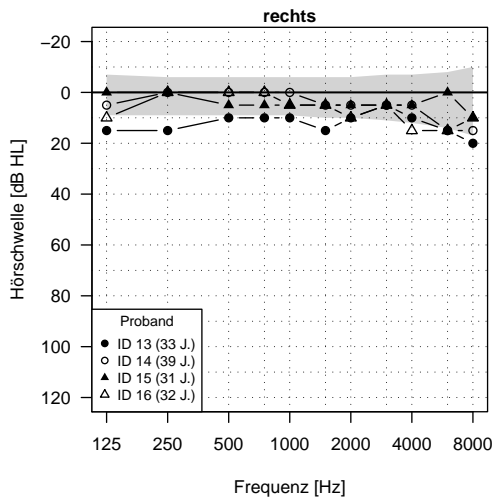
A. Einzelaudiogramme der Probanden

A.1. Frauen

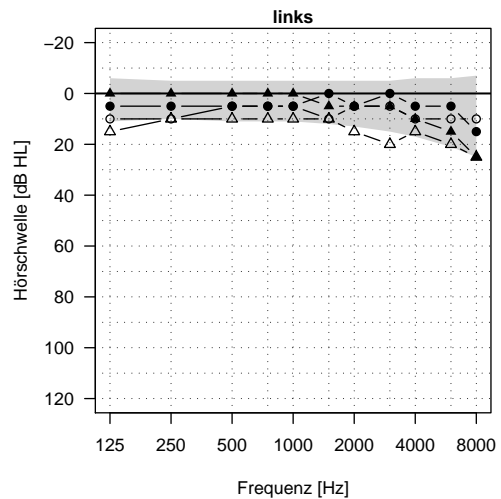
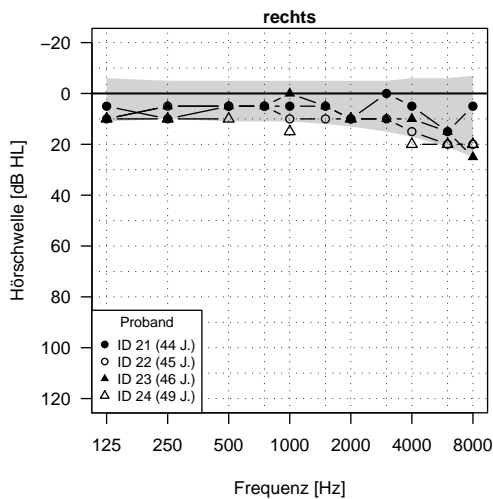
Altersgruppe 20–29 (Frauen)



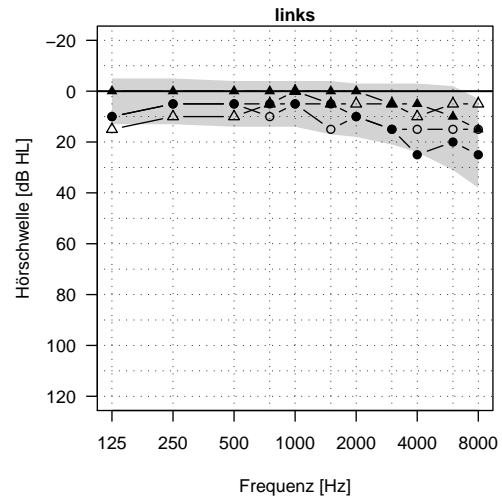
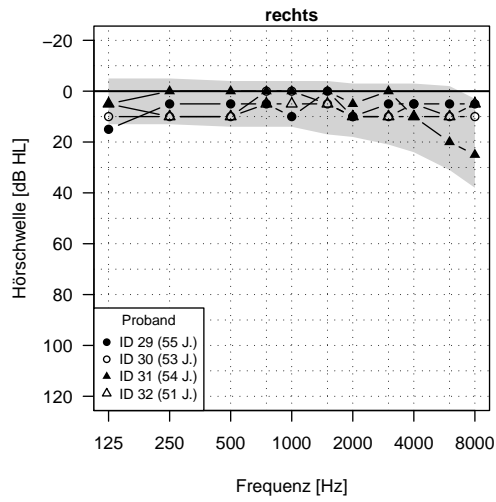
Altersgruppe 30–39 (Frauen)



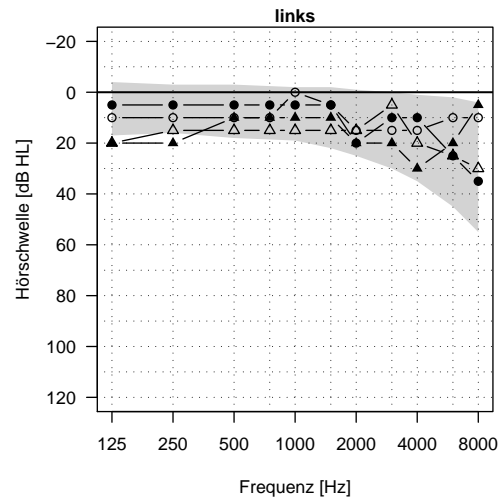
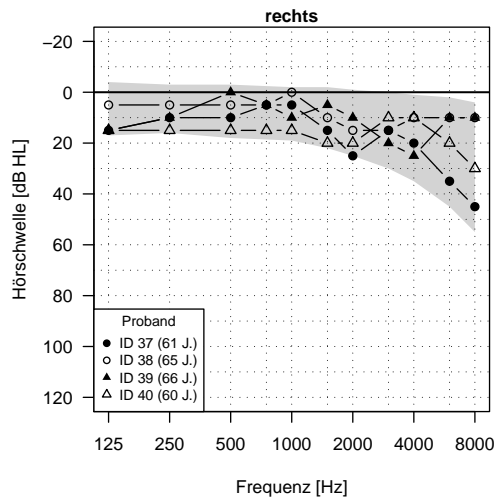
Altersgruppe 40–49 (Frauen)



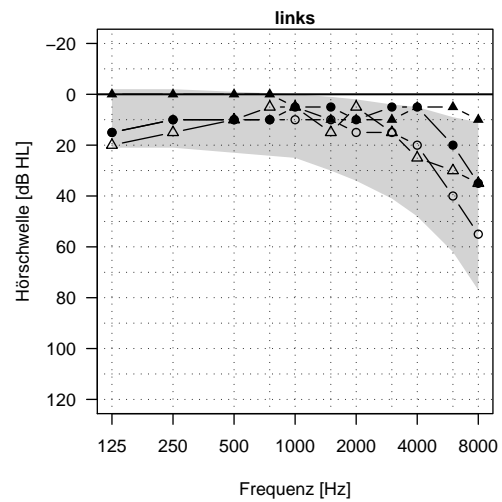
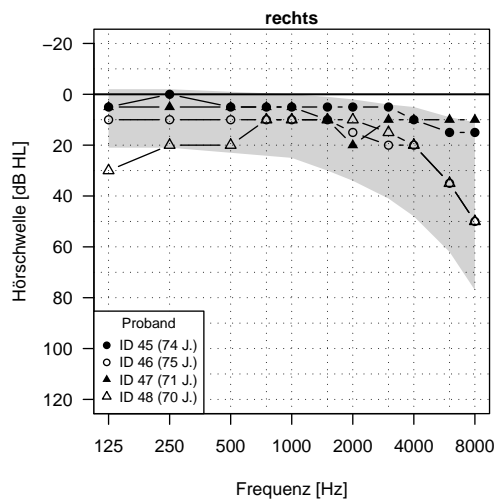
Altersgruppe 50–59 (Frauen)



Altersgruppe 60–69 (Frauen)

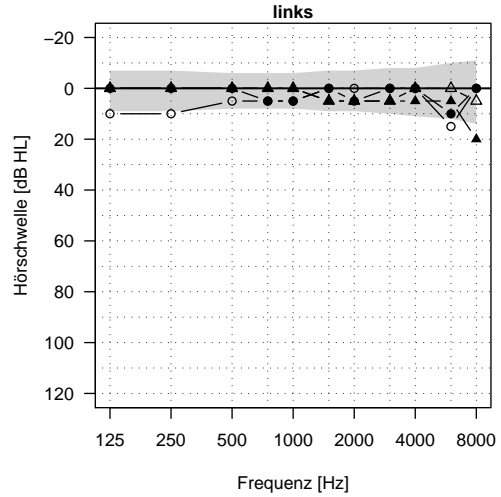
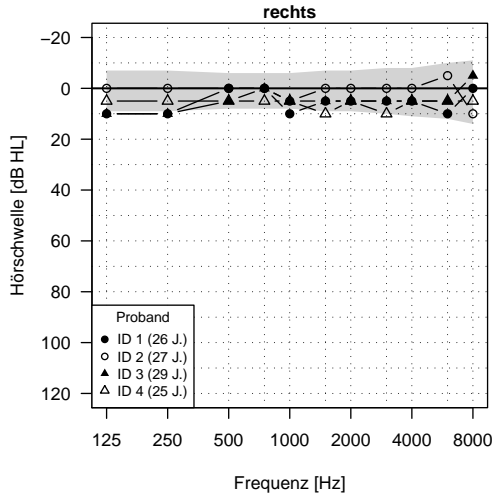


Altersgruppe 70–79 (Frauen)

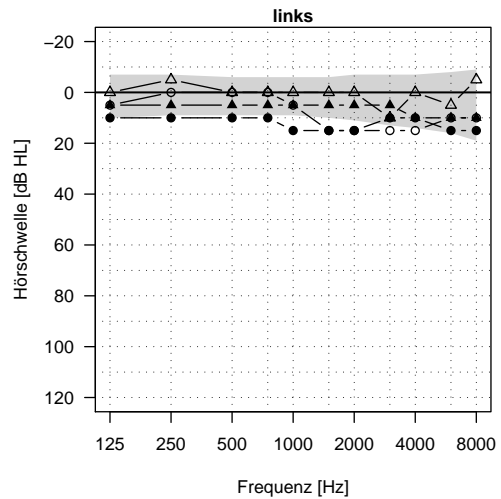
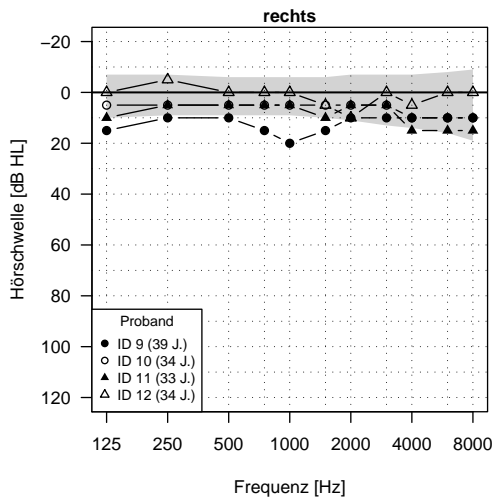


A.2. Männer

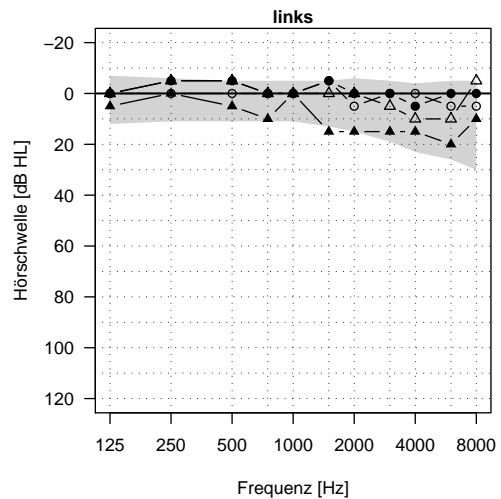
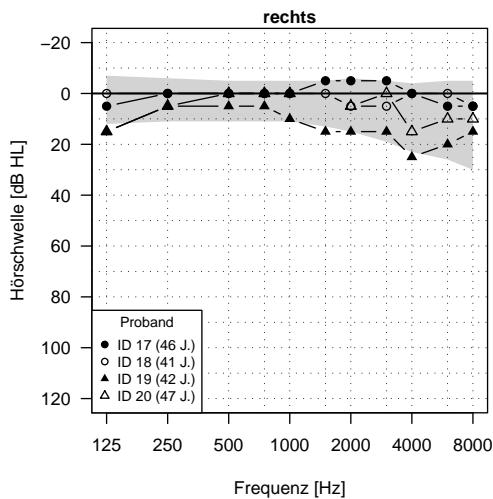
Altersgruppe 20–29 (Männer)



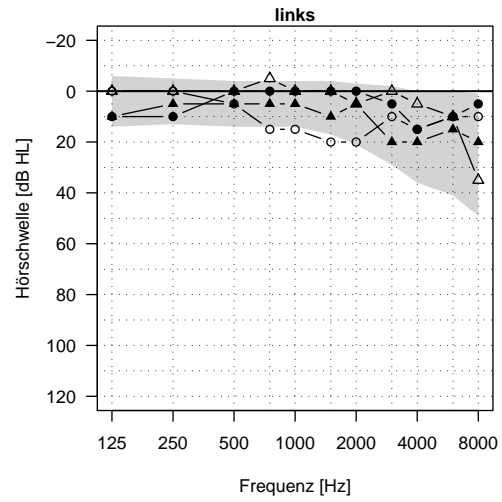
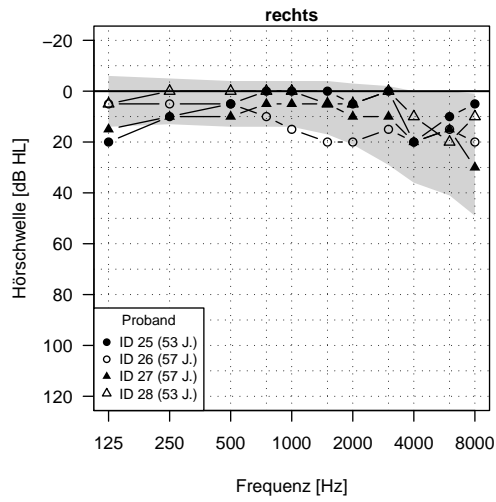
Altersgruppe 30–39 (Männer)



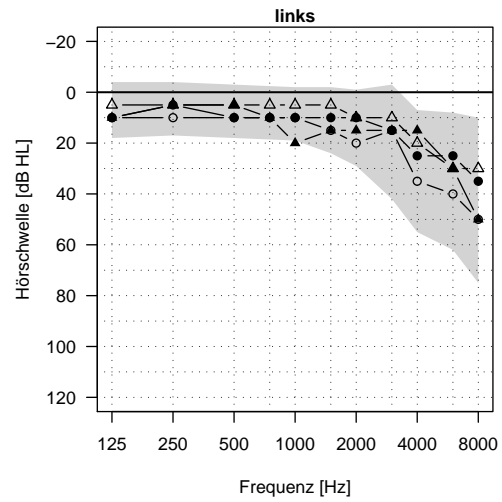
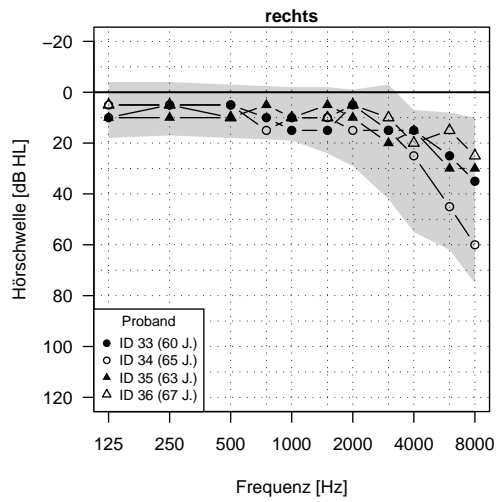
Altersgruppe 40–49 (Männer)



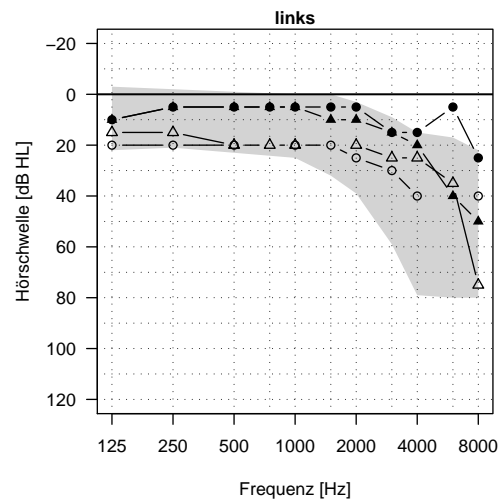
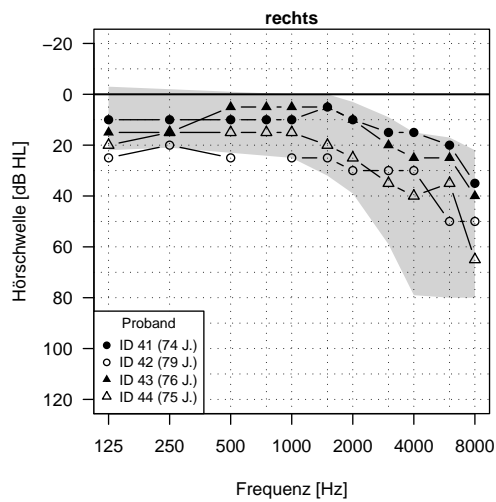
Altersgruppe 50–59 (Männer)



Altersgruppe 60–69 (Männer)



Altersgruppe 70–79 (Männer)



B. Vollständige Ergebnisse der ANOVA

Tabelle B.1.: ANOVA-Ergebnistabelle: Abhängige Variable: SRT in dB, Faktoren: Altersgruppe, Geschlecht, PTA, Störgeräusch, Störschallwinkel und Interaktionen. df = Freiheitsgrad, QS = Quadratsumme, F = F-Wert, p = p-Wert, η^2 = deskriptives Maß für die Varianzaufklärung

Faktor	df	QS	F	p	η^2
Störschallwinkel (A)	3	6208	287,2	< 0,001	0,5464
Störgeräusch (B)	1	59,85	8,31	0,0043	0,0053
Altersgruppe (C)	5	1982	55,03	< 0,001	0,1745
PTA (D)	5	280,2	7,78	< 0,001	0,0247
A × B	3	619,9	28,68	< 0,001	0,0546
A × C	15	13,91	0,13	1	0,0012
B × C	5	10,93	0,3	0,9105	0,001
A × D	15	45,27	0,42	0,9729	0,004
B × D	5	30,31	0,84	0,5215	0,0027
C × D	7	173,4	3,44	0,0016	0,0153
A × B × C	15	23,89	0,22	0,9992	0,0021
A × B × D	15	21,01	0,19	0,9996	0,0018
A × C × D	21	81,9	0,54	0,9512	0,0072
B × C × D	7	39,09	0,78	0,6087	0,0034
A × B × C × D	21	42,49	0,28	0,9994	0,0037
Residuen	240	1729			

Prüfung der Testvoraussetzungen:

Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test): $p < 0,001$

Varianzhomogenität (Levene-Test): $p = 0,2235$

C. Einzelergebnisse der Probanden (Sprachtests)

Tabelle C.1.: Einzelergebnisse der Probanden (Sprachtests) - SRT in dB:
id = Probandennummer, Sex = Geschlecht, w = weiblich, m = männlich, Seite = Störschallrichtung, r = rechts, l = links

id	Sex	Alter	Seite	CCITT-Rauschen				Sprache				Ruhe
				0°	22,5°	45°	90°	0°	22,5°	45°	90°	
1	m	26	r	-9,61	-14,09	-18,62	-20,28	-10,16	-19,66	-20,34	-21,31	14,53
2	m	27	l	-10,33	-14,86	-17,84	-19,20	-9,44	-14,74	-20,81	-21,20	13,39
3	m	29	l	-11,43	-16,34	-15,59	-18,93	-5,81	-19,86	-21,70	-22,41	16,80
4	m	25	r	-11,42	-11,43	-15,85	-18,08	-4,61	-15,39	-20,71	-16,13	16,44
5	w	25	r	-7,55	-12,46	-17,28	-19,68	-6,36	-16,39	-17,96	-21,10	19,42
6	w	26	l	-10,23	-15,03	-17,11	-15,93	-6,22	-12,01	-15,86	-19,22	16,61
8	w	27	r	-10,85	-12,73	-15,07	-18,67	-3,95	-15,22	-17,50	-13,53	20,47
9	m	39	r	-6,72	-12,43	-16,45	-20,30	-2,63	-14,96	-15,12	-17,17	24,06
10	m	34	l	-8,62	-12,47	-16,12	-17,55	-9,82	-16,64	-20,99	-22,28	18,57
11	m	33	l	-9,33	-12,23	-14,95	-16,02	-2,09	-12,99	-17,26	-18,08	18,30
12	m	34	r	-11,13	-12,11	-15,44	-16,69	-7,10	-15,37	-20,14	-16,03	14,74
13	w	33	r	-8,78	-13,12	-16,60	-18,41	-4,83	-14,00	-14,68	-16,93	16,72
14	w	39	l	-9,16	-12,69	-16,81	-15,54	-8,52	-14,55	-18,49	-21,54	17,73
15	w	31	l	-11,11	-14,68	-14,61	-18,24	-3,98	-15,57	-19,30	-22,80	16,03
16	w	32	r	-8,59	-10,32	-13,28	-17,80	-6,05	-14,23	-18,23	-16,85	16,57
17	m	46	r	-12,44	-17,05	-20,81	-24,25	-11,56	-22,60	-22,29	-26,08	13,42
18	m	41	l	-13,02	-17,37	-20,54	-21,13	-10,78	-17,48	-21,15	-20,04	12,64
19	m	42	l	-7,39	-11,26	-12,36	-12,94	-3,01	-11,98	-16,04	-15,87	25,11
20	m	47	r	-6,09	-10,73	-14,12	-15,24	-3,65	-16,10	-17,84	-16,58	17,24
21	w	44	r	-10,48	-13,96	-17,51	-21,63	-8,30	-19,01	-20,34	-20,85	16,36
22	w	45	l	-7,34	-9,60	-13,26	-12,93	-1,18	-8,75	-12,27	-14,76	19,44
23	w	46	l	-6,17	-9,15	-9,74	-12,21	1,91	-10,79	-14,24	-16,32	21,26
24	w	49	r	-10,97	-13,77	-15,39	-16,71	-7,09	-17,72	-22,32	-19,77	17,14
25	m	53	r	-8,71	-11,27	-14,36	-18,79	-10,25	-15,22	-15,94	-19,10	17,94

C. Einzelergebnisse der Probanden (Sprachtests)

Tabelle C.1.: Fortsetzung: Einzelergebnisse der Probanden (Sprachtests)

id	Sex	Alter	Seite	CCITT-Rauschen				Sprache				Ruhe
				0°	22,5°	45°	90°	0°	22,5°	45°	90°	
26	m	57	l	-9,35	-12,32	-14,78	-15,58	-5,55	-13,48	-17,33	-19,05	23,48
27	m	57	l	-8,74	-13,11	-13,02	-16,37	-1,80	-16,04	-20,50	-25,44	20,44
28	m	53	r	-10,53	-10,18	-14,65	-13,15	-4,99	-14,23	-16,16	-13,00	22,22
29	w	55	r	-6,44	-9,05	-15,01	-14,63	-2,43	-13,97	-16,23	-19,53	19,51
30	w	53	l	-7,43	-11,20	-12,97	-13,89	-4,28	-12,14	-14,88	-16,84	19,67
31	w	54	l	-8,88	-11,29	-11,45	-11,74	-4,62	-12,96	-15,04	-17,31	16,74
32	w	51	r	-7,13	-8,17	-12,66	-13,36	-1,71	-13,07	-16,68	-15,88	23,93
33	m	60	r	-5,44	-10,17	-13,61	-15,23	-8,35	-15,00	-15,50	-16,63	20,16
34	m	65	l	-4,83	-10,79	-13,66	-12,17	-1,18	-9,87	-15,42	-14,55	24,84
35	m	63	l	-6,94	-12,09	-12,13	-14,74	-4,84	-12,65	-18,59	-18,67	22,31
36	m	67	r	-7,01	-8,21	-11,70	-13,52	-1,81	-13,20	-15,88	-12,12	23,99
37	w	61	r	-2,00	-6,23	-9,57	-9,63	0,29	-9,22	-10,53	-12,43	23,72
38	w	65	l	-7,74	-12,87	-17,13	-16,91	-9,04	-13,25	-18,23	-23,23	20,13
39	w	66	l	-6,81	-9,40	-10,00	-15,72	-1,07	-7,44	-12,71	-13,90	24,90
40	w	60	r	-5,33	-6,83	-9,97	-11,29	-1,85	-9,72	-11,25	-10,91	27,05
41	m	74	r	-5,00	-7,53	-10,95	-12,45	-1,69	-13,26	-13,17	-12,69	22,56
42	m	79	l	-3,28	-4,83	-7,49	-6,71	-0,20	-3,08	-5,40	-7,71	34,38
43	m	76	l	-5,21	-10,88	-9,55	-14,77	-0,34	-13,31	-16,35	-20,40	25,27
44	m	75	r	-3,22	-7,48	-9,52	-11,39	1,84	-7,51	-10,06	-10,05	39,32
45	w	74	r	-5,12	-8,59	-12,28	-13,83	-2,43	-12,95	-14,87	-14,28	19,86
46	w	75	l	-4,77	-7,81	-12,47	-10,85	-0,68	-7,86	-13,41	-14,54	23,96
47	w	71	l	-4,96	-7,47	-9,46	-11,91	-0,93	-7,57	-11,89	-14,27	18,41
48	w	70	r	-3,13	-5,41	-8,54	-12,60	2,42	-9,44	-12,29	-12,31	24,73
49	w	23	l	-11,67	-15,38	-15,85	-21,31	-6,16	-17,83	-22,21	-22,55	14,97

Literaturverzeichnis

- Abel S. M., Giguère C., Consoli A., und Papsin B. C. Aug 2000. The effect of aging on horizontal plane sound localization. *J Acoust Soc Am*, 108(2): 743–752.
- Agus Trevor R, Akeroyd Michael A, Noble William, und Bhullar Navjot. Jan 2009. An analysis of the masking of speech by competing speech using self-report data. *J Acoust Soc Am*, 125(1):23–26. URL <http://dx.doi.org/10.1121/1.3025915>.
- Akeroyd Michael A. 2006. The psychoacoustics of binaural hearing. *Int J Audiol*, 45 Suppl 1:S25–S33. URL <http://dx.doi.org/10.1080/14992020600782626>.
- Arbogast Tanya L, Mason Christine R, und Kidd Gerald. Nov 2002. The effect of spatial separation on informational and energetic masking of speech. *J Acoust Soc Am*, 112(5 Pt 1):2086–2098.
- Arbogast Tanya L, Mason Christine R, und Kidd Gerald. Apr 2005. The effect of spatial separation on informational masking of speech in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am*, 117(4 Pt 1):2169–2180.
- Babkoff Harvey, Muchnik Chava, Ben-David Nofar, Furst Miriam, Even-Zohar Shmuel, und Hildesheimer Minka. Mar 2002. Mapping lateralization of click trains in younger and older populations. *Hear Res*, 165(1-2):117–127.
- Baschek V. Nov 1979. Die Abhängigkeit des Richtungshörens vom zerebralen Alterungsprozeß und die Indikation zur Applikation einer stereophonen Hörgeräteversorgung. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)*, 58(11):827–831.
- Beijen Jan-Willem, Snik Ad F M, und Mylanus Emmanuel A M. Jun 2007. Sound localization ability of young children with bilateral cochlear implants. *Otol Neurotol*, 28(4):479–485. URL <http://dx.doi.org/10.1097/MAO.0b013e3180430179>.

- Blauert J. Räumliches Hören. S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974.
- Bortz Christof, Jürgen und Schuster. Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer Verlag, 2010.
- Brickenkamp R. Test d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test. Hogrefe, Göttingen, 9. Ausgabe, 2002.
- Bronkhorst A. W. und Plomp R. Oct 1989. Binaural speech intelligibility in noise for hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am*, 86(4):1374–1383.
- Bronkhorst A. W. und Plomp R. Dec 1992. Effect of multiple speechlike maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *J Acoust Soc Am*, 92(6):3132–3139.
- Brungart D. S. Mar 2001. Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers. *J Acoust Soc Am*, 109(3):1101–1109.
- Brungart D. S., Simpson B. D., Ericson M. A., und Scott K. R. Nov 2001. Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers. *J Acoust Soc Am*, 110(5 Pt 1):2527–2538.
- Brungart Douglas S und Simpson Brian D. Aug 2002. The effects of spatial separation in distance on the informational and energetic masking of a nearby speech signal. *J Acoust Soc Am*, 112(2):664–676.
- Bühner M., Ziegler M., Bohnes B., und Lauterbach K. 2006. Übungseffekte in den TAP Untertests Test Go/Nogo und Geteilte Aufmerksamkeit sowie dem Aufmerksamkeits-Belastungstest (d2). *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 17(3): 191–199.
- Cherry E.C. 1953. Some experiments on the recognition of speech with one and two ears. *J Acoust*, 25:975–979.
- Ching T. Y. C., Hill M., Brew J., Incerti P., Priolo S., Rushbrook E., und Forsythe L. 2005. The effect of auditory experience on speech perception, localization, and functional performance of children who use a cochlear implant and a hearing aid in opposite ears. *Int J Audiol*, 44(12):677–690.

- Ching Teresa Y C, Incerti Paula, und Hill Mandy. Feb 2004. Binaural benefits for adults who use hearing aids and cochlear implants in opposite ears. *Ear Hear*, 25(1):9–21. URL <http://dx.doi.org/10.1097/01.AUD.0000111261.84611.C8>.
- Delk J. H., Glorig A., Quiggle R. R., und Summerfield A. B. Jan 1957. Predicting hearing loss for speech from pure tone audiograms. *Laryngoscope*, 67(1): 1–15. URL <http://dx.doi.org/10.1288/00005537-195701000-00001>.
- Dobreva Marina S, O'Neill William E, und Paige Gary D. May 2011. Influence of aging on human sound localization. *J Neurophysiol*, 105(5):2471–2486. URL <http://dx.doi.org/10.1152/jn.00951.2010>.
- Dubno Judy R, Ahlstrom Jayne B, und Horwitz Amy R. Dec 2002. Spectral contributions to the benefit from spatial separation of speech and noise. *J Speech Lang Hear Res*, 45(6):1297–1310.
- Dubno Judy R, Lee Fu-Shing, Matthews Lois J, Ahlstrom Jayne B, Horwitz Amy R, und Mills John H. Jan 2008. Longitudinal changes in speech recognition in older persons. *J Acoust Soc Am*, 123(1):462–475. URL <http://dx.doi.org/10.1121/1.2817362>.
- Duquesnoy A. J. Sep 1983a. Effect of a single interfering noise or speech source upon the binaural sentence intelligibility of aged persons. *J Acoust Soc Am*, 74(3):739–743.
- Duquesnoy A. J. Oct 1983b. The intelligibility of sentences in quiet and in noise in aged listeners. *J Acoust Soc Am*, 74(4):1136–1144.
- Festen J. M. und Plomp R. Feb 1983. Relations between auditory functions in impaired hearing. *J Acoust Soc Am*, 73(2):652–662.
- Fletcher H. 1950. A method of calculating hearing loss for speech from an audiogram. *Acta Otolaryngol Suppl*, 90:26–37.
- Freyman R. L., Helfer K. S., McCall D. D., und Clifton R. K. Dec 1999. The role of perceived spatial separation in the unmasking of speech. *J Acoust Soc Am*, 106(6):3578–3588.

- Freyman Richard L, Balakrishnan Uma, und Helfer Karen S. May 2004. Effect of number of masking talkers and auditory priming on informational masking in speech recognition. *J Acoust Soc Am*, 115(5 Pt 1):2246–2256.
- Gelfand S. A., Ross L., und Miller S. Jan 1988. Sentence reception in noise from one versus two sources: effects of aging and hearing loss. *J Acoust Soc Am*, 83(1):248–256.
- Gordon-Salant S., Frisina R. D., Fay R. R., und Popper A. N., Hrsg. The aging auditory system. Springer Verlag, 2010.
- Hagerman B. 1982. Sentences for testing speech intelligibility in noise. *Scand Audiol*, 11(2):79–87.
- Harris J. D., Haines H. L., und Myers C. K. Feb 1956. A new formula for using the audiogram to predict speech hearing loss. *AMA Arch Otolaryngol*, 63(2): 158–176.
- Häusler R., Colburn S., und Marr E. 1983. Sound localization in subjects with impaired hearing. spatial-discrimination and interaural-discrimination tests. *Acta Otolaryngol Suppl*, 400:1–62.
- Hawley M. L., Litovsky R. Y., und Colburn H. S. Jun 1999. Speech intelligibility and localization in a multi-source environment. *J Acoust Soc Am*, 105(6): 3436–3448.
- Helfer Karen S, Chevalier Jamie, und Freyman Richard L. Dec 2010. Aging, spatial cues, and single- versus dual-task performance in competing speech perception. *J Acoust Soc Am*, 128(6):3625–3633. URL <http://dx.doi.org/10.1121/1.3502462>.
- Helfer Karen S und Freyman Richard L. Feb 2005. The role of visual speech cues in reducing energetic and informational masking. *J Acoust Soc Am*, 117 (2):842–849.
- Helfer Karen S und Freyman Richard L. Jan 2008. Aging and speech-on-speech masking. *Ear Hear*, 29(1):87–98. URL <http://dx.doi.org/10.1097/AUD.0b013e31815d638b>.

- Hellbrück Jürgen. Hören Physiologie Psychologie und Pathologie. Hogrefe, 1993.
- Hirsh I.J. 1950. The relation between localization and intelligibility. *J Acoust Soc Am*, 22:196–200.
- Hochmair-Desoyer I., Schulz E., Moser L., und Schmidt M. Nov 1997. The HSM sentence test as a tool for evaluating the speech understanding in noise of cochlear implant users. *Am J Otol*, 18(6 Suppl):S83.
- Hoesel Richard Van, Ramsden Richard, und O’Driscoll Martin. Apr 2002. Sound-direction identification, interaural time delay discrimination, and speech intelligibility advantages in noise for a bilateral cochlear implant user. *Ear Hear*, 23 (2):137–149.
- Humes L. E., Allen S. K., und Bess F. H. 1980. Horizontal sound localization skills of unilaterally hearing-impaired children. *Audiology*, 19(6):508–518.
- Internationale Organisation für Normung ISO . ISO7029 Acoustics - Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age (Akustik, Statistische Verteilung von Hörschwellen als eine Funktion des Alters.), May 2000.
- Jerger J. et al. 1993. Gender affects audiometric shape in presbycusis. *J AM Acad Audiol*, 4:42–49.
- Johnstone Patti M und Litovsky Ruth Y. Oct 2006. Effect of masker type and age on speech intelligibility and spatial release from masking in children and adults. *J Acoust Soc Am*, 120(4):2177–2189.
- Jokinen K. Dec 1973. Presbycusis. VI. Masking of speech. *Acta Otolaryngol*, 76(6):426–430.
- Kaulitz Stefan. Lautheitsbeurteilung unilateraler Cochlea-Implantat-Träger in Abhängigkeit von der Stimulusart und vom vorangehenden Stimulus bei sequenzieller Darbietung der Reize. Dissertation, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, 2007. URL <http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2008/2625>.
- Kuyper P. 1972. The cocktail party effect. *Audiology*, 11(5):277–282.

- Kyle J. G. May 1977. Audiometric analysis as a predictor of speech intelligibility. *Br J Audiol*, 11(2):51–58.
- Li Liang, Daneman Meredyth, Qi James G, und Schneider Bruce A. Dec 2004. Does the information content of an irrelevant source differentially affect spoken word recognition in younger and older adults? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 30(6):1077–1091. URL <http://dx.doi.org/30.6.1077>.
- Litovsky Ruth Y. May 2011. Review of recent work on spatial hearing skills in children with bilateral cochlear implants. *Cochlear Implants Int*, 12 Suppl 1: S30–S34. URL <http://dx.doi.org/10.1179/146701011X13001035752372>.
- Lorenzi C., Gatehouse S., und Lever C. Jun 1999. Sound localization in noise in hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am*, 105(6):3454–3463.
- Marrone Nicole, Mason Christine R, und Kidd Gerald. Nov 2008. The effects of hearing loss and age on the benefit of spatial separation between multiple talkers in reverberant rooms. *J Acoust Soc Am*, 124(5):3064–3075. URL <http://dx.doi.org/10.1121/1.2980441>.
- Mazurek B., Stöver T., Haupt H., Gross J., und Szczepek A. Apr 2008. Die Entstehung und Behandlung der Presbyakusis. *HNO*, 56(4):429–35. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00106-008-1676-3>.
- Mlekusch Irene. 2006. Altersschwerhörigkeit. Die Stille naht. *Österreichische Ärztezeitung*, 13/14.
- Newton V. E. 1983. Sound localisation in children with a severe unilateral hearing loss. *Audiology*, 22(2):189–198.
- Noble W., Byrne D., und Lepage B. Feb 1994. Effects on sound localization of configuration and type of hearing impairment. *J Acoust Soc Am*, 95(2): 992–1005.
- Noble W., Byrne D., und Ter-Horst K. Oct 1997. Auditory localization, detection of spatial separateness, and speech hearing in noise by hearing impaired listeners. *J Acoust Soc Am*, 102(4):2343–2352.
- Noble William und Perrett Stephen. Nov 2002. Hearing speech against spatially separate competing speech versus competing noise. *Percept Psychophys*, 64 (8):1325–1336.

- Plomp R. und Mimpen A. M. 1981. Effect of the orientation of the speaker's head and the azimuth of a noise source on the speech-reception threshold for sentences. *Acustica*, 48:325–328.
- Rajan R. und Cainer K. E. Jun 2008. Ageing without hearing loss or cognitive impairment causes a decrease in speech intelligibility only in informational maskers. *Neuroscience*, 154(2):784–795. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.03.067>.
- Rooij van J. C. und Plomp R. 1990. Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. *Acta Otolaryngol Suppl*, 476:177–181.
- Rooij van J. C. und Plomp R. Feb 1992. Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. III. Additional data and final discussion. *J Acoust Soc Am*, 91(2):1028–1033.
- Saberi K., Dostal L., Sadralodabai T., Bull V., und Perrott D. R. Sep 1991. Free-field release from masking. *J Acoust Soc Am*, 90(3):1355–1370.
- Schuknecht H.F. Pathology of the ear, Kap. Presbycusis. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1974.
- Syka Josef. Jun 2010. The Fischer 344 rat as a model of presbycusis. *Hear Res*, 264(1-2):70–78. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.2009.11.003>.
- Wagener Kirsten, Brand Thomas, und Kollmeier Birger. 1999a. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache II: Optimierung des Oldenburger Satztests. *Z Audiol*, 38 (2):44–56.
- Wagener Kirsten, Brand Thomas, und Kollmeier Birger. 1999b. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache III: Evaluation des Oldenburger Satz. *Z Audiol*, 38 (3):86–95.
- Wagener Kirsten, Kühnel V, und Kollmeier Birger. 1999c. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache I: Design des Oldenburger Satztests. *Z Audiol*, 38 (1):4–15.
- Wood N. L. und Cowan N. Sep 1995. The cocktail party phenomenon revisited: attention and memory in the classic selective listening procedure of cherry (1953). *J Exp Psychol Gen*, 124(3):243–262.

Literaturverzeichnis

Yost W. A., Dye R. H., und Sheft S. Oct 1996. A simulated “cocktail party” with up to three sound sources. *Percept Psychophys*, 58(7):1026–1036.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Rudolf Hagen, Direktor der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen, danke ich herzlich für die Übernahme des Referates dieser Arbeit.

Herrn PD Dr. ing. Mario Cebulla danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats.

Zu besonderem Dank bin ich Frau Dr. Wilma Harnisch und Herrn Dipl.-Ing. Stefan Brill verpflichtet, welche durch ihre tatkräftige Unterstützung bei Aufbau, Durchführung und Auswertung der Versuche das Verfassen dieser Arbeit ermöglicht haben.

Danken möchte ich den Versuchsteilnehmern, welche die Geduld und Konzentration aufgebracht haben, an den Testreihen teilzunehmen.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Familie, die mir mit viel Entgegenkommen den Rücken stärkte und Freiräume schuf, um diese Arbeit zum Abschluss zu bringen.

Lebenslauf

Name: Raphael Papke
Geboren am: 16. April 1977
In: Würzburg
Konfession: katholisch
Familienstand: verheiratet, zwei Kinder

Schulbildung:

1983 - 1987 Grundschule: Goetheschule Würzburg
1987 - 1996 Schönborn-Gymnasium Würzburg
06/1996 Abitur

Zivildienst:

1996 - 1997 Zivildienst in der Arche, Alten- und Pflegeheime Würzburg

Studium:

1998 - 2000 Semester der Naturwissenschaften und
vorklinische Kurse in der Zahnmedizin
03/1999 Vorphysikum, Universität Würzburg
2000 - 2005 Studium der Biologie, Universität Würzburg
04/2005 Diplomprüfung im Fach Biologie, Universität Würzburg
10/2005 Fortsetzung des Studiums der Zahnmedizin
09/2006 Zahnärztliche Vorprüfung, Universität Würzburg
2006 - 2009 Klinisches Studium
02/2009 - 06/2009 Staatsexamen, Universität Würzburg

Assistenzzeit:

2009 - heute Assistenz Zahnarzt, Praxis Dr. Pobypicz, Würzburg