



**Voice over IP - Sprachqualität und
Sprachverständlichkeit von Normalhörenden und
Schwerhörigen**

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Falk Schiffner B. Sc.

Technische Universität Berlin

Studiengang: Audiokommunikation- und Technologie

BERLIN, DEN 12. MÄRZ 2014

ERSTGUTACHTER:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Raake

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Institut für Telekommunikationssysteme
Assessment of IP-based Applications

ZWEITGUTACHTER:

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Möller

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Institut für Softwaretechnik und Theoretische Informatik
Quality and Usability Lab

BETREUUNG DURCH:

Dipl.-Ing. Janto Skowronek

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Institut für Telekommunikationssysteme
Assessment of IP-based Applications

VERFASSER:

Falk Schiffner B. Sc.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Studiengang: Audiokommunikation- und Technologie
Matrikelnummer: 338705
Bernauer Str. 119A
D-16515 Oranienburg



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Falk Schiffner , Matrikel-Nr. 338705, an Eides statt gegenüber der Technischen Universität Berlin, dass die vorliegende, dieser Erklärung nachstehende, Arbeit mit dem Titel

Voice over IP - Sprachqualität und Sprachverständlichkeit von Normal-hörenden und Schwerhörigen

selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der im Literaturverzeichnis genannten Quellen und Hilfsmittel angefertigt wurde. Alle Stellen der Arbeit, die anderen, Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind kenntlich gemacht. Ich reiche die Arbeit erstmals als Prüfungsleistung ein.

Berlin, den 12. März 2014

FALK SCHIFFNER

Danksagung

Ich möchte meinen Dank Prof. Dr.-Ing. Alexander Raake aussprechen, für die Möglichkeit diese Arbeit an seinem Lehrstuhl zu schreiben. Ich bedanke mich weiterhin bei Dipl.-Ing. Janto Skowronek, der trotz sehr knappen Zeitplan immer einen Moment hatte, um die vielen kleinen und großen Fragen zu beantworten und für die gegebenen Impulse.

Vielen Dank, möchte ich auch Dr.-Ing. Marie-Neige Garcia, Dennis Guse, Friedemann Köster und Michal Soloducha für Ihre Unterstützung während der Experiment- und Auswertungsphase aussprechen. Natürlich möchte ich mich auch bei allen weiteren Mitgliedern von „QU“ und „AIPA“ für das tolle kollegiale Arbeitsumfeld bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich recht herzlich für die Unterstützung bei Herrn Robert Eiffler, Geschäftsführer „Hörgeräte Akustik Flemming und Klingbeil“, bedanken. Dank geht auch an das Team der Filiale Lichtenberg, sowie an Filiale Wedding und Frohnau, ohne deren Mithilfe es keine Schwerhörigen-Teilnehmergruppe gegeben hätte. Ganz besonderer Dank gilt meiner Partnerin Christin und der kleinen Heidelind, die mich immer wieder motivieren, für die Geduld und das Verständnis, welches sie mir während des gesamten Studiums entgegengebracht haben.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	1
Danksagung	2
1 Kurzfassung	5
2 Einleitung	6
2.1 Motivation und Zielsetzung	6
2.1.1 Strukturierung der Arbeit	8
3 Grundlagen	9
3.1 Aufbau und Funktionsweise des Gehörs	9
3.1.1 Anatomie und Physiologie des Ohres	9
3.1.1.1 Peripheres Hörsystem	9
3.1.1.2 Zentrales Hörsystem:	13
3.1.2 Psychoakustik	14
3.1.3 Entdecken von Reizschwellen	15
3.1.4 Hörfläche	15
3.2 Hörstörungen und ihre Formen	17
3.2.1 Schallleitungsschwerhörigkeit	17
3.2.2 Schallempfindungsschwerhörigkeit	18
3.2.3 Neurale Hörstörung	20
3.2.4 Zentrale Hörstörung	20
3.3 Spracherzeugung und Sprachverstehen	20
3.3.1 Spracherzeugung	20
3.3.2 Sprachverstehen	22
3.3.3 Standardtests zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit	23
3.3.3.1 Sprachaudiometrie	24
3.3.3.2 Freiburger Sprachtest	24
3.3.3.3 Oldenburger Satztest (OLSA)	25
3.4 Qualität	26
3.4.1 Eigenschaften der Qualität	26
3.4.2 Subjektive Qualitätsbewertung	26
3.4.3 Sprachqualität	27
3.5 Paketverlust	29
3.6 Stand der Forschung	30

4 Experimente	32
4.1 Vorbereitung der Experimente	32
4.1.1 Versuchspersonen	35
4.1.2 Konditionen	36
4.2 Versuchsdurchführung	39
5 Ergebnisse	42
5.1 Dokumentation und Auswertung	42
5.2 Ergebnisse und Auswertung - Sprachverständlichkeitstest	42
5.2.1 Diskriminationsverlust bei Paketverlust - Normalhörende:	43
5.2.2 Diskriminationsverlust bei Paketverlust - Schwerhörige:	45
5.2.3 Vergleich - Normalhörende und Schwerhörige (DV)	47
5.2.4 Mapping einer Diskriminationsfunktion für Paketverlust	48
5.2.5 Ergebnisse und Auswertung - Qualitätshörtest	50
5.2.5.1 Vergleich - Normalhörende und Schwerhörige (MOS)	55
5.3 Vergleich - Verständlichkeit und Qualität	56
6 Zusammenfassung	58
6.1 Ausblick	60
Abbildungsverzeichnis	61
Tabellenverzeichnis	63
Abkürzungsverzeichnis	64
Literaturverzeichnis	66
A Anhang - Versuchsmaterial	i
Tabelle - Tonaudiogramme	i
Beispiel: Hörtest - Playliste	ii
Versuchsanleitung Allgemein	iii
Versuchsanleitung SVS Test	iv
Versuchsanleitung 5P ACR Test	v
B Anhang - Equipment	vii
C Anhang - Daten-DVD	ix

Kapitel 1

Kurzfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erfassung der Sprachverständlichkeit und der Sprachverständlichkeitsschwelle von Übertragungen im VoIP-Kontext unter Störungseinfluss. Hierbei wird in besonderem Maße der, in VoIP-Netzen vorkommenden, Störung, *Paketverlust* Beachtung geschenkt. Im zweiten Teil dieser Arbeit werden für diese Störungen Qualitätsurteile ermittelt, mit dem Ziel das Zusammenspiel zwischen Sprachverständlichkeit und Sprachqualität näher zu beleuchten.

Darüber hinaus werden die Unterschiede in der Sprachverständlichkeit und der Sprachqualität zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen betrachtet. Hierfür wurden zwei Probandenversuche, ein Verständlichkeitstest auf der Basis des Oldenburger Satztests und ein Qualitätshörtest, durchgeführt.

Die Arbeit enthält Grundlagen zur Funktionsweise des Gehörs, sowie der Spracherzeugung. Der Begriff der Qualität wird ebenso erläutert wie der Bewertungsprozess. Ebenso werden die Versuche und deren Planung und Durchführung beschrieben.

Es werden sowohl die Sprachverständlichkeit, als auch die Qualitätsurteile, der Normalhörenden mit den der Schwerhörigen verglichen. Weiterhin werden aus den dokumentierten Ergebnissen Rückschlüsse über den Einfluss der Sprachverständlichkeit auf das Qualitätsurteil gezogen.

Kapitel 2

Einleitung

2.1 Motivation und Zielsetzung

Die Faszination der Menschen an Technik und technischem Fortschritt ist unverändert groß. Dadurch verändert sich unsere Gesellschaft fortwährend. In den letzten Jahrzehnten ist die Vernetzung der Menschen stark voran geschritten. Heutzutage sind nicht nur Informationen immer und zu jeder Zeit verfügbar, auch die Menschen selbst sind via Telefon, E-Mail, SMS etc. immer erreichbar. Die dafür verwendete Technologie schreitet immer weiter voran. Als kleines Beispiel seien hier Smartphones erwähnt. Mit diesen es nicht nur möglich ist, klassisch zu telefonieren, sondern auch im Internet zu surfen, zu chatten und Medieninhalte runter- und hochzuladen. Selbst Videotelefonate sind ohne weiteres möglich. Im Gegensatz zur Zeit der Erfin-dung des Telefons, in der es eine große technische Leistung darstellte die menschliche Sprache zu übertragen, ist heute Kommunikationstechnologie im Alltag eingebun-den. Mittlerweile besitzt fast jeder ein Mobiltelefon und einen Computer. In großen Unternehmen sind Telefonkonferenzen Standard und kaum noch wegzudenken. Sogar für eine Live-Fernsehübertragung einer Landtagswahl wurden bereits der Internet-dienst „Skype“ als Direktschaltung verwendet oder bei Vorstellungsgesprächen oder wissenschaftlichen Aussprachen werden Telefon- oder Videokonferenzen aufgebaut.

Die Kommunikationstechnologie, von der hier gesprochen wird, besteht nicht nur aus rein physischen Produkten, sondern auch aus Kommunikationsdiensten. Mittlerweile sind die Grenzen zwischen den Diensten nicht mehr genau auszumachen. So werden über das Mobiltelefon Videos von Internetplattformen geschaut und über den heimischen PC telefoniert.

Es stellt sich nun die Frage, wie die Kommunikationstechnologien und ihre Nutzung wahrgenommen werden. Gerade durch die immer stärkere Vernetzung durch das Internet, kommt es auch zu Beeinträchtigungen die typisch für die dortige Übertragung sind, wie bspw. *Paketverlust*. Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen, die sich mit der Wahrnehmung und Bewertung von Störungen in Kommunikationssystemen be-schäftigen. Von besonderem Interesse für die Studie ist Paketverlust, da durch den Verlust von Signalinformation die Sprachverständlichkeit und Sprachqualität beein-flusst werden. Die meisten dieser Untersuchungen haben sich mit Normalhörenden beschäftigt, da sie den größten Nutzerkreis darstellen. Gerade durch den demogra-

2. EINLEITUNG

2.1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG



phischen Wandel und die wachsende Zahl schwerhöriger Menschen ist auch eine Untersuchung auch dieser Gruppe von steigendem Interesse.

Ziel dieser Arbeit ist die genauere Untersuchung des Einflusses von Paketverlust auf die Sprachverständlichkeit und die Ableitung von Verständlichkeitsfunktionen für Paketverlust. Des Weiteren wird die Gesamtqualität von rauschbehafteten Übertragungen und Übertagungen mit Paketverlust untersucht. Außerdem soll ermittelt werden, ob sich die Sprachverständlichkeit bei Paketverlust und die Qualitätsbeurteilung von Übertragungsstörungen zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen unterscheidet. Weiterhin soll untersucht werden, wie der Zusammenhang zwischen Sprachverständlichkeit und Sprachqualität ist.

Überblick über die Fragestellungen:

- *Welchen Einfluss hat Paketverlust auf die Sprachverständlichkeit und bei welcher Paketverlustrate ist die Sprachverständlichkeitsschwelle erreicht?*
- *Unterscheidet sich die Sprachverständlichkeit bei Paketverlust zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen?*
- *Unterscheidet sich die Qualitätsbeurteilung von Übertragungsstörungen zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen?*
- *Existiert ein Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit und dem Übertragungsqualitätsurteil?*

Die Ergebnisse dieser Studie werden durch Probandenversuche erhalten. Hierfür wird ein Sprachverständlichkeitsversuch und ein Qualitätshörttest durchgeführt. Die Arbeit enthält neben einigen Grundlagen, die Planung und Durchführung der Versuche, sowie die Dokumentation, Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.

2. EINLEITUNG

2.1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG



2.1.1 Strukturierung der Arbeit

Diese Arbeit unterteilt sich in 6 Kapitel. Kapitel 1 enthält eine Kurzfassung der Arbeit, welche einen Abriss über die Arbeit darstellt. Kapitel 2 beinhaltet die Einleitung. Sie beschreibt die Motivation, sowie die Fragestellung. In Kapitel 3 wird ein Einblick in die theoretischen Grundlagen gegeben. Hier wird ein Einblick in den Aufbau und die Funktionsweise des Gehörs und des Sprechapparates gewährt. Außerdem werden verschiedene Arten der Hörstörungen beschrieben, sowie Messmethoden zur Bestimmung der Verständlichkeit von Sprache vorgestellt. Des Weiteren wird in diesem Kapitel der Begriff der Qualität und die Prozesskette bei subjektiver Qualitätsbewertung vorgestellt. In Kapitel 4 werden die Versuche für diese Studie beschrieben. Dabei wird auf die Versuchsplanung sowie auf deren Durchführung eingegangen. Die verwendeten Konditionen, die Teilnehmergruppen, sowie die Testumgebung und das verwendete Equipment werden benannt. Kapitel 5 befasst sich mit der Dokumentation und Auswertung der Ergebnisse. Nach einzelner Betrachtung der Ergebnisse, werden beide Studienteile zusammengeführt und verglichen. Zum Abschluss dieses Kapitels werden Sprachverständlichkeit und Sprachqualität in Beziehung gesetzt. Im letzten Kapitel folgt die Zusammenfassung und Schlussfolgerung der Arbeit. Des Weiteren wird ein Ausblick auf zukünftige Aufgaben gegeben.

Kapitel 3

Grundlagen

In diesem Kapitel wird ein Einblick in die Grundlagen gewährt. Dabei wird sowohl auf den Aufbau und die Funktionsweise des Hörsystems eingegangen, sowie einige Aspekte der Psychoakustik, der Sprachwahrnehmung und der Sprachverständlichkeit betrachtet. Anschließend wird auf Schwerhörigkeiten und ihre Arten eingegangen. Der Begriff *Qualität* und die Grundenlagen zur Qualitätsbewertung werden beleuchtet. Danach werden einige Grundlagen zum Paketverlust bei VoIP-Übertragung beschrieben. Abschließend wird in diesem Kapitel ein Einblick in den Stand der Forschung gegeben.

3.1 Aufbau und Funktionsweise des Gehörs

Das Gehör gehört zu den Sinnesorganen, welche den Menschen an sein Umfeld ankoppeln. Es ist in Aufbau und Funktion auf das Verstehen der menschlichen Stimme optimiert und ist somit eine maßgebliche Komponente der alltäglichen akustischen Kommunikation [42]. Es ermöglicht uns eine Unterscheidung von Lautstärke, Frequenzgehalt, Einfallsrichtung und zeitlichen Verlauf des hörenbaren Schalls [5]. Seine Hauptaufgabe besteht darin, die Schallwellen, die als Luftdruckschwankungen auf das Gehör treffen, in Nervenimpulse umzuwandeln. Dazu sind mehrere Schritte notwendig. In den nachfolgenden Abschnitten wird dieser Vorgang, sowie der Aufbau des Gehörs genauer betrachtet.

3.1.1 Anatomie und Physiologie des Ohres

Das Hörsystem wird in einen peripheren Teil und in einen zentralen Teil unterteilt [2]. Zum peripheren Teil gehören: *äußeres Ohr, Mittelohr, Innenohr, Hörnerv (Teil des VIII. Hirnnervs)* und zum zentralen Teil gehören: *zentrale Hörbahn, subkortikale und kortikale Hörzentren*. Die anatomisch-morphologische Grenze dieser beiden Teile liegt an der Eintrittsstelle des VIII. - Hirnnerven in den Hirnstamm [2]. Beide Teile werden nun detaillierter betrachtet.

3.1.1.1 Peripheres Hörsystem

In Abbildung 3.1 ist das periphere Hörsystem abgebildet.

3. GRUNDLAGEN

3.1. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES GEHÖRS

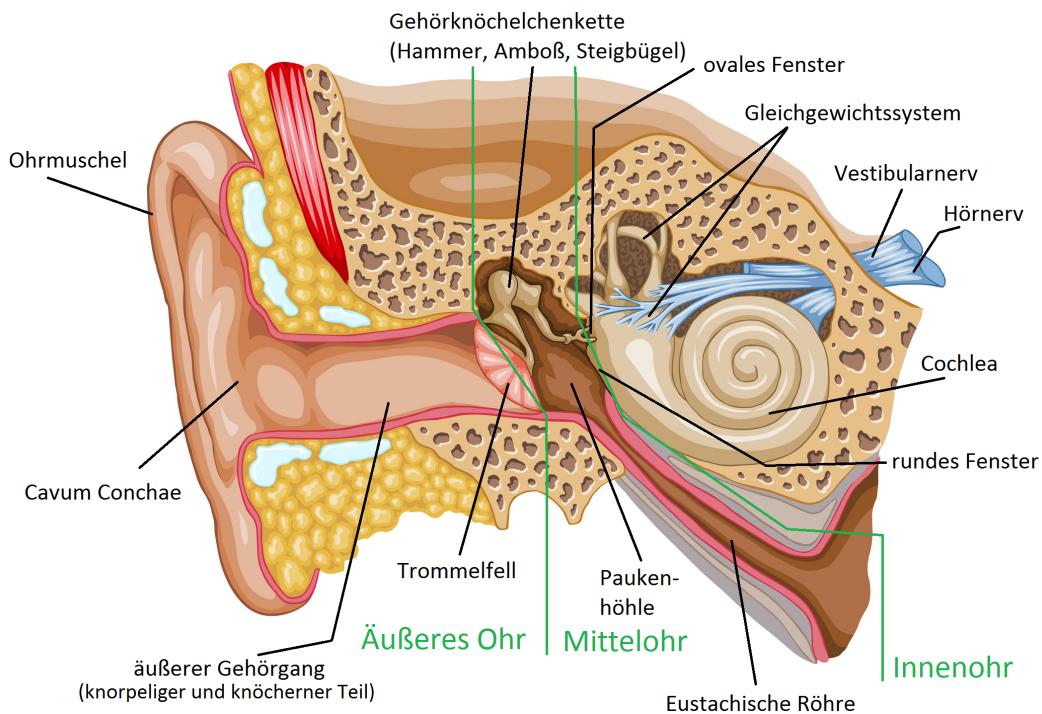


Abbildung 3.1: Schematische Abbildung des menschlichen peripheren Hörsystems (Grundlage der Abb. [17])

Äußeres Ohr: Der sichtbare Teil des Gehörs bildet das äußere Ohr. Es erstreckt sich von der Ohrmuschel, über den äußeren Gehörgang, bis hin zum Trommelfell. Das äußere Ohr erfüllt mehrere Funktionen [3]. Die Ohrmuschel (Pinna) ist ein mit Haut überzogenes Knorpelgerüst und hat eine individuell unterschiedliche Form. Sie führt zusammen mit dem Kopf und Schulterbereich eine Schalldrucktransformation durch. Diese Transformation verändert das im freien Schallfeld vorherrschende Schallsignal richtungsabhängig zum Schallsignal vor dem Trommelfell. Dabei wirken Kopf, Schulterbereich und Ohrmuschel als Beugungskörper, Concha und äußerer Gehörgang als Resonatoren. Der Gehörgang hat im Mittel eine Länge von rund 25 mm und ein Volumen von rund 3 cm³. Die Gehörgangsresonanzen liegen im Bereich von 1 – 3 kHz und führen zu einem erhöhten Schalldruckpegel von bis zu 20 dB [2]. Nicht nur die durch Beugung entstandenen Laufzeit- und Pegelunterschiede sind für die Lokalisation der Schallquelle entscheidend. Sondern auch der dadurch veränderte Frequenzgang des Schallsignals. Diese richtungsabhängigen Übertragungsfunktionen nennt man HRTF (Head related Transfer Function - Kopfbezogene Übertragungsfunktion). In Abbildung 3.2 ist eine HRTF zu sehen. Der markante Einschnitt in der HRTF wird durch die Ohrmuschel verursacht und trägt deshalb den Namen Pinna-Notch („Ohrmuschelkerbe“). Diese Kerbe liegt typischer Weise zwischen 5 kHz und 11 kHz [6].

Außerdem schützt das äußere Ohr die tiefer liegenden Abschnitte. Durch die S-Krümmung des äußeren Gehörgangs, gibt es keine geradlinige Verbindung zwischen der Öffnung des Gehörgangs und dem Trommelfell. Der Wind kann bspw. nicht

3. GRUNDLAGEN

3.1. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES GEHÖRS

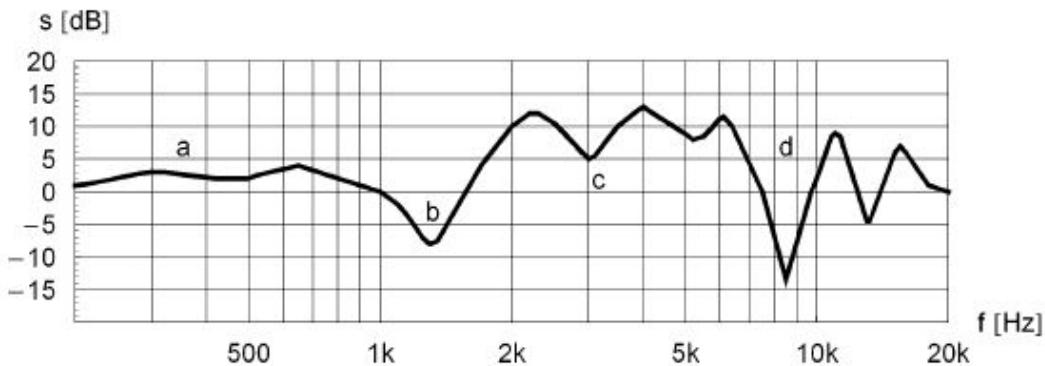


Abbildung 3.2: Typische Außenohr-Übertragungsfunktion bei frontaler Beschallung, a: tieffrequenter Bereich, b: Schulterreflexion, c: $\lambda/4$ -Resonanz, d: Einfluss der Ohrmuschel [45]

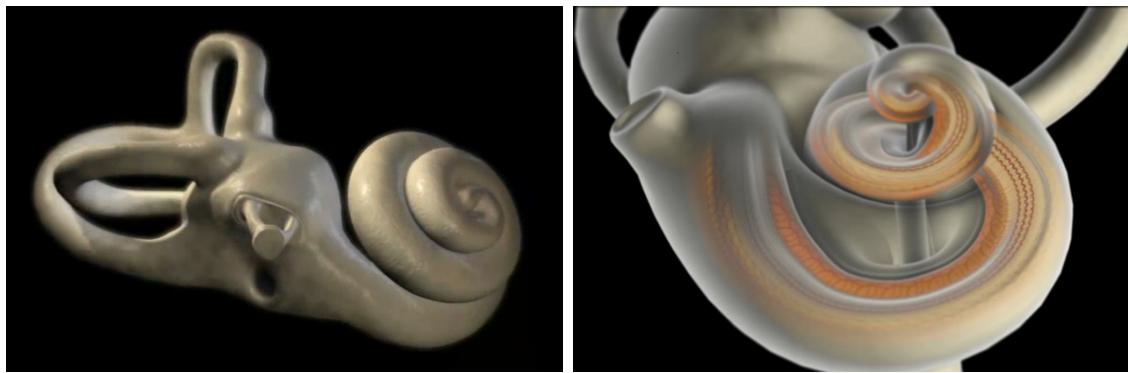
direkt auf das Trommelfell drücken [5]. Des Weiteren wird im vorderen Teil des Gehörgangs das Cerumen gebildet, welches zusammen mit kleinen Häärchen das Gehör vor dem Eindringen von Schmutz und Insekten schützt.

Mittelohr: Das Mittelohr umfasst die luftgefüllte Paukenhöhle (siehe Abb. 3.1) und wird nach außen hin vom Trommelfell begrenzt. Sie erstreckt sich bis zum ovalen Fenster und ihr ist nach unten die Eustachische Röhre angeschlossen, welche das Mittelohr über den Nasen-Rachen-Raum mit Luft versorgt [42]. Im Mittelohr befinden sich die Gehörknöchelchen (Hammer, Amboß, Steigbügel), sowie die zwei Mittelohrmaskeeln. Der Hammergriff ist mit dem Trommelfell verwachsen. Die Steigbügelfußplatte ist mit dem ovalen Fenster flexibel verbunden. Die Hauptaufgabe des Mittelohres besteht darin, den auf das Trommelfell treffende Luftschatll in das mit Flüssigkeit gefüllte Innenohr zu übertragen [3]. Diesen Vorgang nennt man Impedanzanpassung (Luftschatllimpedanz zu Flüssigkeitsschatllimpedanz). Dabei wird der Schall durch die Hebelwirkung (1,3 fach) der Gehörknöchelchen und durch die Flächentransformation (17 fach) von „großem“ Trommelfell zu „kleinem“ ovalen Fenstern (rund 21 fach) verstärkt [2]. Eine weitere z.T. umstrittene Funktion [2] des Mittelohres ist die Schutzfunktion. Die beiden Mittelohrmaskeeln können über einen Reflexbogen bei hohen Pegeln kontrahieren. Dies hat zur Folge, dass die Gehörknöchelchenkette nicht mehr optimal schwingen kann und somit weniger Schalldruck ins Innenohr geleitet wird. Jedoch ist die Latenz als Schutz für impulsartige Geräusche zu groß. Des Weiteren ermüden die Muskeln bei starker Kontraktion schnell, was wiederum keinen Schutz bei langanhaltender lauter Belastung bedeutet. Es wird angenommen, dass die Mittelohrmaskeeln die Spannungsverhältnisse zwischen Trommelfell und ovalen Fenster konstant halten und zur Unterbindung von Klirrfrequenzen der Gehörknöchelchenkette dienen.

Innenohr: Das Innenohr besteht aus der Cochlea (Hörschnecke) und dem Gleichgewichtssystem (vgl. Abb. 3.1 und Abb. 3.3 Teil (a)). Auch wenn beide Systeme eine örtliche Einheit bilden, so ist ihre Funktion weitestgehend unabhängig [42]. In der Cochlea findet der letzte Schritt bei der Wandlung von Luftschatll in Nervenimpulse statt. Die Cochlea hat eine Länge von etwa 35 mm und besitzt dabei 2,5 Windungen (Abb. 3.3 Teil (b)). Sie ist in drei Kanäle unterteilt, wie in Abbildung

3. GRUNDLAGEN

3.1. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES GEHÖRS



(a) Darstellung des Innenohrs

(b) Einblick in die Hörschnecke

Abbildung 3.3: (a) Darstellung des Innenohrs (Gleichgewichtssystem und Hörschnecke), zusätzlich ist der Steigbügel zu sehen; (b) Darstellung der Hörschnecke, schematischer Einblick der gewundenen Basilmembran mit aufsitzendem Corti-Organ (Abb. aus [9])

3.4 zu sehen ist. Die Scala Vestibuli beginnt am ovalen Fenster, wo die Druckschwankungen ins Innenohr eingeleitet werden. Die Druckwellen laufen durch den Kanal bis an die Spitze der Schnecke, dem Helicotrema. Dort ist die Scala Vestibuli mit der Scala Tympani verbunden. Die Scala Tympani endet am runden Fenster. Dieses „Fenster“ ist flexibel und dient zum Ausgleich, der am ovalen Fenster eingeleiteten Druckwellen. Zwischen den beiden Kanälen liegt die Scala Media.

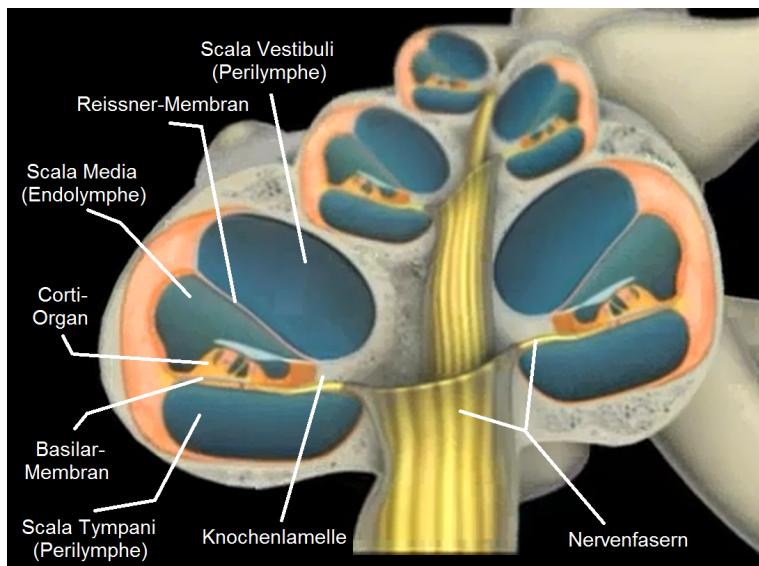


Abbildung 3.4: Schnitt durch die Cochlea, schematische Abbildung der Innenohrkanäle (Grundlage der Abb. aus [9])

In ihr befindet sich das eigentliche Hörorgan, das Corti-Organ (siehe Abbilung 3.5). In der Abbildung sind, orange eingefärbt, die Haarsinneszellen zu sehen. Diese werden in äußere und innere Haarsinneszellen unterschieden. Die äußeren Haarsinneszellen sind mehrreihig (3-4) und die inneren Haarsinneszellen stehts einreihig angeordnet. Im Corti-Organ findet die eigentliche Wandlung einer mechanischen Druckwelle in elektrische Nervenimpulse statt. Bei der Bewegung der Druckwelle durch

3. GRUNDLAGEN

3.1. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES GEHÖRS

die Innenohrkanäle, werden die Membranen (Reisser'sche Membran und Basilarmembran) ausgelenkt. Bei dieser Auslenkung kommt es auch zur Verschiebung der Tektorialmenbran (in Abb. 3.5 blau eingefärbt). Dabei werden die Haare (Stereozilien) der Haarsinneszellen (in Abb. 3.5 orange eingefärbt) abgescherzt. Diese Abscherung führt innerhalb der Zelle, durch Einströmen von K^+ -Ionen, zu einer Veränderung des Membranpotentials und letztendlich zur Generierung eines Nervenimpulses. Das Corti-Organ erstreckt sich über die gesamte Länge der Basilarmembran. Jede ein-treffende Frequenz führt zu einer maximalen Auslenkung der Wanderwelle an einem bestimmten Ort der Basilarmenbran. Somit ist jede Frequenz des hörbaren Schalls ein Abschnitt des Corti-Organs zugeordnet. Die hohen Frequenzen liegen nahe am ovalen Fenster und tiefe Frequenzen nahe dem Helicotrema [3]. Weiterführende Informationen zum Aufbau und Funktionsweise der Cochlea und zur Transformation von Schallwellen in Nervenimpulse sind bei [2], [3] und [46] zu finden.

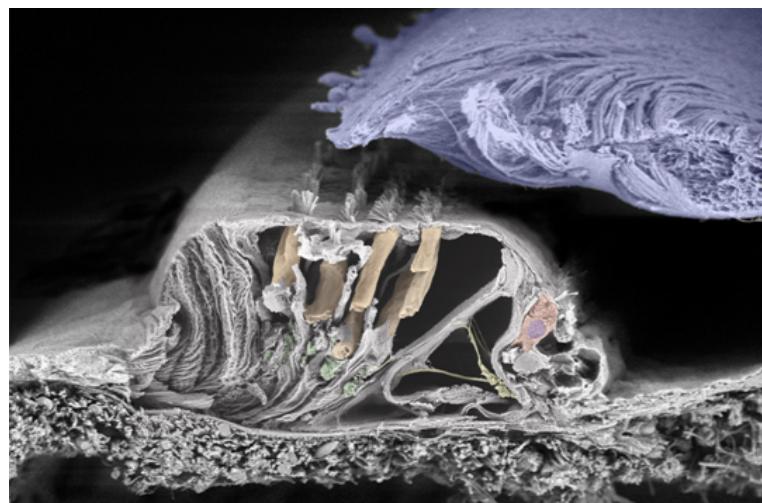


Abbildung 3.5: Bearbeitete Elektronenmikroskopaufnahme des Corti-Organs [14]

Hörnerv: Der Hörnerv leitet die im Corti-Organ generierten Aktionspotentiale weiter. Dabei ist ein Antwortverhalten der Einzelneuronen relativ einheitlich [2]. Es werden die Schallintensität, die Dauer und die Schallfrequenz im Hörnerv als Musterfolgen von Aktionspotentialen an das Gehirn und dort zur Hörrinde weitergeleitet [3]. Die Schallintensität wird über die Häufigkeit der Nervenimpulse kodiert. Je höher die Intensität ist, desto dichter ist die Impulsfolge. Zusätzlich werden, bei weiterhin steigender Schallintensität, auch benachbarte Nervenfasern angeregt. Aus der Dauer, in der die Nervenimpulsmuster erfolgen, wird die Zeitdauer des Schallsignals kodiert. Die Schallfrequenz ist über die Anregung einzelner Nervenfasern kodiert. Wie schon bekannt ist der hörbare Schallfrequenzbereich über das gesamte Corti-Organ aufgeteilt. Somit werden nur bestimmte Fasern bei bestimmten Frequenzen angeregt.

3.1.1.2 Zentrales Hörsystem:

Das zentrale Hörsystem stellt ein komplexes und leistungsfähiges Verarbeitungs-, Kodierungs- und Dekodierungssystem dar. Die Nervenfasern, die zusammen genom-

3. GRUNDLAGEN

3.1. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES GEHÖRS

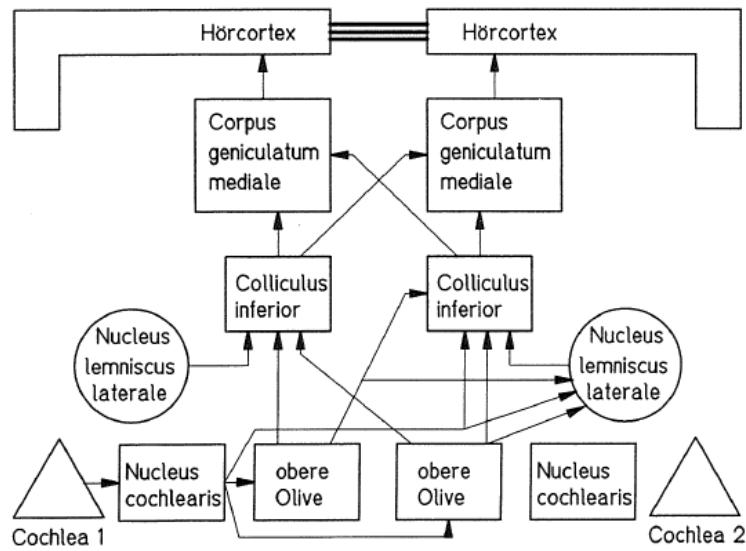


Abbildung 3.6: Schematische Abbildung der Hörbahnen des auditiven Systems. Es sind nur die aufsteigenden Hörbahnen eines Ohres eingezeichnet. (Cochlea 1) [42]

men den Hörnerv bilden, werden über mehrere Umschaltstationen (1. - 6. Neuron) zur Hörrinde (Hörortex) geleitet. Die Abbildung 3.6 illustriert die komplexe Verschaltung der Hörbahnen. Die primäre Hörrinde liegt in einer Querwindung des Schläfenlappens. Die angrenzenden Hirnregionen werden als sekundäre Hörrinde bezeichnet [2]. Die bewußte Verarbeitung des Gehörten findet in der Hörrinde statt. Die Kenntnisse über das Verhalten der einzelnen Bestandteile stammen überwiegend von Messungen am Tier, jedoch auch aus Untersuchungen am Menschen [2]. So wurden Neuronen entdeckt, die empfindlich auf Zeit- und Intensitätsunterschiede reagieren. Andere Neuronen wiederum reagieren selektiv und spezifisch auf Kombinationen von Reizparametern (Spektrum, Geschwindigkeit und Richtung der Änderung des Spektrum usw.). Die Ergebnisse liefern aber bis heute nur einen beschränkten Einblick in die Funktionsweise des zentralen Hörsystems [2].

3.1.2 Psychoakustik

Unter Psychoakustik versteht man die Beziehung von einem akustischen Reiz und der subjektiven Wahrnehmung und dem Verhalten, welches dieser Reiz auslöst. Ein großer Teil der heute vorhandenen Kenntnisse über die Fähigkeiten des Hörsystems wurden mit Hilfe psychoakustischer Methoden ermittelt [25]. Der Mensch ist also selbst das Messobjekt [2]. Die Vielzahl, der mitunter sehr verschiedenen Untersuchungsmethoden, vereinen jedoch ein und das selbe Prinzip. Dem Gehör einer Versuchsperson wird ein akustischer Reiz dargeboten und die subjektive Empfindung registriert. Unter Abhängigkeit von Reizparameter können diese Angaben ausgewertet werden. Dieses Vorgehen ermöglicht einem u. a. Wahrnehmungs- und Unterscheidungsschwellen, Lautstärke- und Maskierungseffekt sowie sprachliche Diskriminationsfähigkeiten zu erfassen.

3.1.3 Entdecken von Reizschwellen

Wie schon genannt, kann ein physikalischer Reiz eine Wahrnehmung auslösen. Je doch stellt sich die Frage, wie groß dieser Reiz sein muss. Dabei stellt die Absolutschwelle den niedrigsten Betrag der Reizenergie dar, der nötig ist um den Stimulus zu erkennen [8]. Die schon angedeuteten Methoden, die aus der klassischen Psychophysik entstammen, sind die Grenzmethode, die Herstellungsmethode und die Konstanzmethode [8].

Das unterschiedliche Vorgehen dieser Methoden bei der Ermittlung der Schwelle, wird nun kurz erläutet.

Bei **der Grenzmethode** wird der Reiz mit aufsteigender oder absteigender Intensität dargeboten. Der Versuchsteilnehmer soll nun sagen ab wann er eine Wahrnehmung hat, z. B. ab wann er den lauter werdenen Ton hört. Anschließend wird der Ton wieder leiser gedreht, bis er nicht mehr gehört wird. Dieses Vorgehen wird mehrfach wiederholt. Der gemittelte Übergang zwischen nicht gehört und gehört markiert die Wahrnehmungsschwelle.

Bei **der Herstellungsmethode** wird ein Stimulus von der Versuchsperson oder dem Versuchsleiter solange eingeregelt, bis die Versuchsperson den Stimulus / Stimulusunterschied gerade eben noch wahrnehmen kann, bzw. bis sich eine gewünschte Vorgabe einstellt („Licht B doppelt so hell wie Licht A einregeln“). Dieses Verfahren kann auch mehrfach wiederholt werden. Die über alle Wiederholungen gemittelte Reizintensität gilt als Wahrnehmungsschwelle.

Bei **der Konstanzmethode** werden der Versuchsperson mehrfach verschiedene Stimuli in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Sie soll nun den Reizen bestimmte Merkmale zuordnen [32]. In Abbildung 3.7 ist das Ergebniss eines solchen Versuchs zu sehen [8]. Dabei handelt es sich um ein hypothetisches Experiment, bei dem einer Person Reize verschiedener Intensitäten dargeboten wurden (z. B. verschieden laute Wörter). Die Versuchsperson soll nun das Merkmal „erkannt“ oder „nicht erkannt“ den Reizen zuordnen (z. B. verstanden oder nicht verstanden). Als Ergebnis ergibt sich die Wahrscheinlichkeit mit der die Stimuli erkannt bzw. nicht erkannt wurden. Als Schwelle wird die Reizintensität definiert, die in 50 % der Fälle zur Entdeckung geführt hat. Da nicht alle Intensitäten gemessen wurden, werden die Ergebnisdaten interpoliert. In diesem Beispiel wurden die Intensitätssufe 150 in 0 % der Fälle und die Stufe 200 in 100 % der Fälle erkannt. Die Reizschwelle liegt somit, laut Definition, bei einer Reizintensität von 180.

3.1.4 Hörfäche

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Methoden, werden auch zur Bestimmung der Wahrnehmungsgrenzen des Gehörs verwendet. Der Bereich, indem das menschliche Hörsystem akustische Reize wahrnehmen kann, wird als Hörfäche bezeichnet (siehe Abbildung 3.8). Die Hörschwelle markiert dabei die „untere“ Grenze des Hörens. Bei der Untersuchung der Hörschwelle des Menschen ging hervor, dass die Hörschwelle frequenzabhängig ist. So wird bei tiefen, als auch bei hohen Frequenzen ein höherer Schalldruckpegel benötigt um wahrgenommen zu werden [2]. Die

3. GRUNDLAGEN

3.1. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES GEHÖRS

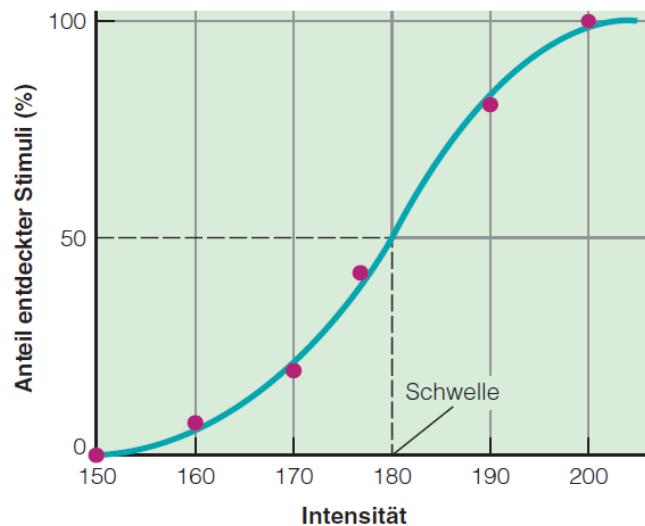


Abbildung 3.7: Psychometrische Funktion - Ergebnis eines hypothetischen Experiments zur Entdeckung einer Reizschwelle. (Grundlage der Abb. aus [8])

„obere“ Grenze des Hörfelds ist die Schmerzgrenze. Bei den meisten audiologischen Untersuchungen (z. B. Tonaudiometrie beim HNO-Arzt oder auch beim Hörgeräteakustiker) wird als „obere“ Grenze die Unbehaglichkeitsschwelle ermittelt. Sie gibt den höchsten Pegel an, bei dem ein Ton noch ohne Schmerzempfinden, jedoch als unangenehm laut wahrgenommen wird. Die „seitlichen“ Grenzen der Hörläche werden durch den Frequenzbereich markiert, in dem das Gehör für Schall empfindlich ist. Dieser Bereich umfasst etwa $20\text{ Hz} - 20\text{ kHz}$.

Die in Abbildung 3.8 eingezeichneten Isophonen, sind Linien auf denen die Pegel-Frequenzkombinationen als gleich laut wahrgenommen werden. Sie werden in „Phon“ angegeben. Im Bezugspunkt bei 1 kHz entsprechen die Schalldruckpegelwerte in [dB], den Lautstärkewerten in [Phon].

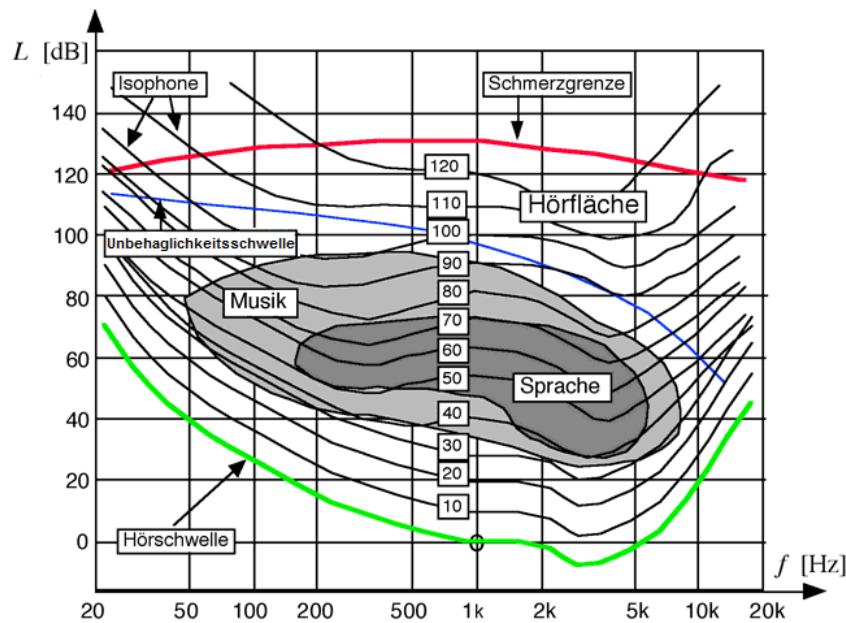


Abbildung 3.8: Hörfläche des menschlichen Gehörs, es sind zusätzlich zu den Isophonen, der Hörs-, Unbehaglichkeits- und Schmerzschwelle, auch die Bereiche für Sprach- und Musikwahrnehmung dargestellt (Grundlage der Abb. aus: [41])

3.2 Hörstörungen und ihre Formen

Da das Hörsystem einen komplexen Aufbau und eine komplexe Funktionsweise besitzt, können dort auch viele Quellen für Störungen auftreten. Die Ursachen können in einzelnen oder mehreren Komponenten gefunden werden. So wird eine Hörstörung als erste Klassifikation nach ihrer Verortung benannt. Liegt eine Störung der Schallzuleitung zum Innenohr vor (vgl. Abschnitt 3.1.1), so bezeichnet man sie als *Schallleitungsschwerhörigkeit*. Befindet sich die Störung hingegen im eigentlichen sensorischen Teil, dem Innenohr, so wird die Schwerhörigkeit als *Schallempfindungsschwerhörigkeit* bezeichnet. Bei einer Störung der Fortleitung im Hörnerv oder in den Hörbahnen, handelt es sich um eine *neurale- oder retrocochleare Hörstörung*. Befindet sich die Hörstörung jedoch in der Hörinde, wird sie als *zentrale Hörstörung* bezeichnet [25].

Es treten auch Kombinationen dieser Hörschädigungen auf. Die häufigste Form einer kombinierten Schwerhörigkeit, ist eine Schallleitungskomponente, die sich mit einer Schallempfindungskomponente überlagert [2]. Im nachfolgenden Abschnitt wird kurz auf die verschiedenen Formen eingegangen. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf die Schallempfindungsschwerhörigkeit gelegt, da sie auch Bestandteil der Untersuchung in dieser Arbeit ist.

3.2.1 Schallleitungsschwerhörigkeit

Dabei handelt es sich, wie der Name schon vorgibt, um eine Störung der Schallleitung von der Ohrmuschel, bis hin zum ovalen Fenster. Es gibt dabei eine Vielzahl von

möglichen Ursachen. Hier kann es sich bspw. um eher einfache Probleme handeln, wie eine Verstopfung des Gehörgangs mit Ohrenschmalz, aber auch schwerwiegenderen Erkrankungen, wie chronische Mittelohrentzündungen oder auch Otosklerose¹ [2]. Als Extremfall einer Schallleitungshörstörung ist der Schalleitungsblock zu nennen [2]. Dabei fällt die Luftschallzuleitung und die Impedanzanpassung im Mittelohr weg. Ein Höreindruck kann nur noch über die direkte oder indirekte Anregung von Knochenhalschall erzielt werden.

3.2.2 Schallempfindungsschwerhörigkeit

Hierbei handelt es sich um eine Schädigung im Innenohr. Die möglichen Ursachen von Innenohrschwerhörigkeiten sind sehr vielfältig [25]:

- Langsam fortschreitender Hörverlust v. a. bei hohen Frequenzen, mögl. Ursachen (Lärm, Medikamenteneinwirkung, unzureichende Blutversorgung, Alterung)
- Haarzellschädigung durch Lärm- oder Knalltrauma
- Körpereigene Zerstörung von Haarzellen, Folge bakterieller Infektionen (z. B. Meningitis)
- Haarzellschädigung durch ototoxische Substanzen (z. B. Antibiotika)
- Hörsturz, möglicherweise verursacht durch Erschöpfung oder Mangelversorgung mit Sauerstoff
- Hydrostatischer Überdruck im Endolymphraum der Cochlea (Morbus Menière)
- Erblich bedingter Hörverlust
- etc.

Viele der genannten Ursachen können eine völlige Taubheit verursachen. Ein häufiger Fall einer Innenohrschwerhörigkeit ist die Lärm- oder Altersschwerhörigkeit. Beide Hörstörungen haben eine Verschlechterung zuerst im höherfrequenten Bereich gemeinsam. Der Grund dafür wird oftmals im Aufbau der Cochlea gesehen. Da hohe Frequenzen an der Schneckenbasis liegen, werden alle Druckwellen über diesen Bereich geleitet, auch wenn es sich um einen energiereichen tiefen Ton handelt, dessen Verortung an der Schneckenspitze zu finden ist.

Die **Lärmschwerhörigkeit** ist eine Schädigung, die durch langanhaltenden Einfluss von hohen Schalldruckpegeln (über 85 – 90 dB) verursacht wird [3]. Ist die Einwirkzeit relativ gering, verschiebt sich die Hörschwelle nur vorübergehend (TTS - Temporal Threshold Shift). Die TTS kann sich wieder zurückbilden. Die dafür nötige Erholungsphase (Pegel unterhalb von 75 dB) ist umso länger, je lauter und länger die

¹Es handelt sich dabei um eine Erkrankung der knöchernen Labyrinthkapsel. Dadurch kann es zur Verknöcherung des Steigbügels mit dem ovalen Fenster kommen. Dies hat zur Folge, dass die Druckeinleitung ins Innenohr gestört ist.

3. GRUNDLAGEN

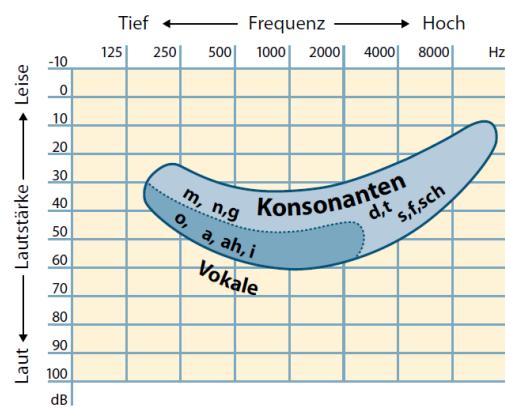
3.2. HÖRSTÖRUNGEN UND IHRE FORMEN

vorherige Lärmeinwirkung war. Ist der Zeitraum zu kurz und es kommt immer wieder zu intensiver Lärmeinwirkung, kann sich das Gehör nicht mehr erholen. Es kommt zu einer dauerhaften Schädigung (PTS - Permanent Threshold Shift).

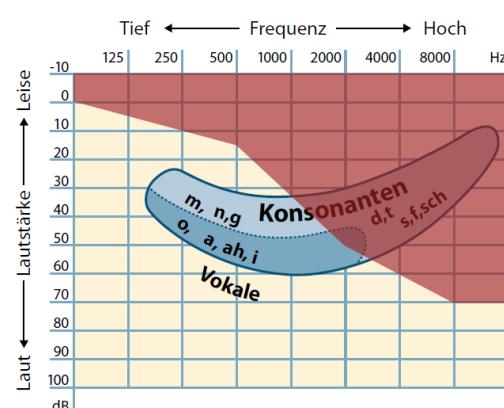
Die **Altersschwerhörigkeit** ist eine Schädigung im Rahmen der natürlichen Alterung [3]. Sie tritt meist im Alter 55 bis 60 Jahren auf. Die Ursachen liegen dabei u.a. in der Verhärtung der Basilmembran, Verfall der Haarsinneszellen und der cochlearen Neuronen. Diese Prozesse werden durch Lärmeinwirkung, Nährstoffversorgung und ototoxische Substanzen verstärkt und beschleunigt.

Des Weiteren kommt es bei Innenohrschwerhörigkeiten oft zu einem pathologischen Lautheitsanstieg (auch als Rekrutement bezeichnet). Dabei handelt es sich um die Erfahrung, dass geringe Schallpegel kaum oder gar nicht wahrgenommen werden, hohe Schallpegel hingegen sehr schnell zu laut sind. Durch die Schädigung der äußeren Haarsinneszellen, ist der aktive Verstärkungsprozess bei geringen Schallpegeln in der Cochlea ausgefallen. Der Sprachdynamikbereich des Schwerhörigen ist somit eingeschränkt. Tests, die Rekrutement nachweisen, gelten als Beweis für das Vorliegen einer sensorischen Hörstörung [25].

In der Abbildung 3.9 sind zwei Sprachfelder mit Konsonaten und Vokalen zu sehen. Auf der rechten Seite ist zusätzlich schematisch eine Hochton-Hörminderung eingezeichnet. Der Kurvenverlauf ist hierbei typisch für Altersschwerhörigkeiten (Presbyakusis). Wobei der Hochtonbereich zuerst eingeschränkt ist. Hingegen zeigt der Tiefotonbereich einen normalen Verlauf. Man kann erkennen, dass einige Konsonanten nicht mehr wahrgenommen werden. Dies führt zu einer Verschlechterung des Sprachverständens. In einer ersten Näherung, ist der tieftönige Bereich der Sprache für die Lautstärke des Gesprochenen zuständig und der hohotonige Bereich für die Schärfe und Deutlichkeit der Sprache. Dies führt zur typischen Aussage eines Schwerhörigen mit einer derartigen Beeinträchtigung: „Ich höre noch gut, es ist nur alles undeutlich, die Leute nuscheln alle“.



(a) Sprachfeld



(b) Sprachfeld mit Hochton-Hörminderung

Abbildung 3.9: Sprachfeld: (a) normalhörend, (b) mit zusätzlicher Hochtonminderung (rot), Abb. aus [1]

3.2.3 Neurale Hörstörung

Die Beeinträchtigungen des Hörvermögens, sind in vielen Fällen nur Begleiterscheinungen oder Folgen anderer Erkrankungen, die nicht ausschließlich noch teilweise das Gehör betreffen [25]. Bei einigen dieser Erkrankungen handelt es sich um: Multiple Sklerose (evl. Entmarkung der Hörbahnanteile), Gefäßschlingen (Kompression des Hörnerv), Tumoren (Akustikusneurinom), Mangelversorgung (z. B. durch Infarkte). Durch Raumforderungen oder Unterversorgung beeinträchtigen neurale Hörstörungen oft die Funktionalität der Cochlea [25].

3.2.4 Zentrale Hörstörung

Zentrale Hörstörungen sind durch Einschränkungen der Diskriminationsleistung gekennzeichnet. Es kommt zu einer Minderleistung des Richtungshörens oder der Sprachverständlichkeit, besonders im Störgeräusch. Sie kann bspw. durch Hirnblutungen verursacht sein. Liegt keine organische Schädigung vor, so handelt es sich um eine *Auditive Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörung (AVWS)*. AVWS wird als vorbewusste und bewusste Störung der Analyse von Zeit, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen, akustischer Signale und bei binauraler Interaktion definiert [2].

3.3 Spracherzeugung und Sprachverstehen

Unter Sprache wird im Allgemeinen ein System zur Kommunikation verstanden. Dieses System besteht dabei aus Zeichen, Regeln und ist dabei sinnbehaftet. Den Zeichen wird eine bestimmte Bedeutung zugeschrieben. Die Regeln strukturieren die Verwendung dieser Zeichen. Um zur Kommunikation zu dienen, müssen die Zeichen und ihre Bedeutung dem Sender, als auch dem Empfänger bekannt sein. Dabei kann es sich bei Sprache bspw. um Zeichensprachen, Programmiersprachen, Schriftsprachen oder eben auch gesprochene Sprachen handeln. Die gesprochene Sprache ist eine Unterkategorie der Sprache, bei der Sprache über einen akustischen Kanal verbreitet wird [35]. Sie ist eine der ursprünglichsten Formen der zwischenmenschlichen Interaktion und das beste Mittel, Gedanken auszudrücken [39]. Die von menschlichen Sprechtrakt erzeugten sinnhaften Laute werden als gesprochene Sprache definiert [5]. Dabei wird an dieser Stelle vernachlässigt, dass es auch künstlich erzeugte Sprache gibt, wie z.B. über ein TTS-System (Text-To-Speech). Durch die Sinnhaftigkeit grenzt sie sich von anderen akustischen Signalen (bspw.: Geräusch, Klang, Reinton etc.) ab. Im weiteren Verlauf wird unter Sprache, natürlich-gesprochene Sprache verstanden. Für die Audio- und Kommunikationstechnik, ist sie als akustisch-elektrisches Signal besonders von Interesse, da ein Großteil der Audio- und Sprachanwendungen auf die menschliche Kommunikation abzielen.

3.3.1 Spracherzeugung

Die Spracherzeugung ist ein komplexes System, an dem eine Vielzahl von Komponenten beteiligt sind. Das Zusammenspiel dieser Komponenten muss, ab dem frühen Kindesalter, erlernt werden. Dafür stehen der akustische Weg (Hören des Gesagten) und der kinästhetische Weg (Sprech-, Atmenmusklatur) als Rückkopplungspfade zur

3. GRUNDLAGEN

3.3. SPRACHERZEUGUNG UND SPRACHVERSTEHEN

Verfügung [33]. In Abbildung 3.10 ist eine schematische Darstellung des Sprechapparates zu sehen.

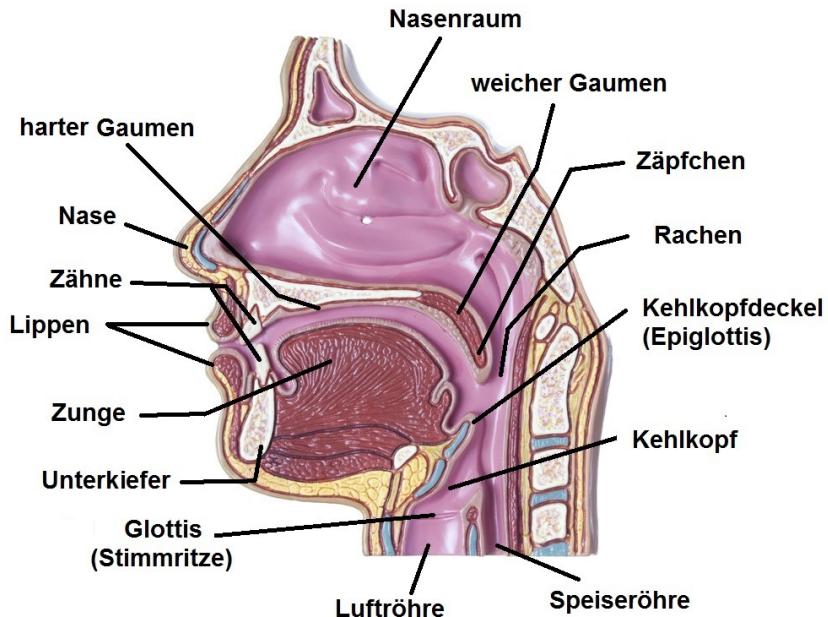


Abbildung 3.10: Sagittalschnitt des menschlichen Sprechapparates (Grundlage der Abb. aus [4])

Voraussetzung für die Spracherzeugung ist das Vorliegen eines Luftstroms, der aus Richtung der Lunge nach außen drängt [33]. Die Erzeugung von Sprachlauten wird in zwei Teilsysteme unterteilt [27]. Das erste Teilsystem dient zur Schallerzeugung und das zweite Teilsystem zur Schallformung. Die Schallerzeugung erfolgt im Kehlkopf durch die Schwingbewegung der Stimmlippen. Der Luftstrom drückt von unten gegen die geschlossenen Stimmlippen. Da sich der Druck erhöht, werden die Stimmlippen aufgepresst. Mit dem Öffnen der Stimmlippen geht ein Druckabfall einher, der zur Folge hat, dass die muskulär vorgespannten Stimmlippen wieder zufallen. Dieser Vorgang wiederholt sich z. B. 120 mal pro Sekunde. Dies entspricht etwa der Sprachgrundfrequenz beim Mann. Die Schwingbewegungen modulieren den Luftstrom, dabei entsteht eine hörbarer Schall. Dies bezeichnet man als stimmhafte Anregung. Daneben gibt es noch die stimmlose Anregung, bei der die Stimmlippen leicht geöffnet sind. Die durchströmende Atemluft erzeugt dabei ein rauschhaftes Signal. Die Schallformung findet in einem Hohlraumsystem statt. Dieses System, auch als Vokaltrakt bezeichnet, formt den modulierten Luftstrom, indem es seine Resonanz-eigenschaften dynamisch verändert. Um die Resonanz-eigenschaften zu variieren, wird u. a. die Stellung der Zunge, der Lippen und des Gaumens verändert. Das System zur Schallformung erstreckt sich von oberhalb der Stimmlippen bis zur Mund- bzw. Nasenöffnung [27]. Modellhaft wird die Spracherzeugung auch als eine Kombination aus einem Anregesignal (Quelle) und einer Filterung (Vokaltrakt) gesehen, dem „Quelle-Filter-Modell“. In Abbildung 3.11 ist dieses Modell skizziert, welches die einzelnen Komponenten als Blockschaltbild aufgreift. Eine umfassende

3. GRUNDLAGEN

3.3. SPRACHERZEUGUNG UND SPRACHVERSTEHEN

Beschreibung der menschlichen Sprachlauterzeugung ist bei [27], [39] und [33] zu finden.

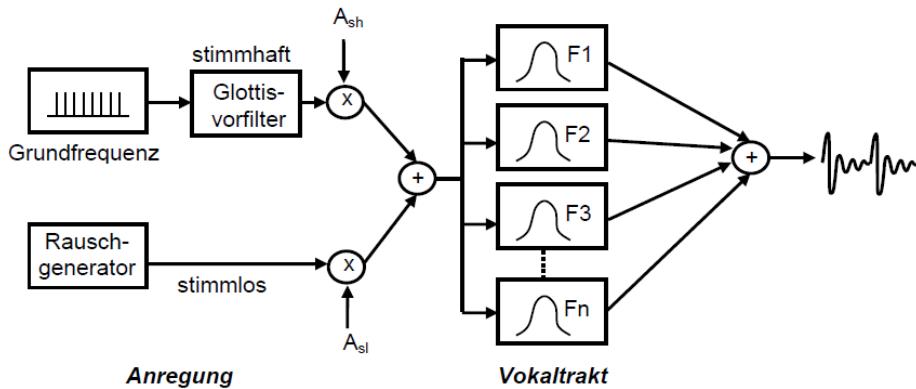


Abbildung 3.11: Menschliche Spracherzeugung als Quelle-Filter-Modell (Abb. aus [33])

3.3.2 Sprachverstehen

Damit Sprache verstanden werden kann, muss das auditorische System mehrere Aufgaben erfüllen. Jenseits der Schallaufnahme und Umwandlung in Nervenimpulse, muss es die sich überlappenden spektralen und zeitlichen Merkmale differenzieren und die enthaltenen Informationen dekodieren können [35].

Bei detaillierter Betrachtung kann man verschiedene Begrifflichkeiten unterscheiden. *Die Verstehbarkeit* („*Comprehensibility*“) eines Sprachsignals meint dabei die Eignung eines Signals die gewünschte Information zu übertragen und bezieht sich dabei nur auf die Signalform. Hierbei handelt es sich um eine Identifikation auf Phone-mebene, ohne die Notwendigkeit eines kompletten Wortschatz. *Die Verständlichkeit* („*Intelligibility*“) sagt aus, wie gut eine Äußerung anhand ihrer Form erkannt werden konnte. Dabei hängt die Verständlichkeit stark vom Wortschatz und dem syntaktischen und semantischen Kontext ab. *Die Kommunizierbarkeit* („*Communicationability*“) einer Sprachäußerung bedeutet, wie gut diese zur Kommunikation beitragen kann. Dabei soll die Äußerung vom Empfänger voll und idealerweise im Sinne des Senders verstanden werden [35]. Damit eine Äußerung kommunizierbar ist, bedarf es einem gewissen Maß an Verständlichkeit und somit auch einem gewissen Maß an Verstehbarkeit.

Die Kommunizierbarkeit hat eine enge Verwandtschaft mit der Sprachqualität. Sprachqualität kann als wahrgenommene Kommunizierbarkeit in Abhängigkeit zur gewünschten Kommunizierbarkeit betrachtet werden [35]. Im Abschnitt 3.4 wird noch einmal genauer auf den Begriff der Qualität und der Qualitätsbewertung von Sprache eingegangen.

Das Sprachverstehen ist das Ergebnis des gesamten Sprachwahrnehmungsprozess. Dabei wird vorausgesetzt, dass eine Äußerung kommunizierbar ist und der Empfänger in der Lage ist sie zu verstehen [35]. In Abbildung 3.12 ist eine vereinfachte

Darstellung zu sehen, welche die zuvor genannten Begriffe in Bezug setzt. Hierhin ist unter Kontext und Vorwissen, immer nur der Kontext und das Vorwissen gemeint, welches für die Erfassung des jeweiligen Faktors nötig ist.

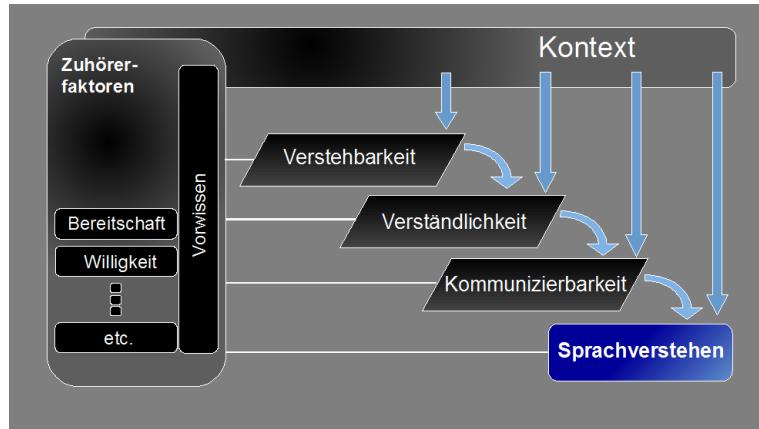


Abbildung 3.12: Schematische Darstellung der Beziehung der Begrifflichkeiten zum Sprachverständnis (Grundlage der Abb. aus [35])

Bei der Durchführung eines Hörversuch, der die Verständlichkeit, die Sinnverständlichkeit, die Kommunizierbarkeit oder das Verständnis untersuchen soll, ist es wichtig, dass der Kontext und das benötigte Vorwissen im Versuch derart gewählt ist, dass keine höheren Verarbeitungsprozesse den Test beeinflussen. Als Beispiel sei hier ein Verständlichkeitstest genannt, der zur Reduzierung des Kontextes sinnlose Wörter verwendet, um den Einfluss des Wortschatzes der Versuchsperson zu minimieren [35].

3.3.3 Standardtests zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit

Es gibt eine ganze Anzahl von verschiedenen Sprachtests, die unterschiedlichen Bereichen entstammen (bspw. Telekommunikation, Audiologie). Bei der Betrachtung der Testmaterialien ist zu erkennen, dass diese sehr unterschiedlich sind. Die Verfahren ansich unterscheiden sich zusätzlich [23]. Diese Unterschiede röhren von den verschiedenen speziellen Anwendungsbereichen her und dienen zu Lösung konkreter Fragestellungen. So ist der Reimtest von Sotscheck entwickelt worden, um die Sprachverständlichkeit von Sprachübertragungen in der Telekommunikation zu prüfen. Andere audiologische Tests bspw. werden durchgeführt, um Hördefizite von Patienten zu ermitteln [23]. In einigen Hörprüfungen werden u.a. Logatome oder Einzelworte verwendet. Um jedoch der natürlichen Kommunikation Rechnung zu tragen, werden auch Hörprüfungen mit Sätzen als Testmaterial durchgeführt, da diese einer Alltagssituation eher entsprechen.

Im folgenden Abschnitt werden Sprachtests erläutert, die aus dem Bereich der Audiologie stammen. Diese Tests analysieren die Fähigkeit der Testperson Sprache zu identifizieren.

3.3.3.1 Sprachaudiometrie

Um Aussagen über das Sprachverstehen einer Testperson zu machen, muss eine Prüfung mit Sprachmaterial, die Sprachaudiometrie, durchgeführt werden. In der Sprachaudiometrie werden die Begriffe „Sprachverständlichkeit“, „Sprachverstehen“, „Sprachverständnis“ und „Diskrimination“ gleichbedeutend verwendet [2].

Im nachfolgenden werden einige Begrifflichkeiten definiert, die für die Einschätzung der Ergebnisse sprachaudiometrischer Test verwendet werden. Die Größen gelten individuell für ein gewisses gewähltes Sprachmaterial und für die gewählte Art der Darbietung [2].

- *Sprachhörschwelle*: Ist der Pegel, bei dem das Sprachtestsignal in 50 % der Durchgänge gehört wird.
- *Sprachverständlichkeitsschwelle*: Ist der minimale Pegel eines Sprachschalls, bei dem 50 % der Testarbeiten richtig verstanden wurden.
- *Sprachverständlichkeit*: Ist der Prozentsatz, der richtig wiedergegebenen Sprachtestsignal, bei einem bestimmten Prüfpegel.
- *Maximale Sprachverständlichkeit*: Ist der höchste Wert der Sprachverständlichkeit, ungeachtet des dafür benötigten Schallpegels.
- *Optimaler Sprachschallpegel*: Ist der Schallpegel, bei dem die maximale Sprachverständlichkeit erreicht wurde.

3.3.3.2 Freiburger Sprachtest

Der Freiburger Sprachtest ist einer der vorwiegend verwendeten Hörprüfungen mit Sprache im deutschsprachigen Raum [2]. Er hat zur Aufgabe die Sprachverständlichkeitsschwelle und das Sprachverstehen zu ermitteln. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass für viele Schwerhörige eine Erhöhung des Schallpegels, nicht unbedingt auch eine Verbesserung des Sprachverstehens bewirkt.

Das verwendetet Testmaterial besteht aus einem mehrsilbigen Teil und einem einsilbigen Teil. Beim Mehrsilberteil handelt es sich um Zahlwörter die in 10 Gruppen zu je 10 mehrstelligen Zahlen angeordnet sind (98, 22, 54, 19 ...). Durch die relativ leichten Testsignale, die trotz einer nur teilweise verstandenen Zahl zum Richtigen erkennen führt, kann die Sprachverständigkeitsschwelle bestimmt werden. Der Einsilberteil besteht aus 20 Gruppen mit je 20 Wörter (Ring, Spott, Farm, Hang, Geist ...). Jedoch haben Untersuchungen ergeben, dass die Gruppen phonetisch nicht ausgewogen sind [2] und dadurch führen verschiedene Testgruppen nicht zur gleichen Diskrimination. Einsilbige Wörter stellen ein schwieriges aber sinnbehaftetes Prüfmaterial dar. Sie sind für die Bestimmung des Sprachverstehens geeignet.

Ein Zahlwörterverständnis von 50 % erreicht ein Normalhörender bei einem Schallpegel von etwa 18 dBspl [13]. Durch die hohe Redundanz bei den Zahlwörtern steigt die Kurve sehr steil an. Dieser Kurvenverlauf ist auch bei Schwerhörigen zu beobachten [25]. Die Differenz zwischen der Kurve Normalhörender und der Kurve Schwerhöriger, wird als Hörverlust für Zahlen bezeichnet. Die Sprachverständigkeitsschwelle

für Einsilber für Normalhörende liegt bei etwa 30 dBspl [13]. Die ermittelte Diskriminationskurve, besitzt ebenfalls einen steilen Anstieg für Normalhörende. Je nach Art und Grad der Hörschädigung weicht der Kurvenverlauf für die Diskrimination von Einsilbern, mitunter deutlich ab. Oftmals wird bis zum Erreichen der Unbehaglichkeitsschwelle kein Einsilberverstehen von 100 % erreicht. Es handelt sich dann um einen Diskriminationsverlust [25].

In Abbildung 3.13 ist dies schematisch dargestellt.

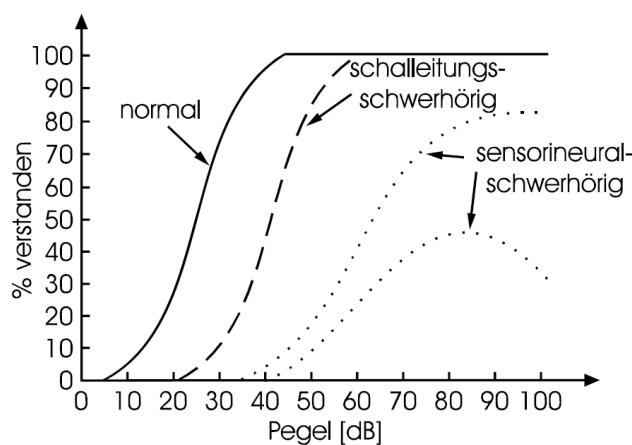


Abbildung 3.13: Schematische Darstellung unterschiedlicher Diskriminationsfunktionen (unterschiedliche Hörstörungen im Vergleich zum unbeeinträchtigten Gehör) Abb. aus [24]

3.3.3.3 Oldenburger Satztest (OLSA)

Der Oldenburger Satztest [12] dient zur Bestimmung der Sprachverständigungsschwelle in Ruhe, wie auch im Störgeräusch. Bei diesem Test, handelt es sich um einen Sprachtest, bei dem kurze Sätze als Testmaterial Verwendung finden. Die Phonemverteilung in den Sätzen entspricht in etwa der Verteilung der deutschen Sprache. Die Sätze folgen alle dem Aufbau „Name-Verb-Zahlwort-Adjektiv-Objekt“ und die Wörter werden zufällig aus einem vorgegebenen Pool von 50 Wörtern ausgewählt (Bsp.: „Doris malt neun nasse Sessel“). Dadurch wird die Wiedererkennung erschwert und der Versuch kann mehrfach durchgeführt werden. Bei der Durchführung des OLSA gibt es einen Lerneffekt. Um verlässliche Ergebnisse zu erhalten muss die Testperson den Test kennenlernen und üben. Für die Messung mit Störgeräusch wird ein sprachsimulierendes Rauschen verwendet, welches aus dem Wortschatz des Test generiert wurde.

3.4 Qualität

Im folgenden Abschnitt werden einige Grundlagen zur Qualität und zur Qualitätsbewertung beschrieben. Dabei wird auf die Qualität als solches, auf den Beurteilungsprozess des Menschen, sowie auf einige Methoden zur Qualitätsbestimmung eingegangen.

3.4.1 Eigenschaften der Qualität

„Die Verbindung hatte heute eine schlechte Qualität.“ „Bei dieser Verarbeitung, kann man von hoher Qualität sprechen.“ „Die Qualität der Beratung war ausgezeichnet.“ Diese und ähnliche Äußerungen finden sich im Alltag immer wieder. Scheinbar ist die „Qualität“ ein einflussreicher Faktor. Möchte man sich im ersten Schritt dem Begriff der Qualität nähern, ist die Definition für Qualität von Jekosch [23] behilflich. Diese besagt sinngemäß:

Qualität ist das Ergebnis einer Vergleichsbewertung zwischen den wahrgenommenen und den gewünschten Eigenschaften eines Objekts.

Dabei muss das Objekt nicht zwangsläufig ein physisches Objekt sein. Ebenso wird ein Dienst / eine Dienstleistung zum Objekt, wenn man ihm Eigenschaften zuordnen kann. Diese Eigenschaften müssen qualitätsrelevante und erfassbare Merkmale des Objektes sein. Um eine Aussage zur Qualität zu machen, werden die Merkmale beurteilt. Dabei spielt die Erwartungshaltung und die Wahrnehmungssituation eine entscheidende Rolle. Ein Großteil der entwickelten Technologie ist für eine Nutzung durch den Menschen vorgesehen. Die Qualität spielt, bei der menschengerechten Auslegung der Produkte und Dienste, eine immer größere Rolle [32].

3.4.2 Subjektive Qualitätsbewertung

Die Messung der Qualität ist ein komplexer Vorgang und lässt sich nur mit wahrnehmenden und beurteilenden Personen durchführen [32]. Sie kann als Ereignis betrachtet werden und hängt immer von der Wahrnehmungs- und Beurteilungssituation ab [32]. Die Beurteilung ist rein subjektiver Natur und erzielt das zuverlässigste Ergebnis.

Bei diesem Vorgang spielen eine Vielzahl von Faktoren eine Rolle. Der gesamte Prozess kann dabei in aufeinander folgende Schritte aufgeteilt werden (vgl. auch Raake [35] und Jekosch [23]). In der nachstehenden Beschreibung wird der Vorgang zur Bewertung eines akustischen Signals beschrieben. Jedoch ist er auch für andere Qualitätsbewertungen gültig.

1. Schallereignis: Ist ein physikalisch-akustischer Vorgang, der durch seine physikalischen Eigenschaften bestimmt wird. Ein Schallereignis ist objektiv und existiert somit unabhängig von der subjektiven Wahrnehmung.
2. Wahrnehmung: Ein Schallereignis wird über das Gehör aufgenommen und wird in diesem Moment zum Hörereignis. Es enthält eine Fülle von physika-

lischen Informationen (z.B. Lautstärke, Frequenzgehalt), aber auch Informationen der Senderseite (z.B. Ort, Stimmung, Geschlecht des Sprechers o.ä.). Zusätzlich zur Aufnahme dieser Informationen spielen Stimmung, Erfahrung, Situation usw. des Empfängers eine Rolle bei der Wahrnehmung. So wird zum Beispiel ein identisches Signal je nach Verfassung unterschiedlich wahrgenommen². All diese Faktoren passen die Wahrnehmung des Gehörten immer wieder neu an.

3. Betrachtung: Der Empfänger betrachtet alle Faktoren des Gehörten. Dabei werden die qualitätsrelevanten Merkmale betrachtet. Die Faktoren werden zu Dimensionen zusammengefasst (z.B. Rauschhaftigkeit, Klangfarbe), wie bspw. bei Wältermann [29] nachzulesen. Dieser Prozess geschieht unterbewusst. Die bewerteten Eigenschaften \vec{m} kann man in einem multidimensionalen Raum abbilden. Gleichzeitig werden in diesem Raum auch die erwarteten Eigenschaften \vec{n} abgebildet. Jede Raumachse bildet eine Qualitätsdimension ab.
4. Vergleich: Nun werden die Werte jeder Dimension \vec{m} und \vec{n} intern verglichen. Der Abstand der Werte bildet die Grundlage für den nachfolgenden Schritt.
5. Beurteilung: Der Empfänger nimmt die jeweiligen Abstände der einzelnen Dimensionen und fügt sie zu einer Bewertung zusammen. Die Abstände gehen je nach Größe unterschiedlich gewichtet in die Beurteilung ein und bilden die Gesamtqualität.

In der nachfolgenden Abbildung 3.14 sind die zuvor beschriebenen Schritte noch einmal schematisch dargestellt. Es soll noch einmal hervorgehoben werden, dass die intere Referenz (gewünschte Beschaffenheit) einer Person, bei der Bewertung der Qualität besonders wichtig ist. Darin werden alle Aspekte der individuellen Erwartung, sachgerechten Erfordernissen oder auch der gesellschaftlichen Forderungen zusammengefasst [32].

3.4.3 Sprachqualität

Bei der Ermittlung der Sprachqualität, wie im Fall einer Telefonverbindung, wird eine Testperson nach der Darbietung einer Sprachprobe (z.B. in reinen Hörversuchen oder in Konversationsversuchen) gebeten, eine Beschreibung der Qualitätswahrnehmung abzugeben. Dabei wird die Qualitätswahrnehmung skaliert, indem die Versuchsperson seine Beschreibung auf einer Skala abbilden soll (Raake [35]). Bei der Übertragung der Beurteilung, auf eine vom Versuchsleiter vorbereiteten Skala, kann es mitunter zu Verzerrungen kommen. Eine häufig verwendete Skala, ist eine diskrete fünfstufige ACR - Skala (ACR - Absolute Category Rating), sie wird in der ITU-T Rec. P.800 [20] vorgeschlagen. Diese Skala wird in vielen Studien verwendet, jedoch besitzt sie einige bekannte Nachteile. Der Proband kann bspw. geneigt sein die Randbereiche seltener zu benutzen, da er vermutet es kommen noch bessere oder schlechter Beispiele. Dies führt zu einer Kompression der Urteile. Zum Anderen, benutzt der Proband die Randkategorien, so kann er beim Auftreten eines schlechteren

²Schulz von Thun [38] hat dem Sender und dem Empfänger einer Information „vier Ebenen“ zugeordnet (Sachebene, Selbstdokumentation, Beziehungsebene, Apellebene). Die Art der Interaktion hängt davon ab, in welcher Weise diese zusammenspielen.

3. GRUNDLAGEN

3.4. QUALITÄT

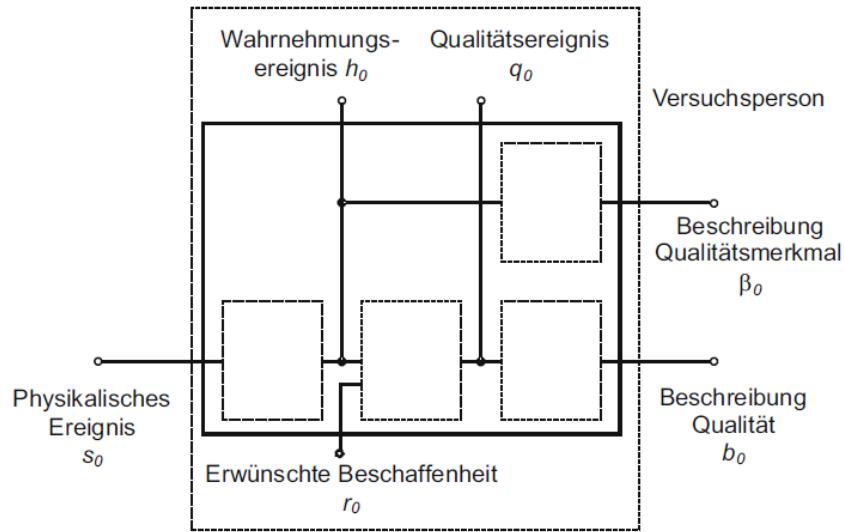


Abbildung 3.14: Schema einer Versuchsperson in einer psychophysikalischen Messung (Abb. aus: [32])

oder besseren Stimulus, dies nicht mehr anzeigen. Dies führt wiederum zur Sättigung der Urteile. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Labels der häufig verwendeten Skalen äquidistant sein sollen. Jedoch wurde gezeigt, dass dies nicht der Fall ist. Zusätzlich ist die Interpretation der Skalenlabel von Person zu Person durchaus verschieden. Dies tritt innerhalb einer Sprache und auch zwischen verschiedenen Sprachen auf (siehe Raake [35]). Um diese Effekte abzuschwächen, wurden verschiedene Skalentypen entwickelt, die immer häufiger Verwendung finden. Einige Beispiele für weitere Skalentypen werden bei Möller [32] gegeben.

Bei der Beurteilung einer ganzen Reihe von Stimuli³, werden die Stimuli nicht nur einzeln, sondern immer auch in Beziehung zu einander bewertet. Deshalb kommt es vor, dass der selbe Stimulus in verschiedenen ausgewogenen Versuchszusammenstellungen unterschiedlich bewertet wird. Es ist deshalb wichtig, in einem Versuch eine gewisse Spanne der Qualität abzudecken, wenn die Ergebnisse nicht nur relative sondern auch absolute Aussagekraft haben sollen. Zusätzlich kann es bei konstanter Darbietungsfolge zu Reihenfolgeeffekten in der Beurteilung kommen. Dies gilt es durch eine „verwürfelte“ Darbietungsreihenfolge zu vermeiden. Um eine Versuchsperson auf den Versuch vorzubereiten, wird häufig eine gewisse Anzahl von Proben vor dem eigentlichen Testlauf dargeboten. Somit wird die Versuchsperson auf die „Qualitätsspanne“ verankert und kann die Skala besser ausnutzen. Dies heißt jedoch auch, dass die Versuchsperson vorab beeinflusst wird (Möller [32]).

³Hier sind mit Stimuli Darbietungen unterschiedlicher Störungsausprägungen oder auch Versuchsdurchgänge gemeint (z.B. reine Hörversuche oder Konversationsversuche)

3.5 Paketverlust

Da sich diese Studie hauptsächlich mit der Störung *Paketverlust* befasst, dient dieser Abschnitt als kurzer Einblick. Weitere umfangreiche Informationen dazu sind bei Raake [35] zu finden.

In VoIP-Netzwerken werden keine direkten Leitungen mehr vom Sender zum Empfänger geschaltet. Das Signal wird auf der Senderseite in kleine Datenpakete zerlegt und anschließend über das Netzwerk an die Zieladresse versendet. Dabei kann es durchaus sein, dass die Pakete einer Nachricht auf unterschiedlichen Wegen durch das Netzwerke gesendet werden (siehe Abbildung 3.15). Gehen nun solche Datenpakete verloren, so spricht man von *Paketverlust*. Dieser kann im Netzwerk an sich auftreten (z. B. durch Wartezeiten in Netzwerkknoten) oder auf der Empfängerseite. In wie weit dieser Paketverlust einen Einfluss hat, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Unter Anderem spielt dabei die Verlustrate, die Verlustverteilung und die Paketgröße eine Rolle.

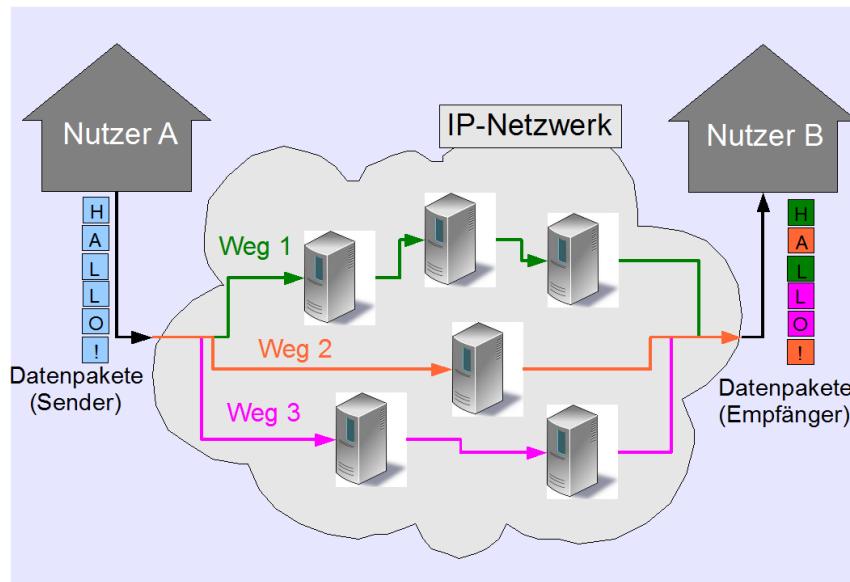


Abbildung 3.15: Schematische Abbildung für die paketorientierte Datenübertragung

Die Verlustrate gibt an, wieviel Prozent eines Signals von Paketverlust betroffen ist. Die Verlustverteilung kann sehr unterschiedliche Verteilungsformen annehmen. In dieser Studie wird sich nur mit zufälligem Paketverlust (Random Packet Loss) befasst. Das heißt, dass der Verlust unabhängig von den zuvor gesendeten Paketen auftreten kann. Diese Verlustform spiegelt nur bedingt reale Netzwerkverhältnisse wieder. Da es in Netzwerken auch zu Verlusten kommen kann, die sich über mehrere Pakete erstrecken. Dieser Verlusttyp wird häufig als *Bursty Loss* bezeichnet. In der Literatur [35] findet sich eine explizite Beschreibung dieser Verlusttypen.

Um den Einfluss des Verlustes abzuschwächen wurden Algorithmen entwickelt, die den Verlust „verschleiern“ sollen. Ein solches „Verschleierungsverfahren“ (PLC- Packet Loss Concealment) wird auch in dieser Studie betrachtet.

3.6 Stand der Forschung

Da Sprache das wichtigste Kommunikationsmittel ist, steht *Sprache* immer wieder im Mittelpunkt zahlreicher Untersuchungen. Es wurden viele Aspekte bereits untersucht, sei es Sprachetymologie, Sprachaufbau [39], Sprache als Kommunikationsmittel [44], um nur einige Beispiele aus den Sprach- und Sozialwissenschaften zu nennen.

Aufgrund immer weiterentwickelter Kommunikationstechnologien, ergibt sich die Notwendigkeit, deren Einfluss auf die Sprache und die damit verbundenen Bereiche zu ermitteln. Gerade im Bereich der Telekommunikation wird seit langem viel Energie in die Erfassung und Bewertung von, für die Sprachübertragung, wichtigen Faktoren gesteckt.

Immer wieder tritt der Begriff der Qualität in den Fokus der Betrachtung. In diesem Bereich hat sich u. a. Ute Jekosch hervorgetan. Sie hat den Bereich der Qualitätsbewertung [23] untersucht und damit den Weg für weitere tiefergehende Forschung bereitet. So wurde in Studien belegt, dass sich die Gesamtqualität in mehrere Dimensionen unterteilt (am Bsp. für Telefonübertragung nachzulesen [29]).

Immer wieder wird und wurde in Untersuchungen zur Qualität von Sprachübertragungen, ein Qualitätsgewinn von Breitbandübertragung gegenüber Schmalbandübertragung ermittelt. Dies führte dazu, dass Anbieter von Telefondiensten, wie die Telekom AG, die Breitband-Telefonie als Standard einführten. Auch weitere Störungen in Netzwerken und ihr Einfluß auf die wahrgenommene Qualität wurden untersucht (bspw. Übertragungsverzögerung [37]).

Allerdings ist nicht nur das Gesamtqualitätsurteil von Interesse, sondern auch wie Sprache verstanden wird, bzw. wie die Verständlichkeit von Sprache unter gewissen Umständen ist. Gerade im Bereich der Audiologie und der Hals-Nasen-Ohren Diagnostik wurde viel Forschung betrieben. Auch im Bereich der technischen Hörhilfen (Hörsysteme, Cochlear-Implantate) ist das Verstehen von Sprache ein zentraler Beobachtungspunkt.

In einigen Studien wurden bereits die Hörleistung, bzw. die Fähigkeit Sprache und Sprachanteile zu identifizieren, untersucht. Bei Fergusen und Kewley-Prot [10] wurde die Verständlichkeit von Vokalen bei deutlich gesprochener Sprache und alltäglicher Konversationssprache untersucht. Dabei haben sie auch einen Vergleich zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen durchgeführt. Mit dem Ergebnis, dass sich zwischen beiden Gruppen Unterschiede in der Vokalverständlichkeit ergaben. Überraschend war die Tatsche, dass Schwerhörige nicht von deutlich gesprochender Sprache profitierten. Generell wurden drei Vokal-Verständlichkeitsschlüssel ermittelt (Spektralgehalt, dynamische Formantenverschiebung, Zeitspanne der Informationsdarbietung).

Die Sprachqualität und die Sprachverständlichkeit war schon in einer Vielzahl von Untersuchungen Bestandteil, so dass die Sprachverständlichkeit als ein zentrales Merkmal von Sprachqualität gesehen wird [26]. Sie wird jedoch nicht als einziges Merkmal erachtet, welches nötige ist, um eine hohe Sprachqualität zu gewährleisten. Aus dem Blickwinkel der Nachrichtentechnik, wird die Sprachverständlichkeit lediglich als gebräuchliches Maß für die Sprachqualität angesehen. Da aus technischer Sicht kaum noch Verbesserungen in der Sprachverständlichkeit möglich sind [26]. Es wird zunehmend vorgeschlagen, dass auch die Sprachverständlichkeit als ein Teilaспект der Sprachqualität anzusehen ist. Da die Sprachqualität, als globaler Gesamteindruck von Hörer, bewertet wird und sich dieses Gesamtbild in unterschiedliche Dimensionen aufspalten lässt.

Preminger und Tasell [34] untersuchten auch den Zusammenhang zwischen Sprachqualität und -Verständlichkeit. Hierbei wurden normalhörende Testpersonen untersucht. Es stellte sich heraus, dass Sprachverständlichkeit ein entscheidener Faktor bei der Bewertung der Qualität ist, wenn die Verständlichkeit über einen großen Bereich streut. Es zeigte sich weiterhin, dass mit einiger Sicherheit, auf der Basis von Sprachverständlichkeitswerten, die Sprachqualität vorhergesagt werden kann.

In der Arbeit von Holube [11] wurden unterschiedliche Experimente durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche psychoakustische Parameter und das Sprachverstehen untersucht. Es zeigten sich individuell stark unterschiedliche Einschränkungen bei den Hörgeschädigten. Insbesondere traten diese Einschränkungen bei der Hörfähigkeit im hochfrequenten Bereich auf und beim binauralen Hören. Weiterhin ließen sich die Zusammenhänge zwischen psychoakustischen Parametern und Sprachverständlichkeit nur schwer nachweisen. Es wurde ein perzeptives Modell entwickelt, welches die Einzelworterkennung eines Reimtest bei Normalhörenden und die Sprachverständlichkeit von Schwerhörigen anhand des Audiogramms vorhersagt.

Des Weiteren stellte sich die Frage ob Versuchspersonen mit Hörminderung immer getrennt untersucht werden müssen. Ein Ansatz zur Bestimmung der *Gehörgüte* von schwerhörigen Versuchspersonen wurde durch Marszalek [30] unternommen. In dieser Arbeit versuchte er anhand von Tonaudiogrammdaten, ein Maß für die Gehörgüte abzuleiten, welches zur Beurteilung der Urteilssicherheit von schwerhörigen Versuchsteilnehmer nutzbar sein soll. Weiterhin setzt er diese Werte in Verbindung mit Qualitätsurteilen, welche den Schluss zuließen, dass aufgrund eines schlechten Gehörs andere Qualitätsurteile erzielt werden.

Abschließend kann man mit recht behaupten, dass in den letzten Jahren zahlreiche Forschung rund um das Thema Sprache betrieben wurden. So gibt es vielfältige Untersuchungen wie bspw.: *Sprachbildung*, *Sprechweise*, *Bewertung der Sprachqualität*, *Einfluss von Lärm*, *raumakustische Maßnahmen*, *Nutzen von technischen Hörhilfen etc..* Viele dieser Themen können nur bedingt gelöst von einander betrachtet werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen.

In dieser Arbeit sollen nun die beiden Aspekte *Sprachqualität* und *Sprachverständlichkeit*, im Kontext von Paketverlust beim VoIP-Übertragungen, in Verbindung gebracht werden. Weiterhin wird auch auf die Unterschiede zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen eingegangen.

Kapitel 4

Experimente

4.1 Vorbereitung der Experimente

Es wurden zwei Versuche durchgeführt, ein Sprachverständlichkeitsversuch und ein Qualitätshörversuch. Vor der Durchführung der Versuche stand jedoch die Planung und Vorbereitung. Im folgenden Abschnitt wird auf das Testmaterial, auf die beide Versuchsteile, sowie auf die Testumgebung, Equipment und die Versuchsteilnehmer genauer eingegangen.

Sprachmaterial: Für den Sprachverständlichkeitsversuch wurde das Testmaterial des Oldenburger Satztests (OLSA) [12] verwendet (siehe auch 3.3.3.3). Für den Qualitätshörtests wurden unterschiedliche deutschsprachige Sätze gewählt; jeweils 2 männliche und 2 weibliche Sprecher. Das Testmaterial wurde aus der Sprachdatenbank EUROM.1 [7] entnommen. Die Sätze haben eine durchschnittliche Länge von 8 s und alltägliche Begebenheiten zum Inhalt (bspw. *Das Überdruckventil tropft ständig, weil der Wasserstand wohl zu hoch ist.*).

In vorangegangenen Studien hat sich eine Versuchsdauer von rund 60 min als sinnvoll erwiesen, um den Probanden nicht zu überfordern. Da die Kombination aus Sprachverständlichkeits- und Qualitätsversuch die Dauer von einer Stunde deutlich überschreiten würde, wurde der Versuch in zwei Durchläufe zu je etwa 60 min unterteilt. Die Durchläufe wurden an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Die Zeitspanne zwischen beiden Versuchsteilen sollte etwa eine Woche betragen, damit die Teilnehmer sich nicht detailliert an die Störungen aus dem ersten Teil erinnern können.

Sprachverständlichkeitsversuch: In Tabelle 4.1 ist der Zeitplan für den Sprachverständlichkeitsversuch zu sehen. An den Anfang wird ein Training gestellt, damit die Versuchsperson mit der Testprozedur vertraut gemacht werden. Außerdem gibt es beim OLSA einen Trainingseffekt. Um diesen Einfluss auf den Versuch zu minimieren folgt nach dem Training immer Durchgang 1, der eine Wiederholung der Trainingskondition darstellt, allerdings mit einer anderen OLSA-Satzgruppe. Die Durchgänge 2 – 4 werden dann in zufälliger Reihenfolge dargeboten.

4. EXPERIMENTE

4.1. VORBEREITUNG DER EXPERIMENTE

5 min	Begrüßung und Einweisung
10 min	Audiometrie (nur NH-Gruppe)
5 min	Training
15 min	Durchgang 1 und 2
5 min	Pause
15 min	Durchgang 3 und 4
5 min	Verabschiedung
<hr/>	
60 min	Komplette Versuchsdauer

Tabelle 4.1: Zeitplan Sprachverständlichkeitsversuch

Um den OLSA möglichst automatisiert durchführen zu können, wurden für den Versuch MATLAB [31] - Skripte und Funktionen geschrieben. Die Dateien sind auf der angefügten Daten-DVD (Inhalt im Anhang C) einzusehen. Sie erlauben dem Versuchsleiter einige Einstellungen, wie die Wahl des Durchgangs und den Pegel, vorab vorzunehmen. Außerdem werden die Sätze vor jedem Abspielen auf den richtigen Lautstärkepegel geprüft. Zur Minimierung von Fehlern durch den Versuchsleiter wird der Testsatz nicht nur an den Kopfhörer des Versuchsleiters gesendet, sondern auch auf dem Bildschirm angezeigt.

Qualitätsversuch: In Tabelle 4.2 ist der Zeitplan für den Hörversuch zu sehen. Dabei wurde darauf geachtet, dass jede Kondition mit jedem Sprecher gleich häufig vorkommt. Ein Durchgang wurde mit Rauschkonditionen und ein Durchgang mit Paketverlustkonditionen erstellt. In Abschnitt 4.1.2 wird auf alle Konditionen und ihre Erstellung eingegangen. Die Reihenfolge der Durchgänge war abwechselnd und die Abspielreihenfolge der Testbeispiele innerhalb der jeweiligen Durchgänge war zufällig gewählt. Bei der Planung der Versuchszeit wurde berücksichtigt, dass die Versuchspersonen für die Bewertung den Stimulus mehrfach hören dürfen und somit ein zeitlicher Puffer eingerechnet werden musste.

5 min	Begrüßung und Einweisung
20 min	Durchgang 1
5 min	Pause
20 min	Durchgang 2
5 min	Verabschiedung
<hr/>	
55 min	Komplette Versuchsdauer

Tabelle 4.2: Zeitplan Hörversuch

Testumgebung und Equipment: Um möglichst ideale und identische Bedingungen für beide Versuche zu schaffen, fanden die Versuche im Laborraum „Nautilus“ der Telekom Innovation Laboratories statt. Dieser Raum ist eine speziell für Hör- und Sprachversuche ausgestattet Kabine. Der Ruhepegel mit eingeschaltetem Versuchsaufbau betrug $31,89 \text{ dBspl}$. Dieser Wert wurde über einen Zeitraum von 35 s und im Frequenzbereich $75 \text{ Hz} - 16 \text{ kHz}$ ermittelt. Die akustischen Eigenschaften sind für Hörexperimente als optimal anzusehen und erfüllen die Anforderungen

4. EXPERIMENTE

4.1. VORBEREITUNG DER EXPERIMENTE

aus der ITU-T Rec. P.800 [20]. Der Versuchsrechner befand sich während des Versuchs im Testraum. Da es sich jedoch um ein passiv gekühltes System handelt, ist die Schallaussendung des Systems als vernachlässigbar zu betrachten. In Abbildung 4.1 ist der Versuchsaufbau für den Sprachverständlichkeitstest zu sehen. Der Versuchsaufbau für den Hörtest war sehr ähnlich, jedoch saß die Versuchsperson dabei am Kopf des Tisches und hatte direkten Blick auf den Monitor.

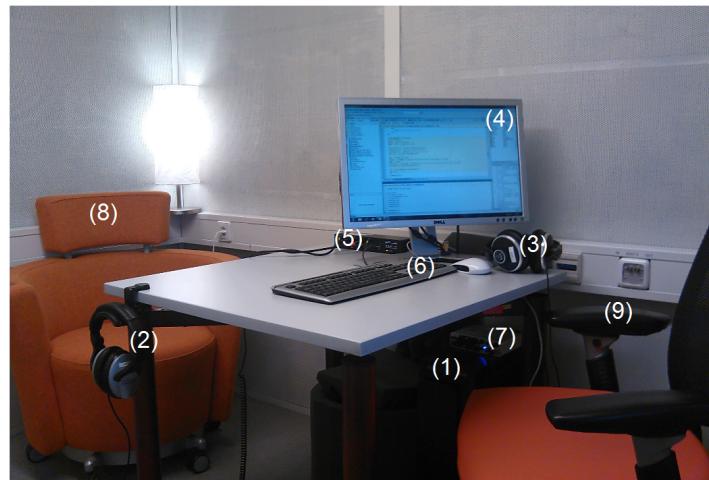


Abbildung 4.1: Versuchsaufbau für den Sprachverständlichkeitstest (Raum: „Nautilus“)

1. Versuchs - PC (passiv gekühlt)
2. Sennheiser Kopfhörer HD - 280pro (Proband)
3. AKG Kopfhörer K271 MKII (Versuchleiter)
4. Bildschirm (zur Versuchsteuerung)
5. Kopfhörerverstärker Millenium HP3
6. Eingabegeräte (Maus, Tastatur)
7. Soundkarte Edirol UA-25ex
8. Sitzplatz Testperson
9. Sitzplatz Testleiter

Signalpfad und Kopfhörerkalibrierung: Das Testmaterial wurde vom Versuchsrechner zur externen Soundkarte gesendet. Von dort aus weiter an den Kopfhörerverstärker. An diesem Verstärker waren sowohl der Kopfhörer für die Testperson, als auch der Kopfhörer für den Versuchleiter angeschlossen. Die Eingabe der Antworten und der Qualitätsbewertungen wurden über die Tastatur, sowie die Maus

4. EXPERIMENTE

4.1. VORBEREITUNG DER EXPERIMENTE



gemacht.

Der Ausgangspegel der Kopfhörer wurde über einen Kunstkopf von „Head-Acoustics“ und unter zu Hilfenahme der Messsoftware Head Analyzer ACQUA 2.3.300 überprüft. An der Soundkarte wurde der Gesamtausgangspegel eingestellt. Durch die Nutzung von zwei unterschiedlichen Ausgängen am Kopfhörerverstärker konnte der Pegel des linken und rechten Kanals getrennt justiert werden. Die Studie wurde binaural durchgeführt.

Für den Hörtest (Qualitätstest) wird ein Ausgangspegel von 79 dBspl vorgeschlagen [22]. Durch den Effekt der binauralen Lautheit über Kopfhörer [46] musste der Ausgangspegel der linken sowie der rechten Kopfhörerseite auf 73 dB verändert werden. Bei einer Addition zweier kohärenter Schallsignale erhöht sich der Gesamtpiegel von monauraler Lautheit zu binauraler Lautheit um 6 dB . Dieser Effekt lässt sich auch durch die Formel 4.1 für die Addition von kohärenten Schallquellen nachvollziehen [40].

$$L_{ges} = 20 \cdot \log(10^{\frac{L_r}{20}} + 10^{\frac{L_l}{20}}) \quad (4.1)$$

- L_{ges} : Gesamtlautstärkepegel
- L_r : Lautstärkepegel der Kopfhörerseite rechts
- L_l : Lautstärkepegel der Kopfhörerseite links

Während des Versuchszeitraums wurde der Ausgangspegel mehrfach geprüft und auf den Wert von 73 dBspl kalibriert. Da die SH-Gruppe einen anderen Ausgangsschalldruckpegel benötigten, wurde der Pegel vor den Versuchen dieser Gruppe erneut justiert.

4.1.1 Versuchspersonen

Für die Studie wurden insgesamt 30 Testpersonen eingeladen und in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe bildeten die Normalhörenden (NH) und die zweite Gruppe die Schwerhörigen (SH). Die Tabelle 4.3 gibt Aufschluss, über die genaue Zusammensetzung der Teilnehmergruppen. Die Teilnehmer der NH-Gruppe wurden über eine bestehende Probandenliste angeschrieben. Die Teilnehmer der SH-Gruppe wurden mit Hilfe der Firma „Hörgeräte Akustik - Flemming & Klingbeil“ akquiriert. Dennoch war es schwierig Teilnehmer für diese Gruppe zu gewinnen, so dass die gewünschte Teilnehmerzahl nicht erreicht wurde.

In der NH-Gruppe wurden alle Teilnehmer einer kurzen Tonaudiometrie unterzogen. Dabei wurde nur die Luftleitung nach einem modifizierten Békésy-Audiometrieverfahren ermittelt. Für die Audiometrie wurde das digitale PC-Audiometer „ear1.7“ verwendet. Keine Versuchsperson musste ausgeschlossen werden, da keine Anzeichen für eine Hörstörung gefunden wurden. Die Teilnehmer aus der SH-Gruppe brauchten nicht audiometriert werden, da sie schon ausgiebig im Zuge ihrer Hörgeräteanpassung gemessen wurden. Für die Studie wurden ausschließlich Schwerhörige mit einer

4. EXPERIMENTE

4.1. VORBEREITUNG DER EXPERIMENTE



leicht-mittelgradigen Hochton-Schallempfindungsschwerhörigkeit gesucht, da diese Art der Hörminderung repräsentativ für eine große Anzahl von Schwerhörigen ist. Die Hörschwellen der Teilnehmer (mit Ausnahme VP30) sind in der Tabelle A.1 im Anhang A zu finden.

Einige Teilnehmer hatten schon an anderen Studien und Hörversuchen teilgenommen. Sie können jedoch als unerfahren angesehen werden, da die Studien schon länger her waren oder es sich dabei um andere Tests handelte. Alle Versuchspersonen haben für ihre Teilnahme eine Aufwandsentschädigung erhalten. Keine Versuchsperson hat den Testdurchlauf frühzeitig abgebrochen, so dass alle Datensätze in die Auswertung eingeflossen sind. Als Teilnahmebedingung wurde das Beherrschungsniveau der deutschen Sprache auf muttersprachlichem Niveau vorausgesetzt.

Gruppe	Durchschnittsalter in Jahren (Stdev)	Geschlecht	Anzahl
NH	28,60 (8,96)	weiblich	15
NH	23,30 (3,86)	männlich	9
SH	48,33 (15,95)	weiblich	3
SH	42,33 (18,61)	männlich	3

Tabelle 4.3: Zusammensetzung der Versuchspersonengruppen (NH - Normalhörende, SH - Schwerhörige, Stdev - Standardabweichung)

4.1.2 Konditionen

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Testkonditionen beschrieben.

Konditionen - Sprachverständlichkeitsversuch: Für den Sprachverständlichkeitsversuch wurde das Satzmaterial und das Sprachsimulierende Rauschen des OLSAs [12] verwendet. Dafür wurde das auf Audio-CD vorliegende Material vorverarbeitet. Es musste jeder Satz einzeln aus den CD-Tracks geschnitten werden. Anschließend ist bei jedem Satz am Anfang und am Ende 500 ms Stille eingefügt worden. Für den Testteil, in dem der Einfluss von Paketverlust auf die Verständlichkeit untersucht werden sollte, mussten aus dem Satzmaterial, Testmaterial generiert werden, welches mit Paketverlust gestört ist. Dafür wurden mehrere OLSA-Testlisten extrahiert und mit unterschiedlichen Paketverlustraten versehen (siehe Tabelle 4.4). Das Prozessieren der Testdateien wurde teilweise am Fachgebiet AIPA vorgenommen. Der Telefonkodierer, der für diesen Versuch gewählt wurde, ist der G.722 [19]. Dabei handelt es sich um einen Breitband-Codec, der den Frequenzbereich von 50 Hz – 7 kHz verarbeitet. Es wird eine Sub-Band Adaptive Differential Pulse Code Modulation (SB-ADPCM) bei einer Bitrate von 64 kbit/s verwendet. Hierbei wird das Eingangssignal in zwei Bänder aufgeteilt, separat verarbeitet und später wieder zusammengefügt. Da nur der Einfluss des Paketverlustes untersucht wird, bleibt die Bitrate für alle Konditionen konstant. Für die Erstellung der Paketverluste wurden Fehlermuster mit unterschiedlicher Verlustrate erstellt und zusammen mit dem Telefonkodierer prozessiert. Dabei wurde einmal einfacher Paketverlust generiert und zusätzlich ein Testmaterialsatz mit dem hochqualitativen

4. EXPERIMENTE

4.1. VORBEREITUNG DER EXPERIMENTE



Paketverlust-Verschleierungsalgorithmus (HQ- Packet Loss Concealment - HQ-PLC) des G.722 App. III. In dieser Studie wird lediglich randomisierter Paketverlust betrachtet. Der Paketverlust kann somit auch in einer Sprachpause auftreten, da er über das gesamte Signal zufällig verteilt ist. Bei der Erstellung des Testmaterial ist eine Frequenzspitze bei 8 kHz entstanden, welche sich als sehr störend erwiesen hatte. Sie wurde anschließend mit Hilfe eines in MATLAB erstellten Tiefpasses rausgefiltert. Wie es zur Frequenzspitze kam, ist nicht eindeutig geklärt. Auffällig war, dass die Spitze umso größer wurde, umso höher die Paketverlustrate ist. Es wird vermutet, dass durch das Fehlen großer Signalteile, die in der Prozesskette eingesetzte Pegelkorrektur versucht, den gewünschten Mittelungspiegel durch Einbringen von Signalanteilen bei 8 kHz zu halten. Diese Vermutung wurde nicht weiter untersucht.

Konditionen - Qualitätshörtest: Das Testmaterial für den Hörversuch wurde aus der Sprachdatenbank EUROM.1 [7] entnommen. Die Paketverlustkonditionen wurden wie zuvor für den Sprachverständlichkeitstest z. T. am Fachgebiet AIPA erstellt (G.722 Kodierung, Einfügen von Paketverlust). Für den Testteil mit Rauschkonditionen, wurde das Testmaterial ebenfalls mit MATLAB erstellt, hierfür wurde zum Einen das OLSA-Rauschen und zum Anderen eine Babble-Rauschen (Stimmgewirr) verwendet und mit unterschiedlichen Pegeln den Testsätzen hinzugefügt. Das Babble-Rauschen wurde gewählt, da Sprache aus einem Stimmgewirr zu erkennen, zu den schwerst möglichen Bedingungen zählt, außerdem wurde ein Durchgang, einzig mit OLSA-Rauschen, als zu eintönig erachtet. Der Bereich in dem sich die Störung befinden sollte, wurde aus den Ergebnissen des Sprachverständlichkeitsteil abgeleitet. Im Hörtest sollten keine Konditionen vorkommen, die zu sehr jenseits der Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) liegen, weil jenseits dieser Schwelle, kann nur noch mit sehr geringen MOS gerechnet werden. Da hier nicht mehr der Einfluss der Störung ansich bewertet werden kann, sondern nur noch die komplett unzureichende Verständlichkeit in die Bewertung eingeht. Somit wurde nur der Abschnitt der Verständlichkeitskurve im Hörtest untersucht, bis SVS in etwa erreicht wurde. Dafür wurden die Ergebnisse aus dem ersten Studienteil, zum Teil bereits ausgewertet, so dass als SVS für Paketverlust etwa $PL = 60\%$ festgelegt wurde. Für das Hintergrundrauschen wurde ein SNR von -7 dB für die Normalhörenden und $+3\text{ dB}$ für die Schwerhörigen als schlechteste Kondition gewählt. Zusätzlich wurden für die Schwerhörigen weitere Konditionen mit einem SNR von $+28\text{ dB}$ eingefügt, damit beide Gruppen identisch viele Testsätze zur Beurteilung dargeboten bekommen. Zusätzlich wurden in jedem Durchgang (Paketverlust / Rauschen) Ankerkondition eingefügt. Dabei handelt es sich um Testsätze die weder rauschenbehaftet waren, noch Paketverluste besaßen. Sie waren lediglich in ihre Frequenzbandbreite eingeschränkt. Die Ankerkonditionen, sollen einem erlauben, die Qualitätsbewertungen dieser Studie in Vergleich mit vorangegangnen Studien zu setzen. Die in der Studie verwendeten Konditionen und ihre Eigenschaften sind in Tabelle 4.4 aufgelistet.

4. EXPERIMENTE

4.1. VORBEREITUNG DER EXPERIMENTE

Kondition	Störung (PL/N) - Eigenschaften	Test(SVT/HT)	Gruppe
OLSA-Sätze	N-OLSA (adaptiv)	SVT	NH/SH
NB	Bandbegrenzung 300 Hz – 3,5 kHz (Anker)	HT	NH/SH
WB	Bandbegrenzung 50 Hz – 7 kHz (Anker)	HT	NH/SH
SWB	Bandbegrenzung 50 Hz – 14 kHz (Anker)	HT	NH/SH
G.722	PL 00% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 10% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 20% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 30% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 40% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 50% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 60% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL 70% - 64 kbit/s	SVT	NH/SH
G.722	PL 80% - 64 kbit/s	SVT	NH/SH
G.722	PL 90% - 64 kbit/s	SVT	NH/SH
G.722	PL+PLC 00% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 10% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 20% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 30% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 40% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 50% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 60% - 64 kbit/s	SVT/HT	NH/SH
G.722	PL+PLC 70% - 64 kbit/s	SVT	NH/SH
G.722	PL+PLC 80% - 64 kbit/s	SVT	NH/SH
G.722	PL+PLC 90% - 64 kbit/s	SVT	NH/SH
G.722	N-OLSA 00 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-OLSA SNR +43 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-OLSA SNR +33 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-OLSA SNR +28 dB - 64 kbit/s	HT	SH
G.722	N-OLSA SNR +23 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-OLSA SNR +13 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-OLSA SNR +3 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-OLSA SNR -7 dB - 64 kbit/s	HT	NH
G.722	N-Babble 00 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-Babble SNR +43 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-Babble SNR +33 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-Babble SNR +28 dB - 64 kbit/s	HT	SH
G.722	N-Babble SNR +23 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-Babble SNR +13 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-Babble SNR +3 dB - 64 kbit/s	HT	NH/SH
G.722	N-Babble SNR -7 dB - 64 kbit/s	HT	NH

Tabelle 4.4: Übersicht der verwendeten Konditionen aus beiden Studienteilen, PL - Pakerverlust[%] PL+PLC - Paketverlust mit Paketverlustverschleierung, N-OLSA - Sprachsimulierendes OLSA-Rauschen, N-Babble - Stimmgewirr, SVT - Sprachverständlichkeitstest, HT - Qualitäts-Hörtest, NB - Schmalband, WB - Breitband, SWB - Super-Breitband, NH - Normalhörende, SH - Schwerhörige

4.2 Versuchsdurchführung

Durchführung Sprachverständlichkeitstest: Zu Beginn bekam jeder Teilnehmer eine allgemeine Einleitung zur Studie (siehe Anhang A). Danach wurde jedem Probanden die Versuchseinweisung in schriftlicher Form (siehe Anhang A) zum Lesen gereicht. Anschließend wurden noch aufkommende Fragen beantwortet und einige zusätzliche Informationen zum Versuchsablauf gegeben. Die Tonaudiometrie war für die NH-Gruppe der nächste Schritt. Vor dem eigentlichen Versuch stand ein Trainingsdurchgang. In der Tabelle 4.5 sind alle Versuchsteile aufgeführt. Dieses Training war ein normaler OLSA mit Rauschen (nolsaT), mit 30 Testsätzen. Durch das Training konnte sich die Testperson mit der Testprozedur vertraut zu machen. Zusätzlich wurde der Einfluss des Trainingseffekts auf die nachfolgenden Durchgänge minimiert. Der Versuch bestand aus 4 (NH) bzw. 3 (SH) Versuchsdurchläufen. Der erste Durchgang nach dem Training war immer ein normaler OLSA (nolsa) mit Rauschen, mit 30 Testsätzen, bei dem die Sprachverständlichkeitsschwelle ermittelt wurde. Damit wurde zusätzlich überprüft, ob die Versuchspersonen schon ausreichend mit dem OLSA-Testmaterial geübt sind. Die anschließenden Durchgänge sind in zufälliger Reihenfolge dargeboten worden. Der erste Durchgang mit Paketverlust (polsa_v1) bestand aus 60 Sätzen und jede Verlustrate war 6 mal vertreten. Die Darbietungsreihenfolge innerhalb, wurde für jede Versuchsperson neu zufällig zusammengestellt. Beim zweiten Durchgang mit Paketverlust (polsa_v2), war zusätzlich der PLC-Algorithmus aktiv. Die Zusammensetzung war ansonsten, mit dem ersten Paketverlustdurchgang gleich. Beim invertierten OLSA mit Rauschen (nolsainv) handelt es sich um das invertierte Versuchsparadigma des normalen OLSAs. Hier wurde der Sprachpegel fest eingestellt und der Rauschpegel änderte sich adaptiv mit den Antworten. Auch hier wurden 30 Sätze verwendet. Ziel des nolsainv war es zu ermitteln, inwieweit sich die Sprachverständlichkeitsschwelle ändert wenn der Sprachpegel konstant bleibt und die Störung variiert. Dieser Teil wurde nur bei den Normalhörenden durchgeführt, da der Ausgangspegel bei den Schwerhörigen, durch den höheren Startpegel, zu hoch werden würde. Für die Normalhörenden wurde für beide OLSA-Versionen mit Rauschen ein Pegel von 65 dB gewählt und bei den Paketverlustversionen ein Pegel von 73 dB. Bei den Schwerhörigen wurde der Pegel anhand der Sprachaudiogramme festgesetzt. Alle Schwerhörigen hatten ein Einsilberverständen zwischen 80% und 100 % bei einem Pegel von 80 dB. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei den ungestörten Bedingungen auch die Schwerhörigengruppe 100 % Verstehen im Test erreicht. Da nicht der Einfluss des Lautstärkepegels untersucht werden soll, sondern der Einfluss der zusätzlichen Störungen. Die Wahl der Schallpegel für die unterschiedlichen Testteile ist der Tabelle 4.6 zu entnehmen.

nolsaT	OLSA mit Rauschen (Traininig) - Rauschpegel fest, Sprachpegel variiert
nolsa	OLSA mit Rauschen - Rauschpegel fest, Sprachpegel variiert
polsa_v1	OLSA-Durchgang (PL) - zufällige Reihenfolge
polsa_v2	OLSA-Durchgang (PL+PLC) - zufällige Reihenfolge
nolsainv	OLSA mit Rauschen (invertiert) - Sprachpegel fest, Rauschpegel variiert

Tabelle 4.5: Übersicht der Versuchsteile - Sprachverständlichkeitstest

4. EXPERIMENTE

4.2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Session	Sätze	Pegel_NH	Pegel_SH
nolsaT	30	65 dB	80 dB
nolsa	30	65 dB	80 dB
polsa_v1	60	73 dB	80 dB
polsa_v2	60	73 dB	80 dB
nolsainv	30	65 dB	—

Tabelle 4.6: Übersicht der Ausgangspegel - Sprachverständlichkeitstest

Die Versuchsperson hatte in jedem Durchgang die Aufgabe die verstandenen Wörter nachzusprechen. Sollten nur Wortstücke verstanden werden, war der Versuchsperson erlaubt zu raten. Die Wortstücke ansich brauchten nicht wiederholt zu werden. Der Versuchsleiter hat die Anzahl der richtigen Wörter gezählt und eingegeben. Nach etwa der Hälfte des Versuchs wurde eine etwa fünfminütige Pause eingelegt, um einer eventuellen Ermüdung der Versuchsperson entgegenzuwirken.

Durchführung Qualitätstest: Beim diesem Versuchsteil handelt es sich um einen reinen Hörttest und wird in Anlehnung an die ITU-T Rec. P.800 [20] und P.800.1 [21]

durchgeführt. Dieser Test wird als ACR-Test (Absolut Category Rating) nach ITU-T Rec. P.830 [22] durchgeführt und eine diskrete fünfstufige Skala verwendet. Auch bei dem zweiten Studienteil, haben die Teilnehmer eine schriftliche Einweisung bekommen. Anschließend konnten noch aufkommende Fragen beantwortet werden. Der Versuch bestand aus zwei Durchgängen mit einer fünfminütigen Pause dazwischen. Das Testmaterial in den Versuchsdurchgängen wurde für jeden Teilnehmer in unterschiedlicher Abfolge dargeboten. Dieses Vorgehen diente zur Verhinderung von Reihenfolgeeffekten. Ein Beispiel für eine Playliste ist im Anhang A zu sehen.

Ein Durchgang bestand dabei aus unterschiedlichen Rauschkonditionen (+ Anker), der andere Durchgang bestand aus Paketverlustkonditionen (+ Anker). Da Sprachqualität mehrdimensional ist (vgl. Abschnitt 3.4) bewegt man sich beim Rauschen auf der Dimension *Rauschhaftigkeit*. Geringer Paketverlust hat einen eher rauschhaften Charakter und höherer Paketverlust befindet sich hingegen eher auf der Dimension *Kontinuität*. Aus diesem Grund sollten die Dimensionen in der Qualitätsbewertung nicht vermischt werden und die Störungen wurden in getrennten Durchgängen bewertet. Die Ankerkonditionen befinden sich auf der Dimension *Klangfarbe* und dienen zur Einordnung der Ergebnisse zu früheren Untersuchungen. Der Darbietungspegel im Hörttest lag bei den Normalhörenden bei 73 dB und bei den Schwerhörigen bei 80 dB. Die erwähnte Pause wurde auch hier eingesetzt, um einer eventuellen Erschöpfung des Probanden entgegenzuwirken. Jeder Durchgang startete mit einer kurzen Trainingsphase. Das Training war für alle Teilnehmer identisch und diente zur Eingewöhnung in die Testoberfläche. Außerdem spiegelte das Training die gesamte Qualitätsspanne des Durchgangs wider, in dem sowohl ein ideales Beispiel, wie ein Beispiel mit der größten Störungsstufe im Training vorkam. Zusätzlich gab es noch drei weitere Störungsbeispiele mittlerer Stufe. Die Beurteilungen wurde von der Versuchsperson selbst eingegeben. Dabei wurde auf einer diskreten 5-Punkte Skala bewertet. Um den Probanden eine kleine Hilfestellung zu geben sind die Ziffern [1 - 5] zusätzlich mit Adjektiven gekennzeichnet worden.

4. EXPERIMENTE

4.2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- ausgezeichnet / 5
- gut / 4
- ordentlich / 3
- dürftig / 2
- schlecht / 1

Die Ergebnisse aus dem Training wurden nicht mit in die Auswertung genommen. Das verwendete Programm¹ erfasste die Bewertungen automatisch und schrieb sie in eine Log-Datei. In der Abbildung 4.2 ist die Oberfläche des, für den Hörtest verwen-deten, Programms zu sehen. Die Versuchspersonen hatten die Möglichkeit, durch drücken der „Play“- Taste das Beispiel zu wiederholen. Nach der Beurteilung wurde über die Taste „Weiter“ zum nächsten Beispiel gesprungen.



Abbildung 4.2: Eingabefenster Qualitätshörtest (ACR-Test)

¹ ACR-Versuchsprogramm von Dr.-Ing. Marcel Wältermann

Kapitel 5

Ergebnisse

5.1 Dokumentation und Auswertung

Die Antworten der Versuchsteilnehmer wurden beim Verständlichkeitsteil direkt in Exceldateien geschrieben und standen direkt für die weitere Auswertung zur Verfügung. Beim Qualitätsversuch wurden die Antworten in Log-Dateien gespeichert. Diese Rohdaten wurden mit Hilfe von MATLAB ausgelesen und in Exceldateien zur weiteren Bearbeitung überführt. Im ersten Schritt wurden nun die Daten umstrukturiert und Mittelwerte, Standardabweichung und Konfidenzintervalle berechnet.

5.2 Ergebnisse und Auswertung - Sprachverständlichkeitstest

In der Abbildung 5.1 sind die Ergebnisse der verschiedenen OLSA Durchgänge mit Rauschen zu sehen. Die Säulengruppe an der rechten Seite zeigt die Mittelwerte (farbig abgehoben). Es wird nur die normalhörenden Gruppe betrachtet, da hier alle drei OLSA Durchgänge mit Rauschen durchgeführt wurden. Außerdem waren für die NH-Gruppe Erwartungswerte vorhanden. Es ist zu erkennen, dass der SNR im Mittel nur minimal vom Training zum ersten Testdurchgang (von $-6,38\text{ dB}(nolsaT)$) auf $-6,63\text{ dB}(nolsaT)$ steigt. Dieser Wert lässt darauf schließen, dass zwar schon ein großer Teil des Lerneffektes beim OLSA abgefangen wurde, aber noch nicht gänzlich der erwartete Wert von rund -7 dB erreicht wurde. Schaut man sich hingegen den SNR-Wert für den *nolsainv* an, wurde hier ein Wert von $-7,33\text{ dB}(nolsainv)$ erzielt. Dieser liegt unterhalb des erwarteten SNR. Da der *nolsainv* in unterschiedlicher Reihenfolge mit den Paketverlustdurchgängen dargeboten wurde, war die erste Annahme, dass diese Durchgänge die Teilnehmer weiter traininiert hat. Jedoch tritt dieser Effekt unabhängig von der Darbietungsreihenfolge auf. Durch das Annähern an die Sprachverständlichkeitsschwelle aus unterschiedlichen Richtungen (*nolsa* vs. *nolsainv*), wird vermutet, dass ähnlich wie bei der Békésy-Audiometrie, die Reizschwelle aus der Mittelung beider Richtungen berechnet werden kann. In dieser Studie liegt die Sprachverständlichkeitsschwelle bei einem SNR von $-6,98\text{ dB}$. Dieser errechnete Wert liegt im erwarteten Bereich. Daraus wird geschlossen, dass die Versuchspersonen ausreichend mit dem Versuchsmaterial vertraut war.

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

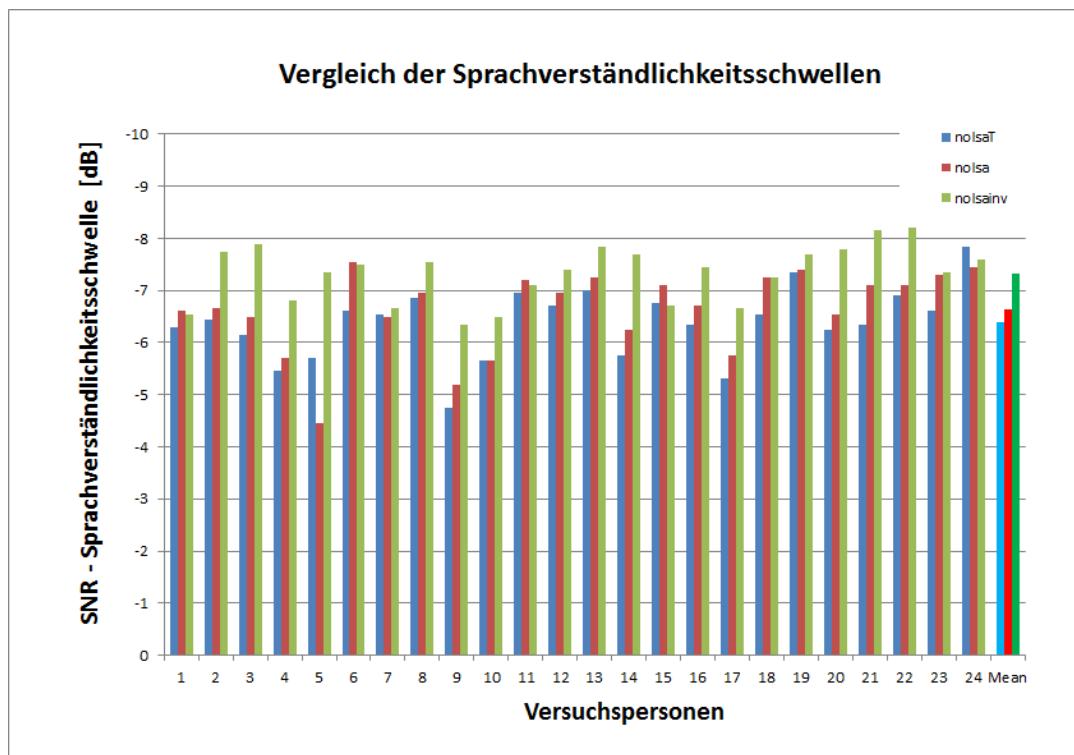


Abbildung 5.1: Resultate - SVS-NH-Gruppe für verschiedene OLSA - Durchgänge

Die Ergebnisse des Verständlichkeitsexperimentes mit Paketverlusten sind in Tabelle 5.1 für die Normalhörenden und in Tabelle 5.2 für die Schwerhörigen zu sehen. Die Tabellen listet den gemittelten Diskriminationsverlust der jeweiligen Paketverlustraten in Prozent auf. Anschließend sind für beide Teilnehmergruppen die Verständlichkeitswerte in jeweils einem Diagramm abgebildet (NH-Gruppe (blau): Diagramm 5.2; SH-Gruppe (grün): Diagramm 5.3). Darin ist die gemitteltet Diskrimination der einzelnen Konditionen und die Standardabweichung als Fehlerbalken abgebildet. Die unterschiedlichen Bedingungen (PL und PL+PLC) sind in beiden Abbildungen farblich abgehoben.

5.2.1 Diskriminationsverlust bei Paketverlust - Normalhörende:

Bei der Betrachtung der Abbildung 5.2, welche den Diskriminationsverlust bei zufälligem Paketverlust von Normalhörenden zeigt, ist als erstes der erwartet Anstieg der Verlustkurve mit steigendem Paketverlust zu sehen. Im generellen Verlauf gibt es kaum Unterschiede zwischen der Kurve (PL) und der Kurve (PL+PLC). Schaut man auf den Bereich sehr hoher Paketverlustrate an, so scheint der Paketverlustverschleierungsalgorithmus die Verständlichkeit zu senken. Dies wird mit dem metallischen Klang des PLC-Algorithmus erklärt, welcher die Identifikation der Sprache zu erschweren scheint. Bei niedrigen Verlustraten sind beide Verläufe nahzu gleich. Auffällig sind die Punkte der *PL-Kurve* bei 60 % und 70 %. Es wurde erwartet, dass die Ergebnisse in ähnlichem Maße wie in der *PL+PLC-Kurve* liegen. Der Grund für

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST



diesen Knick, der auch in kleinerer Form bei der *PL-Kurve* bei 30 % und 40 % auftritt ist, dass nur ein Errorpattern pro Paketverlustrate erstellt wurde. Dies hat zur Folge, dass immer an der gleichen Stelle Paketverlust auftritt. Für welches Testmaterial die Fehlermuster erstellt werden sollten, war bei der Erstellung im Fachgebiet nicht bekannt. Bei Sätzen mit unterschiedlicher Struktur ist dies als unproblematisch anzusehen. Da jedoch das Testmaterial des OLSA eine feste Satzstruktur besitzt, werden immer die gleichen Satzanteile getroffen. In diesem Fall liegt das Fehlermuster bei $PL = 70\%$ so „günstig“, dass die Verständlichkeit wider Erwarten besser ist. Durch die Erstellung von Fehlermustern, nicht nur für jede Verlustrate, sondern auch für jeden einzelnen Testsatz, hätte dieser Fehler vermieden werden können.

Verlustrate	PL			PL+PLC		
	DV	Stdev	CI95%	DV	Stdev	CI95%
0%	0,83	4,08	1,63	0,00	0,00	0,00
10%	1,53	2,60	1,04	0,87	2,06	0,84
20%	1,81	3,26	1,30	1,30	2,97	1,21
30%	10,00	7,29	2,92	1,88	2,81	1,15
40%	6,39	6,05	2,42	7,97	3,86	1,58
50%	26,67	13,33	5,33	26,23	18,92	7,73
60%	42,78	15,99	6,40	35,65	14,48	5,92
70%	30,83	16,92	6,77	55,94	16,39	6,70
80%	75,14	12,24	4,90	84,78	12,05	4,93
90%	99,86	0,68	0,27	98,55	4,36	1,78

Tabelle 5.1: Übersicht der Ergebnisse aus dem Verständlichkeitstest, G.722 mit Paketverlust (PL) und Paketverlust-Concealment (PLC), alle Angaben in [%], DV - Diskriminationsverlust, Stdev - Standardabweichung, CI95% - 95% Konfidenzintervall

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

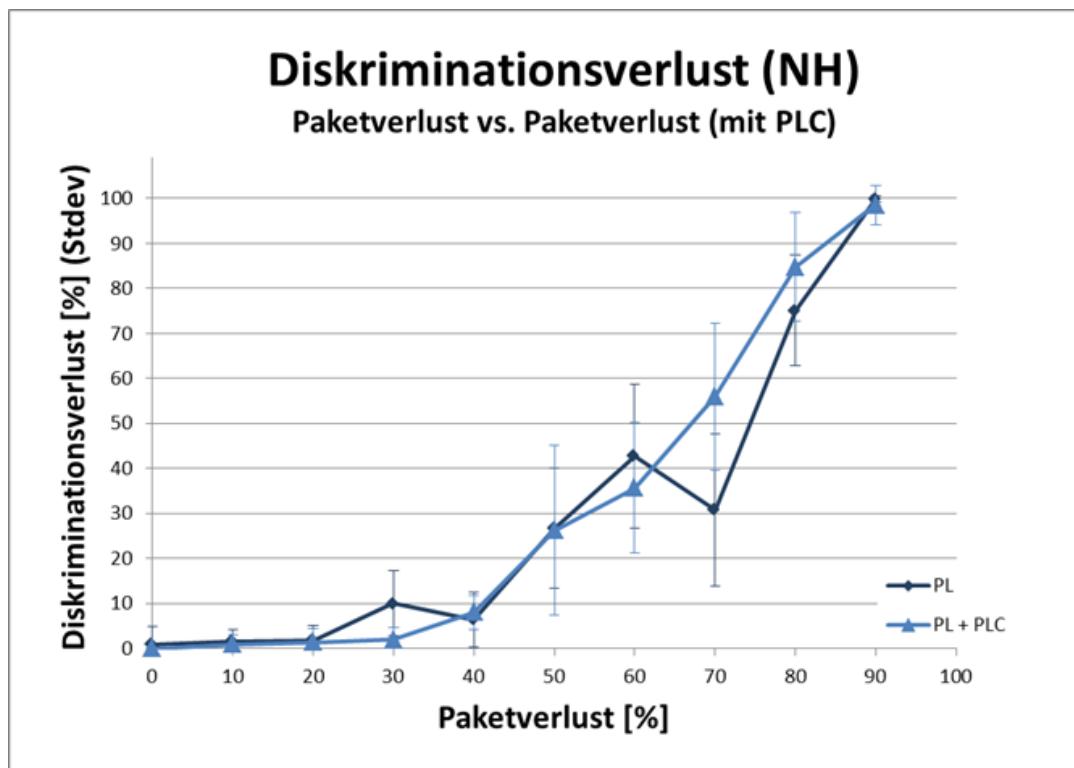


Abbildung 5.2: Resultate - Sprachverständlichkeitstest - Normalhörende, Stdev - Standardabweichung als Fehlerbalken

Bemerkenswert ist der Bereich der geringen Verlustraten. In diesem Bereich, bis etwa $PL = 40\%$, ist der Verständlichkeitsverlust verschwindend gering $DV = 10\%$. Dies ist umso interessanter wenn man bedenkt, dass bei der alltäglich Nutzung zufällig verteilter Paketverlust in Größenordnungen über 40 % praktisch nie vorkommt. Die Verständlichkeit ist demnach durch den reinen Paketverlust nur minimal beeinträchtigt.

5.2.2 Diskriminationsverlust bei Paketverlust - Schwerhörige:

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Schwerhörigengruppe (Abb. 5.3) zeichnet sich ein sehr ähnliches Bild. Auch hier sind beide Kurvenverläufe nahezu identisch. Auch hier zeigt sich der Knick der *PL-Kurve* bei 30 % und 40 %, welcher wiederum auf das Fehlermuster zurückzuführen ist. Das Ausbleiben des Knickes bei 60 % und 70 %, wird damit erklärt, dass die Schwerhörigengruppen bei derart hohen Verlustraten schon einen so hohen Diskriminationsverlust von 70 % und mehr erlangt hat. Weiterhin ist, gleich mit der NH-Gruppe, zu beobachten, dass im Bereich sehr hoher Verlusteraten der PLC-Algorithmus ein wenig schlechter abschneidet.

In der Verlustkurve ist ein starker Anstieg zwischen $PL = 40\%$ und $PL = 50\%$ Paketverlust zu erkennen. Innerhalb dieses Abschnittes fällt die Verständlichkeit von rund 80 % auf rund 35 %.

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

Verlustrate	PL			PL+PLC		
	DV	Stdev	CI95%	DV	Stdev	CI95%
0%	0,83	4,08	1,63	0,00	0,00	0,00
10%	1,53	2,60	1,04	0,87	2,06	0,84
20%	1,81	3,26	1,30	1,30	2,97	1,21
30%	10,00	7,29	2,92	1,88	2,81	1,15
40%	6,39	6,05	2,42	7,97	3,86	1,58
50%	26,67	13,33	5,33	26,23	18,92	7,73
60%	42,78	15,99	6,40	35,65	14,48	5,92
70%	30,83	16,92	6,77	55,94	16,39	6,70
80%	75,14	12,24	4,90	84,78	12,05	4,93
90%	99,86	0,68	0,27	98,55	4,36	1,78

Tabelle 5.2: Übersicht der Ergebnisse aus dem Verständlichkeitstest, G.722 mit Paketverlust (PL) und Paketverlust-Concealment (PLC), alle Angaben in [%], DV - Diskriminationsverlust, Stdev - Standardabweichung, CI95% - 95% Konfidenzintervall

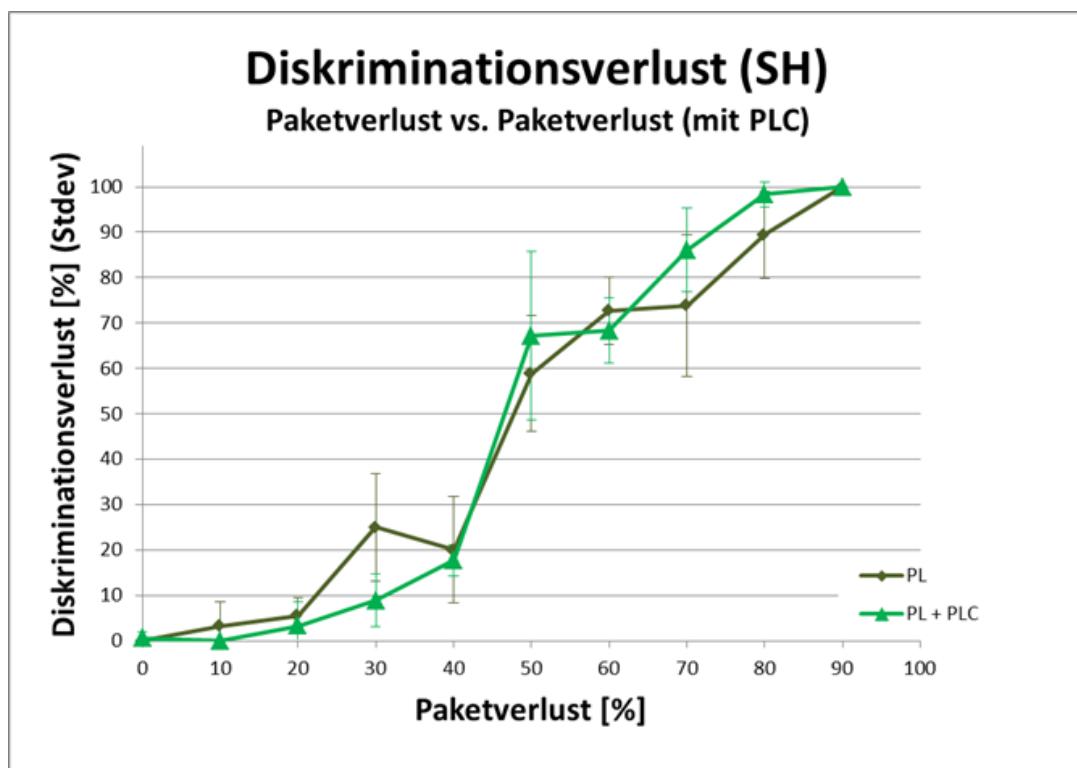


Abbildung 5.3: Resultate - Sprachverständlichkeitstest - Schwerhörige, Stdev - Standardabweichung als Fehlerbalken

5.2.3 Vergleich - Normalhörende und Schwerhörige (DV)

In diesem Abschnitt werden die Diskriminationskurven von Normalhörenden und Schwerhörigen gegenübergestellt. In Abbildung 5.4 sind die Kurven zu sehen, der Übersichtlichkeit halber wurde hier auf die Darstellung mit Fehlerbalken verzichtet. Trotz der geringen Teilnehmerzahl in der SH-Gruppe wird davor ausgegangen, dass die Ergebnisse für diesen Schwerhörigkeitstyp richtigweisend sind, da die Standardabweichungen der Mittelwerte die gleiche Größenordnung besitzen, wie bei den Normalhörenden. Die Darbietungspegel in diesem Versuch wurden so gewählt, dass beide Gruppen bei ungestörtem Testmaterial ($G.722 - PL = 0\%$, *kein PLC*) 100 % Verständlichkeit erreichen können. Bei den Normalhörenden betrug der Lautstärkepegel 73 dB , bei den Schwerhörigen 80 dB . Wie man erkennen kann sind beiden Extremwerte ($PL = 0\%$, $PL = 90\%$) nahezu identisch. Es kann davon ausgegangen werden, dass für beide Gruppen der Verständlichkeitsraum komplett abgedeckt wurde.

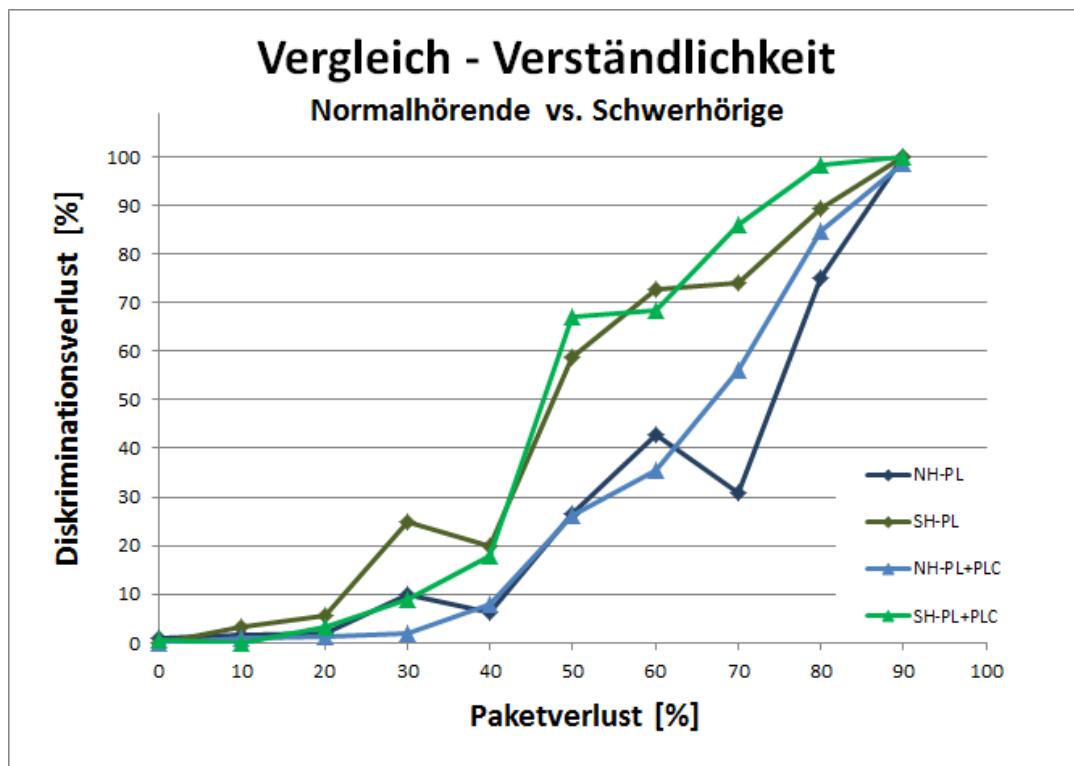


Abbildung 5.4: Resultate - Vergleich der Verständlichkeit, NH-Gruppe vs. SH-Gruppe

Im Bereich der geringen Paketverlustraten (bis $PL = 20\%$) unterscheiden sich beide Gruppen nur gering. Wobei zu beobachten ist, dass die SH-Gruppe einen leichten Verständlichkeitsverlust zu verzeichnen hat. Der deutlichste Unterschied zwischen beiden Gruppen liegt bei mittleren Verlustraten ($PL = 30\% - 80\%$). In diesem Bereich ist der Einfluss der Schwerhörigkeit auszumachen. Durch den Verlust der hohen Frequenzanteile durch die Hochtön-Schwerhörigkeit, fällt es den Testpersonen deutlich schwerer aus den störungsbehafteten Testsignalen sinnvolle Wörter zu rekonstruieren. Da gerade diese Signalanteile für die Identifikation und Unterscheidbarkeit von Sprache von hoher Relevanz sind.

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

Bei sehr hohen Verlustraten laufen alle Kurven wieder zusammen, so dass bei einem Signalverlust von 90 % kein Sprachverstehen mehr möglich ist.

5.2.4 Mapping einer Diskriminationsfunktion für Paketverlust

Nun wird in diesem Abschnitt je eine Diskriminationsfunktion für die Gruppen aus den Ergebnissen des Verständlichkeitstest abgeleitet. Für beiden Gruppen, wurden für die Kurvenanpassung die Daten aus beiden Paketverlustdurchgängen (PL & PL+PLC) zusammengelegt, da beiden Kurven einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen. Zusätzlich wurde für ein genaueres „*Curve Fitting*“ der Wert (DV = 100 % bei PL = 100 %) hinzugefügt. Dieser Wert wurde nicht in den Versuchen ermittelt. Es wird festgelegt, dass bei komplettem Signalverlust, kein Verstehen mehr möglich ist. Das Curve Fitting wurde mit Hilfe von MATLAB und zusätzlichen Toolboxen vorgenommen.

In Abbildung 5.5 sind die zusammengefassten Ausgangsdaten für die Kurvenanpassung zu sehen.

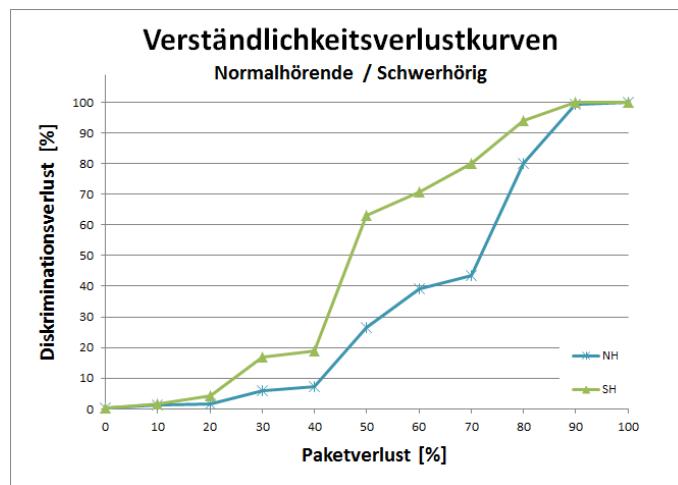


Abbildung 5.5: Gemittelte Verständlichkeitsverlustkurven (über beide Paketverlustkonditionen) der NH- & SH-Gruppe, Pkt: [PL =100 % ; DV = 100 %] für Kurven Anpassung hinzugefügt

Als Grundlagen für das Abbilden einer Funktion auf die Datenpunkte wurde eine *Weibull-Verteilungsfunktion* gewählt. In Gleichung 5.1 ist diese Funktion zu sehen. Nun wurden die Parameter so gewählt, dass sie die Datenpunkte repräsentieren.

$$f(x) = 1 - \exp[-(\alpha \cdot x)^\beta] \quad (5.1)$$

Beim Anpassungsprozess wurde die Funktion abgeändert (siehe Gleichung 5.2), um eine bessere Deckung mit den Datenpunkten zu erhalten.

$$f(x) = 1 - \exp[-\alpha \cdot (k \cdot x)^\beta] \quad (5.2)$$

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

In der Abbildung 5.6 sind die resultierenden Funktionsverläufe zu sehen. Die Koeffizienten für die Anpassung und der Korrelationkoeffizient als Maße für die Güte der Kurvenanpassung sind in Tabelle 5.3 aufgeführt. Dabei zeigt sich, dass die gewählte Funktion ein wenig besser auf den Datensatz der Schwerhörigen passt, als auf den Datensatz der Normalhörenden. Ein Korrelationskoeffizient von $R^2 = 0,89$ für die NH-Gruppe, wird als ausreichend erachtet.

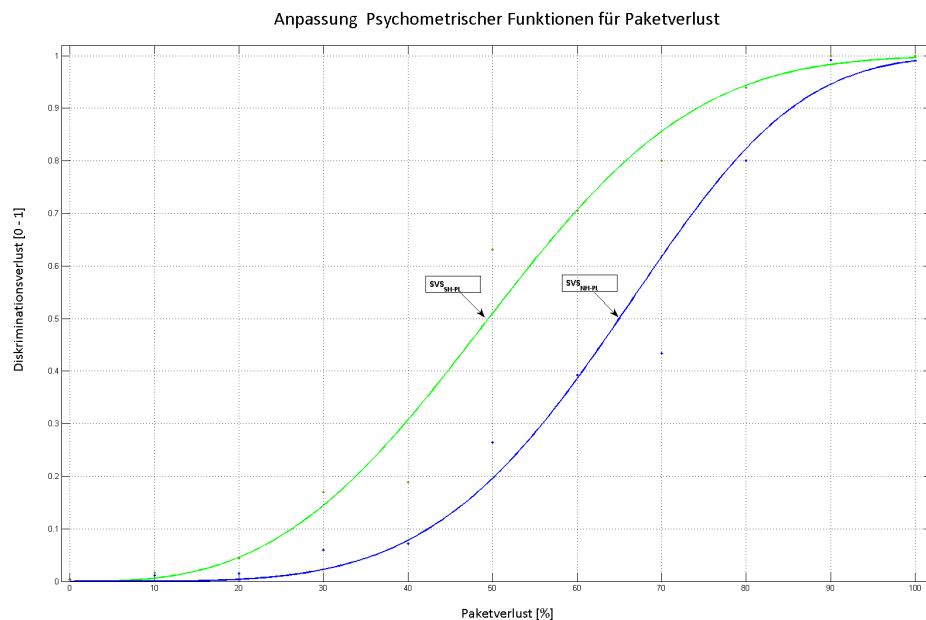


Abbildung 5.6: Ermittelte psychometrische Funktionen für beide Teilnehmergruppen ($DV - Fkt_{NH}$: blau; $DV - Fkt_{SH}$: - grün)

	α	β	k	R^2
NH-Gruppe	5650	4.414	0,002	0,89
SH-Gruppe	669,7	2,973	0,002	0,98

Tabelle 5.3: Koeffizienten für das Mapping der psychometrischen Funktionen für beide Teilnehmergruppen, k = Konstante, R^2 - Korrelationskoeffizient

Die psychometrischen Funktionen für die Sprachverständlichkeit sind nachstehend aufgeführt:

$$NH - \text{Gruppe} : f(x) = 1 - \exp[-5650 \cdot (0,002 \cdot x)^{4,414}] \quad (5.3)$$

$$SH - \text{Gruppe} : f(x) = 1 - \exp[-669,7 \cdot (0,002 \cdot x)^{2,973}] \quad (5.4)$$

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST



Die Sprachverständlichkeitsschwellen werden aus den psychometrischen Funktionen errechnet und liegen bei:

$$SVS_{NH} = 65 \%PL \quad (5.5)$$

$$SVS_{SH} = 49,54 \%PL \quad (5.6)$$

Aufgrund der Schwerhörigkeit, ist bei der SH-Gruppe die Sprachverständlichkeitsschwelle früher erreicht. Die NH-Gruppe kann einen größeren Signalverlust von rund +15 % ausgleichen und erreicht ihre Sprachverständlichkeitsschwelle dementsprechend später.

5.2.5 Ergebnisse und Auswertung - Qualitätshörtest

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des ACR - Qualitätshörtests betrachtet. In den Abbildungen 5.7 und 5.8 sind die Ergebnisse dargestellt. Die Paketverlustkonditionen sind *blau*, die Rauschkonditionen *rot* und die Ankerkonditionen *orange* dargestellt. Die Standardabweichung ist als Fehlerbalken eingetragen. Die Ergebnisse sind noch einmal in tabellarischer Form 5.4 aufgelistet.

Bewertung der Normalhörenden: Bei der ersten Betrachtung fällt sofort auf, dass mit steigender Störungsintensität, dass Qualitätsurteil sinkt. Der Abfall mit einsetzender Störung hat einen annähernd linearen Verlauf. Bei den Rauschkonditionen gab es in der Beurteilung keinen Unterschied zwischen Sprachsimulierenden-OLSA-Rauschen und dem Stimmgewirr. Beide Störungen werden je nach Pegel als qualitativ gleich angesehen. Allgemein kann gesagt werden, dass Paketverlust schlechter bewertet wird als Hintergrundrauschen. Bei beiden Durchgängen (PL, Rauschen) liegen die Bedingungen, die nah an der Sprachverständlichkeitsschwelle, jedoch bei $MOS = 1$. Die Bedingungen ohne Hintergrundrauschen oder mit sehr geringen ($SNR = +43 dB$), liegen mit den Konditionen aus den Paketverlustdurchgang ($PL = 0\%$) gleich auf. Dies ist nicht verwunderlich, da es sich in diesem Fall um die gleichen Konditionen handelt ($G.722$ ohne weiteren Störungseinfluss). Ebenso liegen sie auf der gleichen Höhe mit der Ankerkondition ($BL - WB$ - Breitband). Beim genaueren Blick auf die Paketverlustbewertung, ist zu erkennen, dass die Konditionen mit PLC gerade bei geringen bis mittleren Verlustraten, höhere Qualitätsurteile erzielen. Dies ist umso interessanter, da im ersten Studienteil der PLC-Algorithmus keine Verbesserung der Verständlichkeit erzielt hat. Im Abschnitt 5.3 wird noch einmal tiefer der Zusammenhang zwischen den Sprachverständlichkeitswerten und den Qualitätswerten eingegangen.

Betrachtet man nun die Ankerkonditionen, so sieht man den Qualitätsvorteil von Schmalbandübertagung (NB) zu Breitbandübertragung (WB) von etwa einem MOS . Des Weiteren steigt die Bewertung nur noch minimal beim Vergleich Super-Breitband (SWB) mit Breitband (WB). Setzt man die Ergebnisse nun in Beziehung zu älteren Studien (IT2009 [43], FS2010 [36]), werden einige Unterschiede sichtbar (vgl. Tabelle 5.5). So wurden in der aktuellen Studie für NB und WB ein um ein MOS höherer

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

Konditionen	NH-Gruppe:		SH-Gruppe:	
	MOS	Stdev	MOS	Stdev
BL – SWB	4,84	0,21	4,54	0,17
BL – WB	4,67	0,29	4,56	0,24
BL – NB	3,58	0,69	3,85	0,50
G722_PLC_PL00	4,56	0,43	4,42	0,31
G722noPLC_PL00	4,54	0,38	4,42	0,49
G722_PLC_PL10	3,05	0,63	3,38	0,64
G722noPLC_PL10	2,49	0,46	2,63	0,49
G722_PLC_PL20	2,60	0,57	2,83	0,53
G722noPLC_PL20	2,04	0,43	2,13	0,31
G722_PLC_PL30	2,07	0,53	2,04	0,30
G722noPLC_PL30	1,77	0,45	1,71	0,30
G722_PLC_PL40	1,82	0,41	1,75	0,32
G722noPLC_PL40	1,42	0,38	1,29	0,27
G722_PLC_PL50	1,41	0,41	1,33	0,34
G722noPLC_PL50	1,22	0,29	1,04	0,09
G722_PLC_PL60	1,01	0,05	1,00	0,00
G722noPLC_PL60	1,02	0,07	1,00	0,00
Nolsa_SNR_0	4,53	0,35	4,46	0,34
Nbab_SNR_0	4,52	0,40	4,46	0,22
Nolsa_SNR_43	4,52	0,35	4,46	0,34
Nbab_SNR_43	4,52	0,35	4,46	0,34
Nolsa_SNR_33	3,91	0,53	4,13	0,55
Nbab_SNR_33	3,91	0,53	4,13	0,55
Nolsa_SNR_28	— — —	— — —	3,67	0,47
Nbab_SNR_28	— — —	— — —	3,63	0,31
Nolsa_SNR_23	3,38	0,58	3,46	0,57
Nbab_SNR_23	3,38	0,64	3,33	0,34
Nolsa_SNR_13	2,88	0,74	2,71	0,53
Nbab_SNR_13	2,94	0,63	2,96	0,57
Nolsa_SNR_3	2,10	0,59	1,83	0,53
Nbab_SNR_3	2,21	0,70	1,75	0,50
Nolsa_SNR_-7	1,09	0,21	— — —	— — —
Nbab_SNR_-7	1,09	0,37	— — —	— — —

Tabelle 5.4: Ergebnisse - Hörtest - Normalhörende und Schwerhörige, es sind die Testkonditionen, die Mean Opinion Scores und die Standardabweichungen der Mittelwerte angegeben, Nolsa - OLSA-Rauschen, Nbabs - Stimmgewirr

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST



Wert erzielt. Der Abstand zwischen *NB* und *WB* blieb jedoch in etwa gleich. Einzig bei *SWB* blieben die MOS-Werte in der gleichen Größenordnung, so dass über dieses Studie hinaus nur unter Einschränkungen Aussagen und Zusammenhänge abgeleitet werden können.

Konditionen	Studien: MOS (Stdev)			
	FS2014 (NH)	FS2014 (SH)	IT2009	FS2010
BL-SWB	4,84 (0,21)	4,54 (0,17)	4,25 (0,70)	4,50 (0,74)
BL-WB	4,67 (0,29)	4,56 (0,24)	3,42 (0,70)	3,64 (0,91)
BL-NB	3,58 (0,69)	3,85 (0,50)	2,43 (0,66)	2,43 (1,03)

Tabelle 5.5: Vergleich der Ankerkonditionen mit älteren Studien, Stdev - Standardabweichung)

Die Versuchspersonen haben im Hörtest den gesamten Beurteilungsraum für Paketverlust, sowie für Rauschen, ausgeschöpft. Die Wahl der Konditionen war somit sinnvoll, da noch größere Störungsstufen, lediglich $MOS = 1$ generiert hätten und man sich im Stättigungsbereich für diese Qualitätsdimensionen befinden würde.

Bewertung der Schwerhörenden: Bei der Schwerhörigengruppe zeichnet sich für die Qualitätsbewertung ein ganz ähnliches Bild. Auch hier sinkt die Qualitätbewertung mit steigender Störungsintensität und die Paketverlustkonditionen werden schlechter bewertet, als die Rauschkonditionen. Bei der Begutachtung der Ankerkonditionen fällt auf, dass der Gewinn der Breitbandübertragung geringer ist gegenüber der Schmalbandübertragung. Auch wurde die Schmalbandübertragung an sich besser bewertet als in der NH-Gruppe. Die Super-Breitbandübertragung hingegen hat gar keinen Qualitätsvorteil gegenüber der Breitbandübertragung erzielt. Beides lässt sich auf den Einfluss der Hörstörung der Teilnehmer zurückführen. Da Aufgrund der fehlenden Hochtonbereiche, die größere Übertragungsbandbreite nicht mehr wahrgenommen wurde.

Eine weitere Auffälligkeit ist, dass die SH-Gruppe den Bewertungsraum für Rauschkonditionen nicht völlig ausgeschöpft hat. Da ein anderes sinnhaftes Testsatzmaterial verwendet wurde, ist denkbar, dass das Material weiterhin verständlich war. Die Annahme, dass ein Signal-Rausch-Abstand von $SNR = -7 \text{ dB}$ für den Qualitätstest zu groß ist, da dies die Sprachverständlichkeitsschwelle aus den Verständlichkeitsversuchen (*nolsa*) überschreiten würde, hat sich als nicht richtig herausgestellt.

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

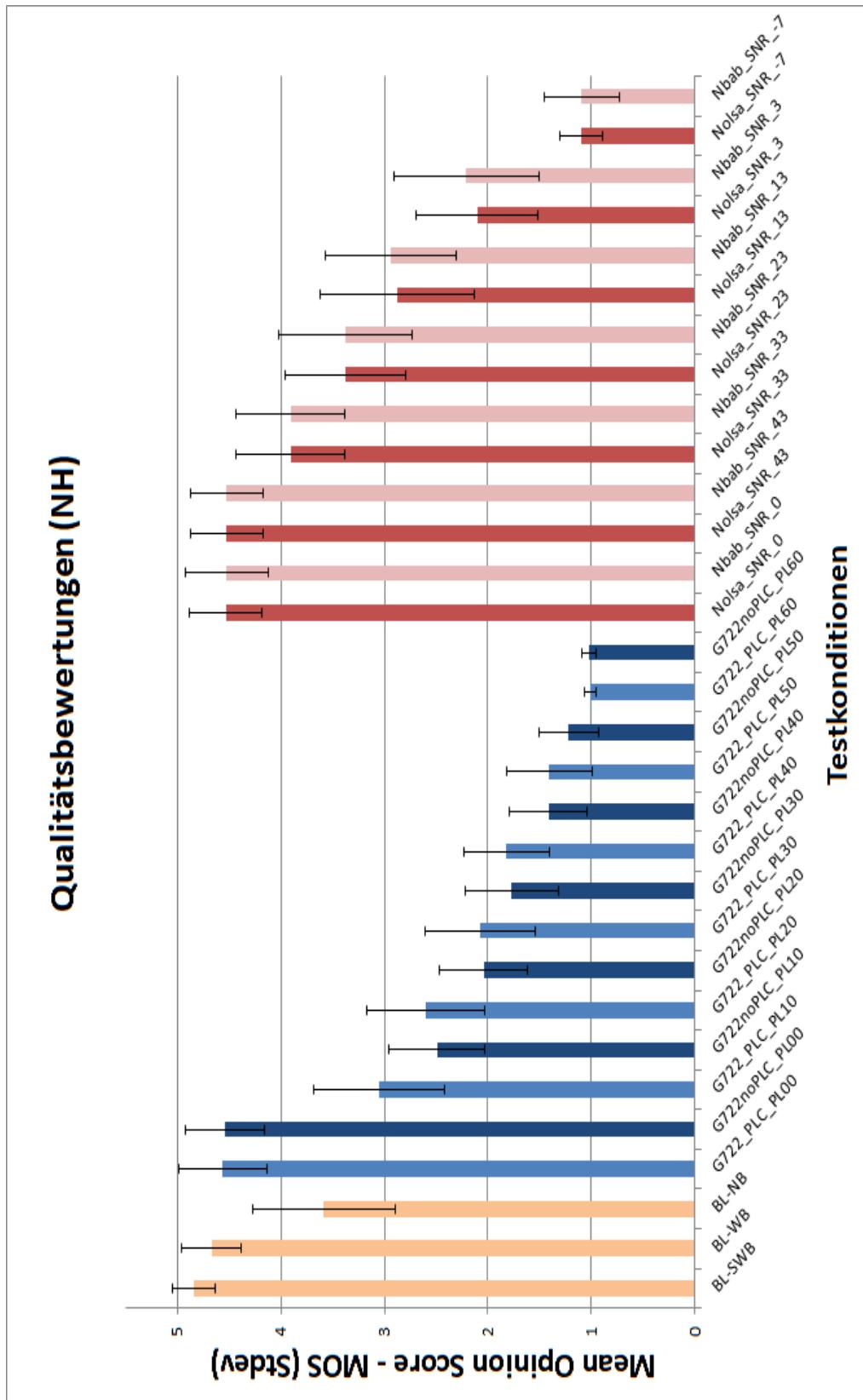


Abbildung 5.7: Mittelwerte der Qualitätsbewertung der NH-Gruppe, Standardabweichung (Stdev) als Fehlerbalken, N - OLSA-Rauschen, Nbab - Stimmgewirr, BL - Bandbegrenzung

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

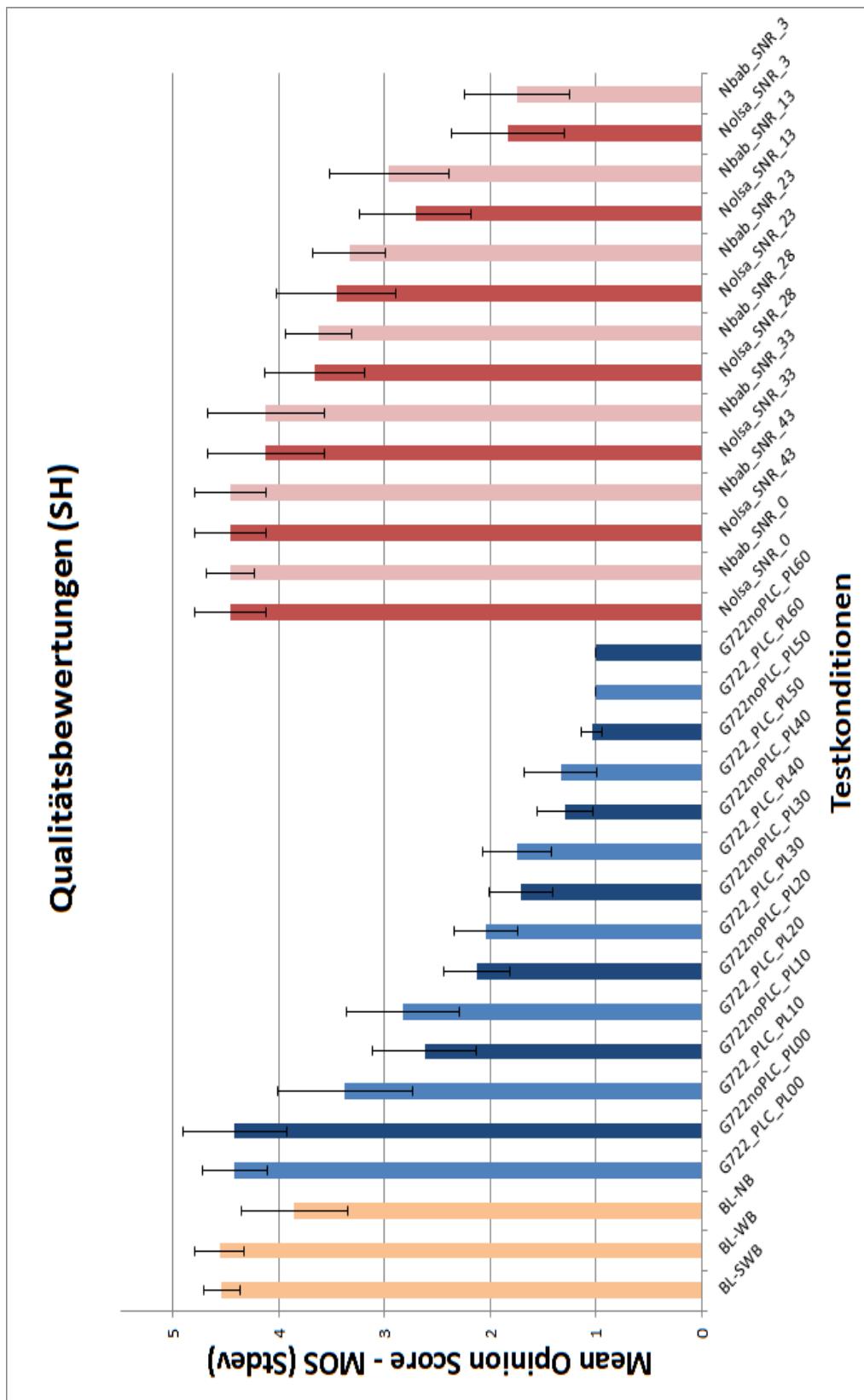


Abbildung 5.8: Mittelwerte der Qualitätsbewertung der SH-Gruppe, Standardabweichung (Stdev) als Fehlerbalken, N - OLSA-Rauschen, Nbab - Stimmgewirr, BL - Bandbegrenzung

5. ERGEBNISSE

5.2. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG - SPRACHVERSTÄNDLICHKEITSTEST

5.2.5.1 Vergleich - Normalhörende und Schwerhörige (MOS)

Im Diagramm 5.9 sind die Qualitätsbewertung der NH- und der SH-Gruppe, als direkte Gegenüberstellung zu sehen. Die Ergebnisse der SH-Gruppe sind auf der Y-Achse aufgetragen und die der NH-Gruppe auf der X-Achse. Die, für den Vergleich, verwendeten Konditionen, deren Mittelwerte, sowie Standardabweichung sind in Tabelle 5.4 zu aufgetragen.

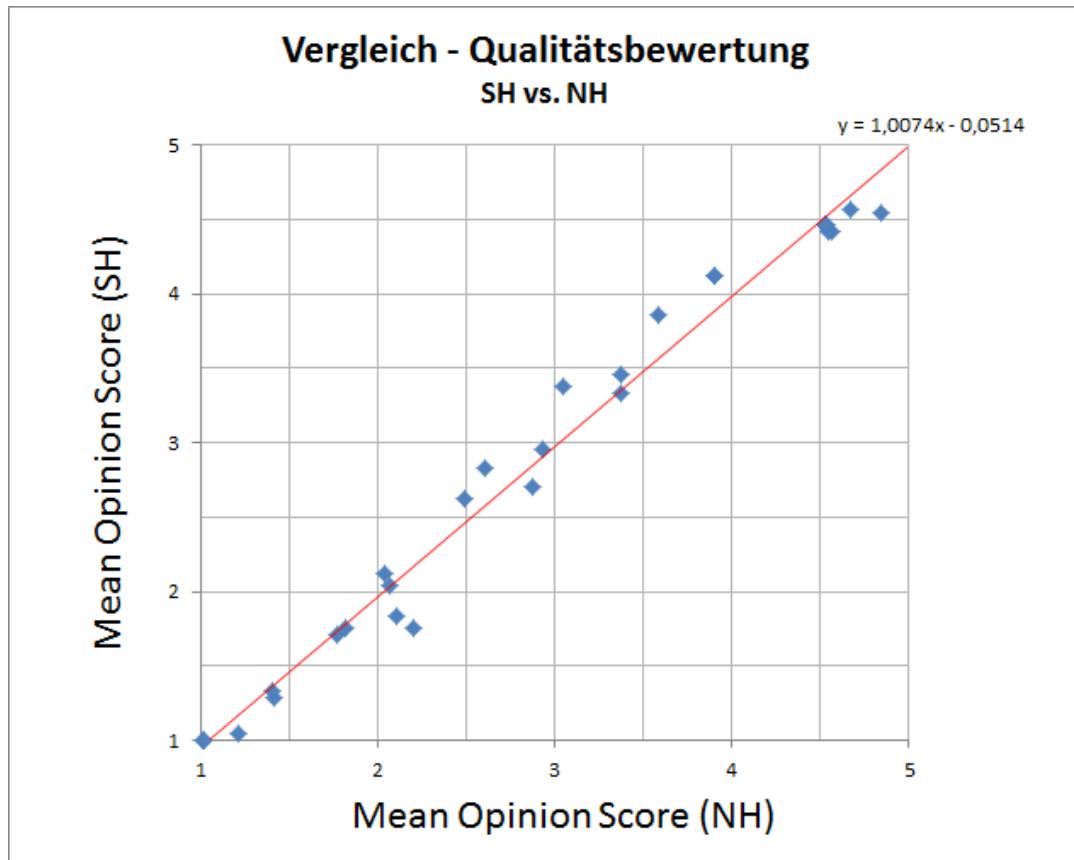


Abbildung 5.9: Vergleich - Qualitätsbewertung (NH- und SH-Gruppe)

Auf den ersten Blick wird ein linearer Zusammenhang sichtbar. Um dies zu verdeutlichen, wurde eine Regressionsgerade 5.7 berechnet und der Korrelationkoeffizient R^2 bestimmt. Der Korrelationkoeffizient beträgt $R^2 = 0,991$ und es besteht somit ein starker Zusammenhang.

$$reg(x) = mx + b = 1,0074x - 0,0514 \quad (5.7)$$

Beide Gruppen besitzen in der Qualitätsbeurteilung ein identisches Verhalten. Anders als bei der Verständlichkeit, schlägt sich in der Bewertung der Signalübertragungsqualität diese Art der Schwerhörigkeit nicht nieder.

5.3 Vergleich - Verständlichkeit und Qualität

In diesem Abschnitt wird nun der Zusammenhang zwischen dem Diskriminationsverlust und der Qualitätsbewertung hergestellt. In diesem Abschnitt werden nur die paketverlustbehafteten Konditionen betrachtet. Die Abbildung 5.10 zeigt diesen Zusammenhang. Die blauen Datenpunkte stammen von der NH - Gruppe, die grünen Datenpunkte von den Schwerhörigen. Die Werte sind zusätzlich in Tabelle 5.6 zu sehen. Zunächst erkennt man, dass beide Kurven im Bereich von $MOS = 2$ bis $MOS = 3$ annähert gleich sind. Im Bereich von $MOS = 1$ haben die Kurven eine ähnlichen Verlauf, wobei die SH-Kurve zu höheren DV-Werten verschoben ist.

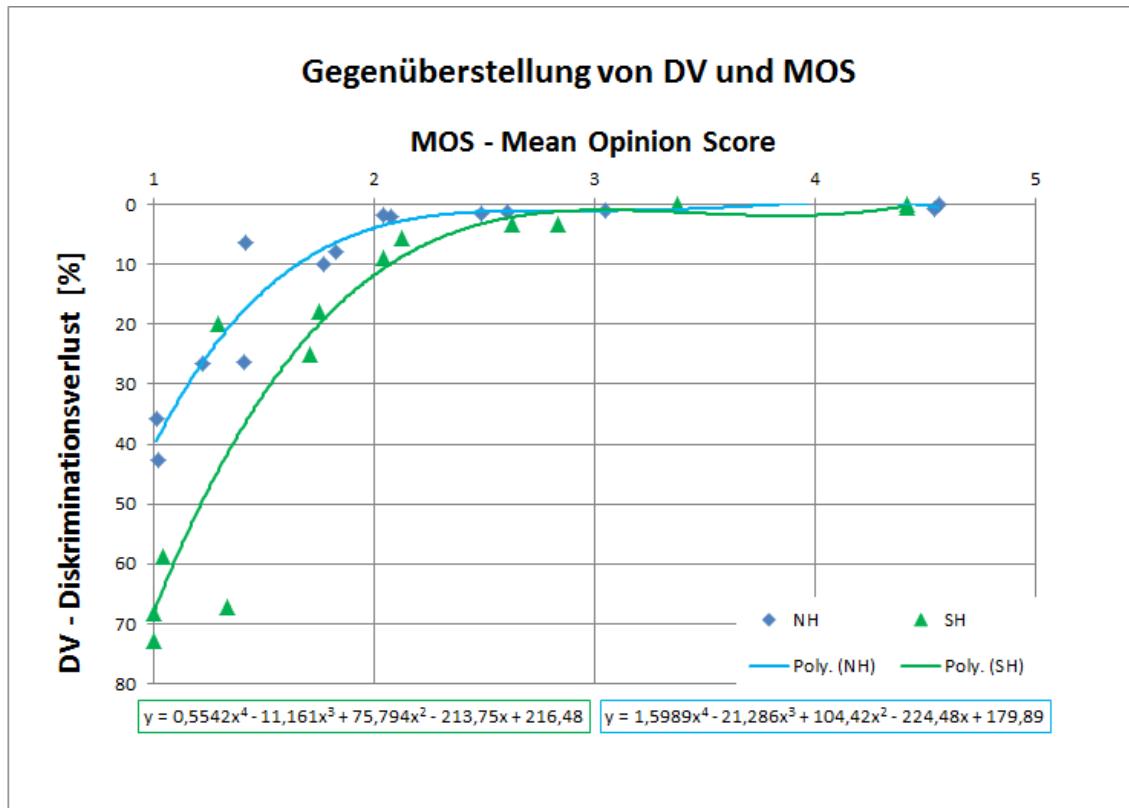


Abbildung 5.10: Vergleich - Diskriminationsverlust (DV) mit Qualitätsurteilen (MOS) (NH - blau, SH - grün)

Daraus lässt sich schließen, wenn der Diskriminationsverlust klein ist ($DV = 0 - 10\%$), dann ist die Qualitätsbewertung unabhängig von der Sprachverständlichkeit. In diesem Bereich wurde der gesamte Qualitätsraum (1 – 5) abgedeckt, obwohl die Verständlichkeit hoch war. Zumal die Diskriminationsverlustwerte für die einzelnen Konditionen mit dem schwereren OLSA-Satzmaterial ermittelt wurden. So dass, für das Satzmaterial im Qualitätstest eine höhere Verständlichkeit erwartet wird, da die Sätze sinnbehaftet sind. Hier beeinflussen andere Aspekte das Qualitätsurteil. Hier könnte man sich in einem Bereich bewegen, der eher die Klanggestalt, die Höranstrengung oder den Wohlklang in die Bewertung einbezieht.

Für Konditionen bei denen die Verständlichkeit ($DV \geq 10\%$) ist, wird nur noch ein Qualitätsurteil von ($MOS = 1$) erzielt. In diesem Bereich wird das Qualitätsurteil

5. ERGEBNISSE

5.3. VERGLEICH - VERSTÄNDLICHKEIT UND QUALITÄT

scheinbar hauptsächlich vom Verständlichkeitsverlust dominiert. Allerdings spielen auch in diesem Bereich Höranstrengung und Wohlklang eine große Rolle. Da sich bei höherem Paketverlust, zusätzlich zum Verständlichkeitsverlust, die Klanggestalt ändert (bspw. metallischer Klang bei PLC).

Kondition	NH		SH	
	<i>MOS</i>	<i>DV</i>	<i>MOS</i>	<i>DV</i>
G722_PLC_PL00	4,56	0,00	4,42	0,56
G722_PLC_PL10	3,05	0,87	3,38	0,00
G722_PLC_PL20	2,60	1,30	2,83	3,33
G722_PLC_PL30	2,07	1,88	2,04	8,89
G722_PLC_PL40	1,82	7,97	1,75	17,78
G722_PLC_PL50	1,41	26,23	1,33	67,22
G722_PLC_PL60	1,01	35,65	1,00	68,33
G722noPLC_PL00	4,54	0,83	4,42	0,00
G722noPLC_PL10	2,49	1,53	2,63	3,33
G722noPLC_PL20	2,04	1,81	2,13	5,56
G722noPLC_PL30	1,77	10,00	1,71	25,00
G722noPLC_PL40	1,42	6,39	1,29	20,00
G722noPLC_PL50	1,22	26,67	1,04	58,89
G722noPLC_PL60	1,02	42,78	1,00	72,78

Tabelle 5.6: Gegenüberstellung des Diskriminationsverlustes zum Mean Opinion Score aus beiden Studienteilen (NH & SH Gruppe)

Bei der Betrachtung der Verschiebung zwischen der NH-Kurve und der SH-Kurve, zeigt sich wieder der Einfluss der Schwerhörigkeit auf den Diskriminationsverlust. Allerdings ist hier auch zu sehen, dass die Schwerhörigkeit keinen besonderen zusätzlichen Einfluss auf das Qualitätsurteil besitzt. Denn trotz unterschiedlicher DV-Werte werden in der SH-Gruppe die gleichen MOS erzielt.

Kapitel 6

Zusammenfassung

In dieser Arbeit sind zwei subjektive Versuche durchgeführt worden. Dabei handelte es sich um einen Sprachverständlichkeitstest auf der Basis des OLSAs und um einen reinen Hörttest. In beiden Teilen bestand das Testmaterial aus Sprachproben. Ein besonderes Augenmerk wurde in dieser Studie auf *Paketverlust* gelegt, da es sich hierbei um eine häufig vorkommende Störung in VoIP-Netzen handelt.

Ein Überblick über die verwendeten Proben, sowie ihre Erstellung ist in der Arbeit zu finden, wie die Dokumentation der Durchführung und der Ergebnisse. Dabei wurden die Ergebnisse ausgewertet und mit einander in Verbindung gebracht.

Beim Vergleich der Sprachverständlichkeit und der Sprachverständlichkeitsschwelle zwischen der NH- und SH-Gruppe ergaben sich Unterschiede in der Diskrimination aufgrund der Hörminderung der SH-Gruppe. Somit konnte ein zusätzlicher Einfluss der Hörminderung auf die Verständlichkeit bei Paketverlust ermittelt werden. Die Sprachverständlichkeitsschwellen für Paketverlust liegen bei den Normalhörenden bei etwa $PL = 65\%$ und bei den Schwerhörigen bei etwa $PL = 50\%$. Das heißt, dass ein Schwerhöriger mit einer Hochtön-Innenohrschwerhörigkeit, im Vergleich zu Normalhörenden, etwa 15 % mehr Signalinformation benötigt, damit seine Sprachverständlichkeitsschwelle erreicht ist. Des Weiteren wurden für Paketverluste Diskriminationsverlustfunktionen aus den Ergebnissen abgeleitet. Diese Ergebnisse sind jedoch nur für das verwendete OLSA-Testmaterial gültig.

Bei den Qualitätsurteilen zeigt sich, dass Schwerhörige in gleichem Maße wie Normalhörende beurteilen. Der Vergleich zeigte einen starken linearen Zusammenhang. Dort ergaben sich keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Dies steht im Gegensatz mit den Schlussfolgerungen von Marszalek [30], der einen Bewertungsunterschied bei Schwerhörigen ausmachte. Im Vergleich der Sprachverständlichkeit mit den Qualitätsurteilen hat sich auf der einen Seite gezeigt, dass die Qualitätsurteile in hohen Maße von der Sprachverständlichkeit abhängen, da im Bereich $DV \geq 10\%$ nur noch $MOS = 1$ erzielt wurde. Auf der anderen Seite ist zu erkennen, dass wenn eine ausreichende Verständlichkeit $DV = 0 - 10\%$ gewährleitet wird, der Qualitätsraum vollständig ausgenutzt wird. In diesem Bereich, hängt das Qualitätsurteil nicht mehr von der Sprachverständlichkeit ab, sondern es dominieren andere Faktoren (*Wohkklang, Klangfarbe etc.*).

In der Betrachtung der Ankerkonditionen hat sich gezeigt, dass der Kontext in dem diese Studie durchgeführt wurde einen Einfluss auf die Ergebnisse hatte, da hier die Anker besser bewertet wurden als in früheren Studien. Jedoch ist auch hier der Qualitätsgewinn einer Breitband- ($BL-WB$) zur Schmalbandübertragung ($BL-NB$) zu sehen. So dass für Normalhörende als auch für Schwerhörige Projekte wie *HD-Voice* der Telekom AG einen hohen Nutzen für beide Nutzergruppen haben. Wie schon in älteren Studien, bestätigte sich auch hier, dass eine Super-Breitbandübertragung ($BL-SWB$) nur noch einen kleinen Qualitätsgewinn bei den Normalhörenden erzielt. Dies könnte an der Sprachbandbreite liegen, da die obere Frequenzgrenze von Sprache bei etwa 8 kHz liegt und die größere Übertragungsbandbreite somit keine weiteren Sprachinformationen liefern kann. Bei der schwerhörigen Gruppe ist kein Vorteil einer Erweiterung der Übertragungsbandbreite auf Super-Breitband auszumachen. Der Grund dafür ist eindeutig in der Hörminderung dieser Gruppe zu sehen. Da hier eine „natürliche“ Tiefpassfilterung vorliegt und zusätzlich übertragene Signalfrequenzen nicht mehr wahrgenommen werden können.

Beantwortung der anfangs gestellten Fragen:

- *Welchen Einfluss hat Paketverlust auf die Sprachverständlichkeit und bei welcher Paketverlustrate ist die Sprachverständlichkeitsschwelle erreicht?*
 - Paketverlust hat einen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit. Die Sprachverständlichkeitsschwelle liegt bei: Normalhörenden etwa $PL = 65\%$, Schwerhörigen etwa $PL = 50\%$. Allerdings kommt zufälliger Paketverlust mit Verlustraten in dieser Höhe nahezu nie in realen VoIP-Netzwerken vor.
- *Unterscheidet sich die Sprachverständlichkeit bei Paketverlust zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen?*
 - Die Sprachverständlichkeit bei Paketverlust unterscheidet sich zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen. Allerdings zeigt der Kurvenlauf einen sehr ähnlichen Anstieg. Allgemein führt Paketverlust für Schwerhörige eher zu Einbußen in der Verständlichkeit, als dies bei Normalhörenden der Fall ist.
- *Unterscheidet sich die Qualitätsbeurteilung von Übertragungsstörungen zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen?*
 - Das Qualitäturteil unterscheidet sich zwischen beiden Gruppen nicht. Beide Gruppen zeigten ein nahezu identisches Verhalten. Es wurde ein starker linearer Zusammenhang ermittelt.
- *Existiert ein Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit und dem Übertragungsqualitätsurteil?*
 - Ist der Sprachverständlichkeitsverlust $DV \geq 10\%$ so scheint das Qualitätsurteil nur noch von der eingeschränkten Verständlichkeit dominiert zu werden. Allerdings werden in diesem Bereich noch weitere nicht untersuchte Faktoren eine Rolle spielen (z. B.: Höranstrengung etc.)

Da Sprache das wichtigste Kommunikationsmittel ist, wird auch für zukünftige Technologien die Sprachverständlichkeit und die Sprachqualität von großen Interesse sein. So muss in einem Qualitätshörversuch immer eine ausreichend hohe Sprachverständlichkeit sichergestellt werden, da anderenfalls primär schlechte Qualitätsurteile generiert werden.

6.1 Ausblick

Um die Ergebnisse aus dieser Studie zu bestätigen, bedarf es weiterer Untersuchungen. Besonders für die Untersuchung der Unterschiede in der Sprachverständlichkeit, sind weitere Versuche nötig. Da in dieser Studie nur eine kleine Teilnehmerzahl in der SH-Gruppe untersucht wurde, wäre eine Studie sinnvoll, in der eine größere Anzahl Teilnehmer betrachtet wird. Außerdem ist denkbar, dass andere Hörstörungen, als die hier betrachtete, weitere Effekt hervorbringen. Um die Resultate zur Diskrimination zu bestärken und verallgemeinernde Aussagen treffen zu können, könnte eine Versuchsreihe durchgeführt werden, die unterschiedliches Satz- und Sprachmaterial betrachtet. In dieser Studie trat die Frage zutage, welche Faktoren das Qualitätsurteil im Bereich sehr gute Verständlichkeit beeinflussen und ob diese Faktoren zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen unterschiedlich sind. In diesem Bereich könnten weitere Studien Aufschluss über diese Faktoren geben. Diese könnten bspw. aufzeigen wie hoch die Höranstrengung sein muss, damit sich ein Einfluss auf die Qualität ergibt oder aber wie Wohlklang oder „Idealklang“ im Zusammenhang mit Sprachübertragungsqualität zu definieren ist.

Da sich in dieser Studie primär mit zufälligen Paketverlust befasst wurde, könnten in Nachfolgeprojekten auch weitere Störungen (Bursty Packet Loss, veränderliche Bitraten, Codecwechsel etc.) betrachtet werden. Weiterhin wäre interessant, Qualitätswerte in Konversationsversuchen mit Schwerhörigen zu ermitteln und zu untersuchen, wie sich deren Kommunikationsstrategien unter Störungseinfluss verändern. Gerade der Vergleich zwischen Normalhörenden und Schwerhörigen sollte weiter detailliert untersucht werden. Diese wachsende Bevölkerungsgruppe wird auch in Zukunft Kommunikationstechnologie nutzen und stellen einen großen künftigen Absatzmarkt dar.

Abbildungsverzeichnis

1	Titelbild: Music_green_sound, Grundlage der Abb. aus [16] & [18]	1
2	Logo der TU Berlin [15]	2
3.1	Schematische Abbildung des menschlichen peripheren Hörsystems	10
3.2	Typische Außenohr-Übertragungsfunktion bei frontaler Beschallung	11
3.3	(a) Darstellung des Innenohrs (Gleichgewichtssystem und Hörschnecke), zusätzlich ist der Steigbügel zu sehen; (b) Darstellung der Hörschnecke, schematischer Einblick der gewundenen Basilarmembran mit aufsitzendem Corti-Organ (Abb. aus [9])	12
3.4	Schnitt durch die Cochlea, schematische Abbildung der Innenohrkanäle	12
3.5	Bearbeitete Elektronenmikroskopaufnahme des Corti-Organs	13
3.6	Schematische Abbildung der Hörbahnen des auditiven Systems	14
3.7	Psychometrische Funktion - Ergebnis eines hypothetischen Experiments zur Entdeckung einer Reizschwelle.	16
3.8	Hörfläche des menschlichen Gehörs	17
3.9	Sprachfeld: (a) normalhörend, (b) mit zusätzlicher Hochtonminderung (rot), Abb. aus [1]	19
3.10	Sagitalschnitt des menschlichen Sprechapparates	21
3.11	Menschliche Spracherzeugung als Quelle-Filter-Modell	22
3.12	Schematische Darstellung der Beziehung der Begrifflichkeiten zum Sprachverständnis	23
3.13	Schematische Darstellung unterschiedlicher Diskriminationsfunktionen (unterschiedliche Hörstörungen im Vergleich zum unbeeinträchtigten Gehör)	25
3.14	Schema einer Versuchsperson in einer psychophysikalischen Messung .	28
3.15	Schematische Abbildung für die paketorientierte Datenübertragung .	29
4.1	Versuchsaufbau (Raum: „Nautilus“), Foto F.Schiffner 2014-02-07	34
4.2	Screenshot, Eingabefenster ACR-Test	41
5.1	Resultate - SVS-NH-Gruppe für verschiedene OLSA - Durchgänge	43
5.2	Resultate - Verständlichkeitstest -NH-Gruppe	45
5.3	Resultate - Verständlichkeitstest - SH-Gruppe	46
5.4	Vergleich der Verständlichkeit, NH-Gruppe vs. SH-Gruppe .	47
5.5	Gemittelte Verständlichkeitsverlustkurven der NH- & SH-Gruppe .	48
5.6	Ermittelte psychometrische Funktionen für beide Teilnehmergruppen	49
5.7	Ergebnisse Qualitätsbewertung (NH-Gruppe)	53
5.8	Ergebnisse Qualitätsbewertung (SH-Gruppe)	54

5.9 Vergleich - Qualitätsbewertung (NH- und SH-Gruppe)	55
5.10 Vergleich DV mit MOS	56

Tabellenverzeichnis

4.1	Zeitplan Sprachverständlichkeitsversuch	33
4.2	Zeitplan Hörversuch	33
4.3	Zusammensetzung der Versuchspersonengruppen	36
4.4	Übersicht der verwendeten Konditionen aus beiden Studienteilen	38
4.5	Übersicht der Versuchsteile - Sprachverständlichkeitstest	39
4.6	Übersicht der Ausgangspegel - Sprachverständlichkeitstest	40
5.1	Übersicht der Ergebnisse aus dem Verständlichkeitstest der Normal-hörenden, G.722 mit Paketverlust und Paketverlust-Concealment	44
5.2	Übersicht der Ergebnisse aus dem Verständlichkeitstest der Schwer-hörigen, G.722 mit Paketverlust (PL) und Paketverlust-Concealment (PLC)	46
5.3	Koeffizienten Kurven-Mapping	49
5.4	Ergebnisse - MOS aus dem Hörttest (NH und SH)	51
5.5	Vergleich der Ankerkonditionen mit älteren Studien	52
5.6	Gegenüberstellung DV vs. MOS (NH & SH Gruppe)	57
A.1	Übersicht der Tonaudiogramme Testteilnehmer	i

Abkürzungsverzeichnis

R^2	Korrelationskoeffizient
ACR	Absolute Category Rating
AIPA	Assessment of IP-based Applications
AVWS	Auditive Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörung
CD	Compact Disc
CI 95%	95% Konfidenzintervall
dB	Dezibel
dB(A)	Dezibel A - bewertet
dBov	Dezibel overload
dBspl	Dezibel - Schalldruckpegel (Sound pressure level)
DV	Diskriminationsverlust
DVD	Digital Versatile Disc
HQ	High Quality
HRTF	Head related Transfer Function - Kopfbezogene Übertragungsfunktion
HT	Hörtest
ITU - R	International Telecommunication Union Radiocommunications Sector
ITU - T	International Telecommunication Union Telecommunications Standardisation Sector
Mean	Mittelwert
MOS	Mean Opinion Score
NB	Narrowband - Schmalband
NH	Normalhörende
OLSA	Oldenburger Satztest
PC	Personal Computer
PL	Paket Loss - Paketverlust
PLC	Packet Loss Concealment - Packetverlustverschleierung
PTS	Permanent Threshold Shift - Dauerhafte Hörschwellenverschiebung
QU	Quality and Usability - Qualität und Gebrauchstauglichkeit
SB - ADPCM	Sub-Band Adaptive Differential Pulse Code Modulation
SH	Schwerhörige
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to Noise Ratio (Signal-Rausch-Abstand)
SNR	Signalrauschabstand
SPL	Sound Pressure Level
Stdev	Standard Deviation, Standardabweichung

SVS	Sprachverständlichkeitsschwelle
SVT	Sprachverständlichkeitstest
SWB	Super-Wideband - Super-Breitband
TTS	Temporal Threshold Shift - Vorübergehende Hörschwellenverschiebung
TTS	Text to Speech
VoIP	Voice over Internet Protokoll
WB	Wideband - Breitband

Literaturverzeichnis

- [1] AMPLIFON: *AmpliSolutions - Individuelle Hörlösungen.* Informationheft. www.amplifon.de. **3.9, 6.1**
- [2] BÖHME, GERHARD UND WELZL-MÜLLER, KUNIGUNDE: *Audiometrie - Hörprüfung im Erwachsenen- und Kindesalter, Ein Lehrbuch.* Verlag Hans Huber, Bern, 1998. **3.1.1, 3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.1.1.2, 3.1.2, 3.1.4, 3.2, 3.2.1, 3.2.4, 3.3.3.1, 3.3.3.2**
- [3] BRUNNER, RENÉ UND NÖLDEKE, ILSE: *Das Ohr - Anatomie, Pathologie, Physiologie für Hörgeräteakustiker und audiologische Assistenzberufe.* Thieme Verlag, Stuttgart, 2001. **3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.2.2**
- [4] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR KOMMUNIKATION, INFORMATIONSVERARBEITUNG UND ERGONOMIE FKIE: *Sprechapparat - ITF für Sprecherkennung.* URL: www.fkie.fraunhofer.de/de/veranstaltungen/messen/2012/wissenschaftsnacht.html. letzter Besuch 09/2013. **3.10**
- [5] FRIEDRICH, HANS JÖRG: *Tontechnik für Mediengestalter - Töne hören, Technik verstehen, Medien gestalten.* Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, 2008. pdf-Version. **3.1, 3.1.1.1, 3.3**
- [6] GELFAND, STANLEY: *Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics.* informa healthcare, London, 2010. **3.1.1.1**
- [7] GIBBON, D.: *EUROM.1 - German Speech Database.* University of Bielefeld, 1992. Bielefeld. **4.1, 4.1.2**
- [8] GOLDSTEIN, IRTEL, LAY, ET AL.: *Wahrnehmungspsychologie - Der Grundkurs.* Spektrum Akademischer Verlag, Verlag C.H. Beck, 2007. URL: www.beck.de. **3.1.3, 3.7**
- [9] GONZALEZ, C. G.: *Organ of Corti - The Receptor Organ of Hearing.* URL: www.youtube.com/watch?v=xMUL5CCoW6Y. letzter Besuch 09/2013. **3.3, 3.4, 6.1**
- [10] HARGUS FERGUSEN S. AND KEWLEY-PORT D.: *Vowel Intelligibility in clear and conversational speech for normal-hearing and hearing-impaired listeners.* Department of Speech and Hearing Science, Indiana University, USA - Bloomington, 2002. **3.6**

- [11] HOLUBE, I.: *Experimente und Modellvorstellungen zur Psychoakustik und zum Sprachverstehen bei Normal- und Schwerhörigen*. Dissertation, 1993. Georg-August-Universität zu Göttingen, D-Göttingen. **3.6**
- [12] HÖRGERÄTE-SYSTEMTECHNIK, K. FÜR: *Oldenburger Satztest*. HörTech gGmbH, 2011. Oldenburg. **3.3.3.3, 4.1, 4.1.2**
- [13] HÖRGERÄTE-SYSTEMTECHNIK, K. FÜR: *Bedienungsanleitung - Freiburger Sprachtest*. HörTech gGmbH, 2013. Oldenburg. **3.3.3.2**
- [14] INTERNET: *Corti - Organ*. URL: <http://www2.teknat.uu.se/forskning/uu/bild.php?typ=forskningsprogram&id=379>. letzter Besuch 09/2013. **3.5**
- [15] INTERNET: *Logo der Technischen Universität Berlin*. URL: www.tu-berlin.de. letzter Besuch 08/2013. **6.1**
- [16] INTERNET: *Music green sound*. URL: www.free-desktop-backgrounds.net/Music-wallpapers/Music-background-pictures/Music-green-sound.html. letzter Besuch 11/2013. **6.1**
- [17] INTERNET: *Schematische Abbildung des menschlichen peripheren Hörsystems*. URL: www.erhard-f-freitag.de/tl_files/innertalk/layout/img/grafiken/Subliminale-Nachrichten-ins-menschliche-Ohr.jpg. letzter Besuch 09/2013. **3.1**
- [18] INTERNET: *WebstormProjects Webaudio*. URL: www.smartjava.org/content/exploring-html5-web-audio-visualizing-sound. letzter Besuch 03/2014. **6.1**
- [19] ITU-T REC. G.722: *7 kHz Audio-Coding within 64kbit/s*. International Telecommunication Union, CH-Geneva, 1988. **4.1.2**
- [20] ITU-T REC. P.800: *Methods for Subjective Determination of Transmission Quality*. International Telecommunication Union, CH-Geneva, 1996. **3.4.3, 4.1, 4.2**
- [21] ITU-T REC. P.800.1: *Mean Opinion Score (MOS) terminology*. International Telecommunication Union, CH-Geneva, 2006. **4.2**
- [22] ITU-T REC. P.830: *Subjective Performance Assessment of Telephone-Band and Wideband digital Codecs*. International Telecommunication Union, CH-Geneva, 1996. **4.1, 4.2**
- [23] JEKOSCH, U.: *Voice and Speech Quality Perception: Assessment and Evaluation*. Springer-Verlag, D-Berlin, 2005. **3.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.6**
- [24] KOLLMEIER, B.: *Psychoakustik und Sprachperzeption bei Normal- und Schwerhörigen*. URL: [http://medi.uni-oldenburg.de/download/docs/lehre/pichl09/05\\$_Kollmeier.pdf](http://medi.uni-oldenburg.de/download/docs/lehre/pichl09/05$_Kollmeier.pdf), März 2009. **3.13**
- [25] KRAMME, R. (ED.): *Medizintechnik - Verfahren, System, Informationsverarbeitung*. Springer-Verlag, 2006. Kap.14 - Audiometrie - S. Hoth. **3.1.2, 3.2, 3.2.2, 3.2.3, 3.3.3.2**

- [26] LAZARUS H., SUST C.A., STECKEL R., KULKA M., KURTZ P.: *Akustische Grundlagen sprachlicher Kommunikation*. Springer-Verlag, Heidelberg, 2007. **3.6**
- [27] LERCH R., SESSLER G., WOLF DIETRICH: *Technische Akustik - Grundlagen und Anwendungen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009. **3.3.1**
- [28] LU HUO: *Active speech level measurement following ITU-T P.56*. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Dezember 2005. MATLAB Code. **B**
- [29] MARCEL WÄLTERMANN, ALEXANDER RAAKE, SEBASTIAN MÖLLER: *Modeling of Integral Quality Based on Perceptual Dimensions - A Framework for a New Instrumental Speech-Quality Measure*. ITG Fachtagung Sprachkommunikation, D-Aachen, 2008. VDE Verlag GmbH. **3, 3.6**
- [30] MARSZALEK, T.: *Zusammenhang zwischen dem Hearing Loss von Versuchspersonen und der Bewertung auditiver Stimuli im überschwelligen Bereich*. Margister Arbeit, 2008. Technische Universität, D-Berlin. **3.6, 6**
- [31] MATLAB: *version 7.13.0.564 (R2011b)*. The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, 2011. **4.1**
- [32] MÖLLER, S.: *Quality Engineering - Qualität kommunikationstechnischer Systeme*. Springer-Verlag, Heidelberg, 2010. **3.1.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.2, 3.14, 3.4.3**
- [33] MÖLLER, S.: *Sprachkommunikation - Sprachsignalverarbeitung und Sprachtechnologie*. Vorlesungsskript, 2012. **3.3.1, 3.3.1, 3.11**
- [34] PREMINGER J., VAN TASELL D.: *Quantifying the Relation Between Speech Quality and Speech Intelligibility*. University of Minnesota, USA - Minnesota, 1995. **3.6**
- [35] RAAKE, ALEXANDER: *Speech Quality of VoIP: Assessment and Prediction*. John Wiley and Sons, UK-Chichester, 2006. **3.3, 3.3.2, 3.12, 3.3.2, 3.4.2, 3.4.3, 3.5, 3.5**
- [36] SCHIFFNER, F.: *Vermessung der Gesamtqualität von Sprach- und Audiokodierern*. Bachelor Thesis, 2010. Technische Universität, D-Berlin. **5.2.5**
- [37] SCHMIEDER, M.: *The Impact of Transmission Delay on the Perceived Quality of a Call in Conversation Scenarios of Different Interactivity*. Bachelor Thesis, 2012. Technische Universität, D-Berlin. **3.6**
- [38] SCHULZ VON THUN: *Das Kommunikationsquadrat*. URL: <http://www.schulz-von-thun.de/mod-komquad.html>. letzter Besuch 05/2010. **2**
- [39] SENDLMEIER, W.: *Grundlagen der mündlichen Kommunikation*. Vorlesungsskript, 2008. **3.3, 3.3.1, 3.6**
- [40] SENGPIEL, D. E.: *Berechnen der Summen-Pegel von zwei kohärenten Quellen*. URL: <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-kohquellen.htm>. letzter Besuch 02/2013. **4.1**

-
- [41] SIGAL, E.: *19 - Hörfläche.* URL: www.mu-sig.de/Theorie/Akustik/Akustik06.htm, 2005. letzter Besuch 09/2013. **3.8**
 - [42] TERHARDT, ERNST: *Akustische Kommunikation - Grundlagen mit Hörbeispielen.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1998. **3.1, 3.1.1.1, 3.1.1.1, 3.6**
 - [43] TUCKER, I.: *E-Model Scale Extension for Super-Wideband Speech Quality.* Bachelor Thesis, 2009. Technische Universität, D-Berlin. **5.2.5**
 - [44] WAHREN, HEINZ-KURT E.: *Zwischenmenschliche Kommunikation und Interaktion in Unternehmen: Grundlagen, Probleme und Ansätze zur Lösung.* URL: books.google.de/books?id=uUgAAAAQBAJ&lpg=PR1&hl=de&pg=PA24#v=onepage&q&f=false. letzter Besuch 03/2014. **3.6**
 - [45] WEINZIERL, STEFAN (HRSG.): *Handbuch der Audiotechnik.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2008. **3.2**
 - [46] ZWICKER, EBERHARD AND FASTL, HUGO: *Psychoacoustics: Facts and Models.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007. **3.1.1.1, 4.1**

Anhang A

Anhang - Versuchsmaterial

NH-Gruppe:																
	Hörschwelle		dBHV		links				Hörschwelle		dBHV		rechts			
VP	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz		
01	11,20	0,90	-5,30	-9,20	-8,70	-13,50	-3,30	10,30	-1,70	-1,70	-8,90	0,70	-11,70	-5,10		
02	1,90	-0,90	2,60	-0,20	10,70	14,60	22,20	0,40	-7,70	0,50	-5,50	7,90	10,00	24,80		
03	1,70	2,20	2,20	-1,30	0,70	-1,80	11,90	7,90	0,40	5,60	1,70	4,10	0,70	8,60		
04	3,60	-0,20	3,30	5,10	1,90	-8,50	-2,30	13,00	2,90	7,00	6,30	-2,80	0,20	-0,80		
05	—	—	7,50	0,20	-1,20	10,00	18,90	9,90	9,30	10,10	5,90	10,50	9,40	21,30		
06	0,00	-0,34	-5,00	-5,00	-4,20	-5,90	1,00	4,20	2,40	0,70	-0,90	-5,60	-7,70	-6,50		
07	-0,50	-4,30	-0,10	-2,60	3,20	9,20	15,00	3,90	0,20	6,70	5,10	-0,70	4,90	1,70		
08	1,20	-1,50	0,00	1,90	-0,50	-2,40	5,50	5,00	2,70	4,20	1,50	-0,80	-0,90	-0,50		
09	3,40	-4,90	-6,40	-7,30	7,80	20,00	21,20	7,90	0,50	-0,30	-3,10	10,30	21,00	13,90		
10	-1,30	-3,10	-1,30	-6,70	1,80	-0,90	8,20	3,70	-5,20	-4,70	-7,20	-1,40	-5,50	7,30		
11	9,00	6,00	7,80	-0,40	-3,50	-7,80	2,50	5,90	2,00	5,80	-2,30	3,10	-9,30	-4,40		
12	5,20	1,60	2,00	7,80	7,30	5,40	9,50	3,20	0,80	1,90	7,50	14,50	-1,90	5,10		
13	5,20	1,60	1,40	1,60	9,60	0,80	-0,60	1,40	0,30	-1,20	1,30	2,40	-4,20	0,20		
14	5,30	7,30	7,10	5,10	6,90	7,00	6,80	6,80	4,60	7,80	4,50	9,10	8,90	17,40		
15	2,20	-1,30	-1,90	-3,60	5,00	-1,50	15,90	4,90	-1,40	-1,00	0,20	5,20	-3,60	7,20		
16	-0,80	-3,10	1,70	-4,80	1,60	-5,20	-3,00	3,10	-0,10	-1,00	-8,30	0,90	-9,30	-0,70		
17	9,30	4,00	2,50	-3,10	1,30	-2,00	7,00	9,70	9,40	8,00	3,90	0,30	0,90	1,90		
18	5,00	7,00	6,60	-2,20	-3,20	-5,60	-9,20	2,70	0,60	-1,00	-3,40	-0,60	-8,40	4,70		
19	0,30	-0,80	0,70	-2,10	3,60	-3,10	9,30	-1,90	-2,90	-4,10	6,30	3,60	-3,10	9,30		
20	10,70	9,80	7,60	6,90	6,40	2,10	9,30	6,20	2,80	5,40	8,80	4,20	-0,50	10,40		
21	1,30	-4,20	-4,80	-3,70	-2,20	1,30	5,70	11,50	3,30	-2,00	-1,20	-1,60	3,40	5,80		
22	8,10	4,00	13,90	16,10	11,30	4,20	6,50	8,90	8,90	15,20	12,00	13,10	-0,40	1,10		
23	10,70	6,90	7,40	7,60	-0,90	-2,60	2,90	5,40	2,10	0,40	-4,60	-5,80	-7,90	4,10		
24	11,00	4,30	0,30	-0,40	1,40	2,30	9,30	4,80	1,50	-0,50	-3,30	3,50	-1,60	-8,80		

SH-Gruppe:																
	Hörschwelle		dBHV		links				Hörschwelle		dBHV		rechts			
VP	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz		
25	20	10	5	40	60	55	80	15	10	10	30	60	50	60		
26	50	45	25	30	45	50	85	40	30	25	30	45	50	85		
27	25	35	50	55	45	50	60	15	30	40	45	45	50	70		
28	20	20	25	35	45	50	65	25	30	30	35	40	50	60		
29	35	40	25	30	40	60	55	25	25	25	30	45	50	70		
30	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX		

Tabelle A.1: Übersicht der Tonaudiogramme Testteilnehmer, VP30 wollte/konnte keine Angaben einreichen

:TB
NH\FB_m_ar02_G722ap3_PL00.wav
NH\NB_w_cd037.wav
NH\FB_w_nsb037_G722noPLC_PL30.wav
NH\FB_m_ss026_G722ap3_PL60.wav
NH\FB_m_ar06_G722ap3_PL20.wav
:TE
NH\FB_w_cd033_G722ap3_PL50.wav
NH\FB_m_ar04_G722ap3_PL10.wav
NH\FB_m_ar07_G722noPLC_PL30.wav
NH\FB_m_ss017_G722noPLC_PL00.wav
NH\FB_w_nsb038_G722ap3_PL40.wav
NH\FB_m_ss019_G722noPLC_PL10.wav
NH\FB_w_cd016_G722ap3_PL20.wav
NH\FB_w_cd033_G722noPLC_PL50.wav
NH\NB_w_cd037.wav
NH\FB_m_ar010_G722noPLC_PL60.wav
NH\FB_w_cd016_G722noPLC_PL20.wav
NH\NB_w_nsb038.wav
NH\FB_w_nsb031_G722noPLC_PL00.wav
NH\FB_m_ar08_G722ap3_PL40.wav
NH\FB_w_nsb039_G722ap3_PL50.wav
NH\SWB_w_cd039.wav
NH\FB_m_ar09_G722noPLC_PL50.wav
NH\SWB_w_nsb039.wav
NH\FB_m_ss025_G722ap3_PL50.wav
NH\SWB_m_ar015.wav
NH\FB_m_ss026_G722noPLC_PL60.wav
NH\FB_m_ss022_G722ap3_PL20.wav
NH\FB_w_nsb039_G722noPLC_PL50.wav
NH\FB_m_ar07_G722ap3_PL30.wav
NH\FB_m_ss024_G722ap3_PL40.wav
NH\NB_m_ar014.wav
NH\FB_w_cd021_G722ap3_PL30.wav
NH\FB_m_ar06_G722noPLC_PL20.wav
NH\SWB_m_ss032.wav
NH\FB_w_nsb038_G722noPLC_PL40.wav
NH\FB_m_ss023_G722ap3_PL30.wav
NH\NB_m_ss030.wav
NH\FB_w_nsb034_G722ap3_PL10.wav
NH\FB_w_nsb036_G722ap3_PL20.wav
NH\FB_m_ss023_G722noPLC_PL30.wav
NH\FB_w_nsb040_G722ap3_PL60.wav
NH\FB_w_nsb037_G722ap3_PL30.wav
NH\FB_m_ar08_G722noPLC_PL40.wav
NH\WB_m_ss031.wav
NH\FB_m_ar09_G722ap3_PL50.wav
NH\FB_w_nsb036_G722noPLC_PL20.wav
NH\WB_w_nsb039.wav
NH\FB_m_ar02_G722noPLC_PL00.wav
NH\FB_m_ss025_G722noPLC_PL50.wav
NH\FB_m_ss022_G722noPLC_PL20.wav
NH\FB_m_ar010_G722ap3_PL60.wav
NH\FB_m_ss017_G722ap3_PL00.wav
NH\FB_w_cd031_G722ap3_PL40.wav
NH\FB_w_cd031_G722noPLC_PL40.wav
NH\FB_w_cd021_G722noPLC_PL30.wav
NH\FB_m_ar02_G722ap3_PL00.wav
NH\FB_w_nsb037_G722noPLC_PL30.wav
NH\FB_w_nsb040_G722noPLC_PL60.wav
NH\FB_w_cd09_G722ap3_PL00.wav
NH\FB_w_cd034_G722ap3_PL60.wav
NH\FB_m_ss024_G722noPLC_PL40.wav
NH\FB_w_cd014_G722noPLC_PL10.wav
NH\FB_w_nsb034_G722noPLC_PL10.wav
NH\FB_m_ar04_G722noPLC_PL10.wav
NH\FB_w_cd014_G722ap3_PL10.wav
NH\FB_w_cd034_G722noPLC_PL60.wav
NH\WB_m_ar015.wav
NH\FB_w_nsb031_G722ap3_PL00.wav
NH\FB_m_ss026_G722ap3_PL60.wav
NH\WB_w_cd038.wav
NH\FB_m_ss019_G722ap3_PL10.wav
NH\FB_w_cd09_G722noPLC_PL00.wav
NH\FB_m_ar06_G722ap3_PL20.wav

Sprachverständlichkeit und Sprachqualität

Vielen Dank, dass Sie an diesem Experiment teilnehmen! Bitte nehmen Sie sich Zeit, um die Anweisungen durchzulesen. Sollten Sie Fragen haben, wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Diese Studie ist Teil meiner Abschlussarbeit und es wird der Zusammenhang zwischen der Sprachverständlichkeit und der Sprachqualität untersucht. Hierfür werden sowohl Schwerhörige als auch Normalhörende eingeladen.

Die Studie ist in zwei Experimentteile untergliedert.

Im ersten Teil des Experiments, wird die Sprachverständlichkeit untersucht. Dieser Teil findet beim ersten Termin statt. Im zweiten Teil des Experiments wird die Sprachqualität von Telefonverbindungen bewertet. Dieser Teil wird beim zweiten Termin stattfinden.

Für beide Testaufgaben gibt es eine gesonderte Einweisung und eine entsprechende Trainingsphase, um sich an die Versuchsaufgabe zu gewöhnen. Sollten Sie kein aktuelles Audiogramm besitzen, wird vor dem ersten Experimentteil eine Hörschwellenmessung durchgeführt.

Bitte schalten Sie ihr Mobiltelefon für die Dauer des Versuchs **AUS**, da es sonst zu ungewollten Störungen des Versuchsaufbaus kommt. Vielen Dank!

1. Teil: Sprachverständlichkeitsversuch:

Bestimmung der Sprachverständlichkeit bei verschiedenen Störungen.

Vielen Dank, dass Sie sich am ersten Teil des Experiments teilnehmen! Bitte nehmen Sie sich Zeit, um die Anweisungen durchzulesen. Sollten Sie Fragen haben, wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Sie nehmen heute an einem Hörversuch teil, bei dem die **Sprachverständlichkeit** unter Einfluss verschiedener Störungen untersucht wird.

Sie werden im Folgenden, unterschiedliche Varianten eines Sprachverständlichkeitstest machen. Vor Beginn der eigentlichen Versuchsdurchläufe findet eine Trainingsphase statt, die Ihnen erlaubt, sich mit der Aufgabe und dem Ablauf vertraut zu machen.

Die folgenden Tests werden durchgeführt, um festzustellen, wie gut Sie Sprache bei verschiedenen Störfaktoren (bspw. Rauschen) verstehen. Hierzu werden Ihnen Sätze vorgespielt, die von einer männlichen Stimme gesprochen werden.

Jeder Satz besteht aus 5 Wörtern der Struktur:

NAME VERB ZAHL ADJEKTIV OBJEKT
(zB.: Ulrich schenkt sieben schwere Sessel.)

Die Sätze sind nicht unbedingt sinnvoll.

Bitte wiederholen Sie nach der Darbietung den Satz oder jedes Wort, welches Sie verstanden haben. Wenn Sie unsicher sind, dürfen Sie gerne auch raten.

Während der Messungen werden die Störungen unterschiedlich stark auftreten. Auch die Lautstärke der Sprache kann variieren.

Dadurch kann es vorkommen, dass die Sprache schwer oder nicht mehr verständlich ist. Es ist daher ganz normal, dass Sie viele Sätze nicht oder nicht vollständig verstehen. Für die Aussagekraft des Experiments ist es wichtig, dass die Messungen unter schwierigen Bedingungen durchgeführt werden.

Sollten Sie Fragen oder Schwierigkeiten haben, können Sie sich jederzeit an den Versuchsleiter wenden.

2. Teil: Hörversuch:

Beurteilung der Gesamtqualität von Hörproben bei Telefonübertragung

Vielen Dank, dass Sie sich auch am zweiten Teil des Experiments teilnehmen! Bitte nehmen Sie sich Zeit, um die Anweisungen durchzulesen. Sollten Sie Fragen haben, wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Sie nehmen heute an einem Hörversuch teil, bei dem Sie die **Gesamtqualität** von Hörproben bewerten sollen, die über Telefonstrecken übertragen wurden.

Sie werden im Folgenden unterschiedliche Sprachproben hören, die hintereinander abgespielt werden. Jeder Durchgang enthält unterschiedliche Sätze, die von vier verschiedenen Sprechern gesprochen werden. In fünf verschiedenen Abstufungen geben Sie an, wie Ihr persönlich wahrgenommener **Gesamteindruck** bezogen auf die **Qualität** der Übertragung ist. Der Inhalt der Sätze spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Die beschreibenden Adjektive und Zahlen auf den Schalttafeln sollen Sie bei Ihrer Urteilsfindung unterstützen. Das untenstehende Bild zeigt das Eingabefenster:



Vor Beginn des eigentlichen Versuchs findet eine Trainingsphase statt, die Ihnen einen Überblick über die im Versuch vorkommenden Störungen und Qualitäten verschafft. Zudem erlaubt Ihnen die Trainingsphase, sich mit der Beurteilungsaufgabe und dem Computerprogramm vertraut zu machen.

Durch einen Klick mit der Maus auf den mit „**Play**“ gekennzeichneten Knopf können Sie die Wiedergabe einer Hörprobe wiederholen.

Um anschließend eine Urteil abzugeben, klicken Sie bitte auf einen der **Knöpfe (5 – 1)**, der Ihrer Meinung nach am zutreffendsten ist.

Nehmen Sie die Beurteilung bitte intuitiv vor. Bei dieser Untersuchung, die rein subjektiver Natur ist, gibt es weder richtige noch falsche Antworten. Ausschließlich Ihr persönlicher Eindruck ist für die Untersuchung wichtig.

Um nach der Bewertung der Sprachprobe zur nächsten zu gelangen, müssen Sie auf „**Weiter**“ drücken (unten rechts). Es beginnt sofort das Abspielen der nächsten Sprachprobe.

Bitte fahren Sie so lange fort, bis der alle Sprachbeispiele bewertet sind. Nach etwa der Hälfte der Versuchszeit wird es eine kurze Pause geben.

Sollten Sie Fragen oder Schwierigkeiten haben, melden Sie sich bitte beim Versuchsleiter.

Anhang B

Anhang - Equipment

Verwendete Geräte:

- Laptop - Fujitsu Lifebook S7220
- Versuchsrechner - Zalman TNN 300 (passiv gekühlt)
- Monitor - DELL P2210
- Tastatur - Fujitus Siemens KB Slim MF D
- Maus - DELL
- Versuchskopfhörer - Sennheiser HD 280 pro
- Kopfhörer - AKG K271 MK II
- Soundkarte - Edirol UA25Ex
- Kopfhörerverstärker - Millenium HP 3
- Kopfhörerhalterung - Sennheiser
- Kunstkopf (KK)-
- Frontend - MFE VI.1
- Messsystem - HMS II.3
- Messrechner (KK) - DELL Optiplex 755
- USB-Speicherstick - Sony 4GB
- Externe USB-Festplatte - Fujitsu MMD 2120UB 120GB
- Diverse Kabel

Verwendete Software:

- Laptop - Windows 7 Enterprise
 - Versuchsrechner - Windows 7 Professional
 - Messrechner - Windows XP
 - Messsoftware - HEAD Analyzer ACQUA 2.3.300
 - MS Office 2010
 - MS Office 2013
 - OpenOffice 3.0
 - MATLAB R2011b
 - Audacity 1.3 beta
 - TeXnic Center 2.0 beta 1
 - MikTeX
 - PDF SAM Basic
 - Picasa 3
 - MS Paint
 - Notepad++ v6.2
 - MATLAB-Funktion - „ActiveSpeechLevel-Measurement“ [28]
-

Anhang C

Anhang - Daten-DVD

1. Versuche

- Log_Files_LOT
- Log_Files_OLSA
- LOT
- OLSArun
- SourceFiles_LOT
- Terminplan_SVS_LOT_VPs_2Version

2. Unterlagen

- Einverständniserklärungv1NH
- Einverständniserklärungv2SH
- Versuchsanleitung_5P_ACR_Test
- Versuchsanleitung_Allgemein
- Versuchsanleitung_SVS_Test

3. Ergebnisse

4. Literatur (verwendete, so weit möglich)

5. MATLAB - Code

- asl_meter.m
- asuwertungSVS.m
- buildPLYLst.m
- dBov2dBspl.m
- dBspl2dBov.m
- dBspl2dBovfNoise.m
- preprocessing_OLSA_Files_LOTFILES.m
- psyfunc_Test3.cfit
- readlogs.m

6. Masterarbeit_FalkSchiffner_12. März 2014