

DIPLOMARBEIT

**Einfluss von Störgeräuschen auf das Sprachverstehen bei Kindern
mit Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen unter
Einsatz eines FM Systems**

Verfasserin: Iris Arweiler
Betreuer(in): Prof. Erwin Langheld
Dipl.-Ing. Siegrid Meier
Abgabedatum: 13. Oktober 2004

Diplomarbeit

Thema: Einfluss von Störgeräuschen auf das Sprachverstehen bei Kindern mit Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen unter Einsatz eines FM Systems

Zusammenfassung:

Kinder mit Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) haben oft Probleme, den Lehrer im Schulunterricht genau zu verstehen, obwohl ihr peripheres Hörvermögen völlig in Ordnung ist. Die Ursache für diese Schwierigkeiten beim Hören liegt auf Ebenen der zentralen Hörbahn bis zum auditorischen Kortex. Besonders für das Hören im Störgeräusch ist eine fehlerfreie Weiterleitung des Schalls in diesen höheren auditorischen Zentren notwendig. In vielen Klassenzimmern herrscht ein sehr hoher Störgeräuschpegel, der mit dazu beitragen kann, dass sich bei Kindern mit AVWS schulische Probleme einstellen, die nicht auf eine mangelnde Intelligenz zurück zu führen sind. Die Diagnose von AVWS gestaltet sich aufgrund der vielen unterschiedlichen Ausprägungen oft als schwierig.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Erfassung des Sprachverstehens von Kindern mit AVWS (Versuchsgruppe) im Vergleich zu Kindern ohne AVWS (Kontrollgruppe) in zwei verschiedenen Störgeräuschsituationen. Dies soll bei der Durchführung eines Sprachtests im Störgeräusch die Frage nach einem geeigneten Störgeräusch beantworten. Außerdem soll die Notwendigkeit der Durchführung eines Sprachtests im Störgeräusch zur Diagnose von AVWS überprüft werden. Dazu wurde der Oldenburger Satztest mit einem stationären Rauschen und mit zwei Sprechern als Störgeräusch durchgeführt. Das Störgeräusch, das aus zwei Sprechern bestand und Informationsgehalt besaß, bereitete allen Kindern wesentlich größere Probleme beim Sprachverstehen als das stationäre Rauschen. Die Versuchsgruppe verstand in beiden Störgeräuschsituationen im Durchschnitt schlechter als die Kontrollgruppe, diese Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Drei von neun Probanden der Versuchsgruppe zeigten aber deutliche Verständlichkeitsprobleme im Störgeräusch. Deshalb kann ein Sprachtests im Störgeräusch zu einer differenzierten Diagnose von AVWS eingesetzt werden. Ein Rauschen als Störgeräusch scheint ausreichend, da lediglich ein Proband Defizite beim Sprachverstehen mit den zwei Störsprechern, nicht jedoch im Rauschen zeigte.

Die Sprachverständlichkeit wurde zusätzlich in beiden Störgeräuschsituationen mit einem FM System gemessen um den Einsatz eines solchen Systems im Schulunterricht zu beurteilen. Das Sprachverstehen im Störgeräusch verbesserte sich mit FM System signifikant. Die Versuchsgruppe profitierte dabei in gleicher Weise wie die Kontrollgruppe, so dass ein FM System Kindern mit AVWS im Unterricht den selben SNR Gewinn liefern kann wie ihren Klassenkameraden ohne AVWS.

Verfasserin: Iris Arweiler
Betreuer(in): Prof. Erwin Langheld
Dipl.-Ing. Siegrid Meier
Abgabedatum: 13. Oktober 2004

Erklärung zur Diplomarbeit

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe verfasst habe.

Bei der Abfassung der Arbeit sind nur die angegebenen Quellen benutzt worden.
Wörtlich oder dem Sinne nach entnommene Stellen sind als solche gekennzeichnet.

Lübeck, den 13. Oktober 2004

Unterschrift

Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit veröffentlicht wird, insbesondere dass die Arbeit Dritten zur Einsichtnahme vorgelegt wird oder Kopien der Arbeit zur Weitergabe an Dritte angefertigt werden.

Lübeck, den 13. Oktober 2004

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	3
2	Hintergrund	5
2.1	Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS)	5
2.2	Akustik im Klassenzimmer	9
2.3	FM Systeme	11
2.4	Maskierung von Sprache	12
3	Auswahl von Probanden	14
3.1	Anforderungen an die Probanden	14
3.2	Rekrutierung von Probanden	16
4	Methode	17
4.1	Testmaterial	17
4.1.1	Nutzsignal	17
4.1.2	Störsignal	19
4.2	Messaufbau	23
4.2.1	Technische Geräte	23
4.2.2	Anordnung des Messaufbaus	24
4.2.3	Kalibrierung des Messaufbaus	28
4.3	Versuchsdurchführung	28
4.3.1	Einweisung der Probanden	28
4.3.2	Versuchsablauf	29
5	Versuchsauswertung	33
5.1	Kontrollgruppe	33
5.1.1	Voruntersuchungen	33
5.1.2	Sprachtest	34
5.2	Versuchsgruppe	37
5.2.1	Voruntersuchung	37
5.2.2	Sprachtest	39

<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	2
6 Beurteilung der Ergebnisse	42
6.1 Beurteilung innerhalb der Gruppen	44
6.2 Beurteilung zwischen den Gruppen	46
7 Diskussion und Ausblick	49
Anhang	51
A Einweisung der Probanden	52
B Ergebnisse aller Messungen	53
B.1 Sprachtest Kontrollgruppe	53
B.2 Sprachtest Versuchsgruppe	54
B.3 Tonaudiometrische Messung Kontrollgruppe	55
B.4 Tonaudiometrische Messung Versuchsgruppe	56
Literaturverzeichnis	57
Abbildungsverzeichnis	62
Tabellenverzeichnis	63

Kapitel 1

Einleitung und Zielsetzung

Immer häufiger hört man von Kindern, die trotz einer normalen oder überdurchschnittlichen Intelligenz große Schwierigkeiten mit dem im Unterricht vermittelten Lernstoff haben. Meist werden diese Probleme nach der Einschulung auffällig. Eltern und Lehrer sind zuerst ratlos, nach einer Abklärung beim zuständigen Arzt hören sie dann oft die Diagnose Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS). Bei einer AVWS ist die Verarbeitung und Wahrnehmung des Schalls in höheren auditorischen Zentren gestört, das periphere Hörvermögen dagegen ist vollkommen normal. Das Hören im Störgeräusch setzt eine korrekte Verarbeitung des Schalls in diesen höheren Zentren voraus. Bei vielen Formen einer AVWS haben diese Kinder deswegen oft Probleme, in Situationen mit Umgebungslärm richtig zu verstehen. Besonders im Schulunterricht, wo meist ein hoher Störgeräuschpegel herrscht, sind diese Kinder gegenüber ihren Klassenkameraden ohne AVWS benachteiligt und haben Mühe, den Lehrer zu verstehen. Dies wiederum kann zu Problemen beim Lernen führen, da der Unterrichtsstoff hauptsächlich mündlich vermittelt wird.

Mit dieser Diplomarbeit soll das Sprachverstehen von Kindern mit AVWS in zwei verschiedenen Störgeräuschsituationen erfasst werden. Vergleichswerte zu dieser Versuchsgruppe liefert eine Kontrollgruppe mit Kindern ohne AVWS. Es soll eine Aussage darüber getroffen werden, ob ein komplexes Störgeräusch (Sprache) ein schlechteres Sprachverstehen zur Folge hat als ein stationäres Rauschen und ob das Ergebnis in gleicher Weise für beide Gruppen gilt. Diese Ergebnisse sollen bei der Durchführung eines Sprachtests im Störgeräusch die Frage nach einem geeigneten Störgeräusch beantworten. Außerdem soll überprüft werden, inwieweit ein Sprachtest im Störgeräusch zur differenzierten Diagnose von AVWS beitragen

kann. Eine weitere Zielsetzung ist die Erfassung des Sprachverstehens in beiden Störgeräuschsituationen mit einem FM System. Diese Ergebnisse sollen zeigen, inwieweit Kinder mit AVWS von einem FM System profitieren und ein Einsatz im Schulunterricht angebracht ist.

Kapitel 2

Hintergrund

2.1 Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS)

Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen sind ein immer aktueller werdendes Thema. Das deutsche Konsensus Statement [1] definiert AVWS wie folgt:

Eine auditive Verarbeitungs- und/oder Wahrnehmungsstörung (AVWS) liegt vor, wenn zentrale Prozesse des Hörens gestört sind. Zentrale Prozesse des Hörens ermöglichen u.a. die vorbewusste (pre-attentive) und bewusste (attentive) Analyse von Zeit-, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen akustischer Signale, Prozesse der binauralen Interaktion (z.B. zur Geräuschlokalisierung und Lateralisation und Störgeräuschbefreiung).

Personen, die von AVWS betroffen sind, geben an schlecht zu hören und zu verstehen. Ein peripherer Hörverlust liegt jedoch nicht vor, Mittel- und Innenohr sind völlig gesund. Vielmehr sind die Prozesse, die nach dem Hörnerv stattfinden fehlerhaft. Die Verarbeitung und Wahrnehmung im Gehirn ist gestört. Das Hören findet im Gehirn auf verschiedenen Ebenen statt, man nennt es auch das zentrale Hören. Diese Verarbeitung und Weiterleitung, insbesondere von Sprache, ist ein sehr komplexer Vorgang, der bis heute noch nicht vollständig erforscht ist und deshalb hier nur schematisch dargestellt werden soll.

Nach dem Hörnerv übernimmt die zentrale Hörbahn die Verarbeitung des Schalls. Die Fasern des Hörnervs ziehen zum vorderen und hinteren Nucleus Cochlearis (Hörnervkern) und von dort über den Nucleus Olivaris (Olivenkern)

zum Lemniscus Lateralis (Schleifenkern) und zum Colliculus Inferior (unterer Vierhügelkern). Diese Bereiche stellen das Stammhirn dar. Alle Ebenen des Stammhirns sind nicht nur parallel, sondern auch quer miteinander verknüpft, so dass Schall von einem Ohr in beiden Gehirnhälften verarbeitet wird. Jeder Stufe der Hörbahn werden bestimmte Aufgaben zugeordnet, wie z.B. Filterung, Kontrastverstärkung, Amplitudenverstärkung oder Auswertung binauraler Signale.

Nach dem Hirnstamm steigen die Fasern auf zum auditorischen Kortex. Zwischen Hirnstamm und auditorischem Kortex liegen noch Thalamus und Hypothalamus, die das Zwischenhirn bilden. Der auditorische Kortex besteht aus primärer, sekundärer und tertiärer Hörrinde. Die primäre Hörrinde befindet sich zwischen Schläfen- und Scheitellappen, meist in der linken Hemisphäre des Großhirns. Darunter liegen sekundäre und tertiäre Hörzentren (meist rechte Gehirnhemisphäre), wobei das Wernicke'sche Sprachzentrum der sekundären Hörrinde zugeordnet wird. Das Wernicke'sche Sprachzentrum ist wichtig für die Erkennung von sprachlichen Reizen und die Formulierung von Sprache, sowie für das Erkennen der Bedeutung und der Interpretation von Sprache. Letztendlich obliegt dem Corpus Callosum die Vermittlung von Informationen zwischen den beiden Gehirnhemisphären. Auf allen Ebenen der Hörverarbeitung, von der Cochlea bis zum auditorischen Kortex, wird das Prinzip der Tonotopie beibehalten, d.h. jede Frequenz wird an genau einem bestimmten Ort abgebildet [2].

Nicht alle Fachleute verstehen unter den Begriffen Verarbeitung und Wahrnehmung dasselbe. Der englische Begriff für AVWS lautet 'Auditory Processing Disorder' und spricht nur die Verarbeitung an, was dann für alle Hörvorgänge nach der Cochlea verwendet wird. Im Deutschen stößt man auch auf die Bezeichnung ZAWS (Zentral Auditive Wahrnehmungsstörung) als Synonym für AVWS. Dieser Begriff beinhaltet nur die Wahrnehmung. In dieser Arbeit wird der im deutschsprachigen Raum am häufigsten verwendete Begriff AVWS gebraucht und bezieht sich auf die Definition nach Rosenkötter [2], wonach die Verarbeitung in Hörnervenkernen und der primären Hörrinde, also der zentralen Hörbahn stattfindet und die Wahrnehmung in der sekundären Hörrinde und höheren Zentren. Eine auditive Verarbeitungsstörung hat demnach eine Beeinträchtigung der zentralen Weiterleitung und der Verschaltung von Nervenimpulsen in der zentralen Hörbahn zufolge. Die auditive Wahrnehmungsstörung liegt in der fehlerhaften Aufbereitung und Auswertung der Nervenimpulse in der sekundären Hirnrinde und höheren Zentren.

Esser [3] hat die auditive Wahrnehmung und Verarbeitung in verschiedene Teil-

funktionen eingeteilt, vgl. Abb. 2.1. Diese Teilfunktionen können nun einzeln oder zusammen bei einer AVWS beeinträchtigt sein. Die Störung der Teilfunktion der Auditiven Selektion tritt bei Kindern mit AVWS sehr häufig auf. Gesunde Menschen besitzen eine Filterfähigkeit um Nutz- und Störschall voneinander zu trennen, Kinder mit AVWS haben oft große Probleme Sprache in geräuschvollen Situationen, wie z.B. in der Schule (vgl. Kapitel 2.2 auf Seite 9) zu verstehen. Das Hören im

• Auditive Lokalisation	• Erkennen der Richtung einer Schallquelle
• Auditive Selektion	• Herausfiltern informationsrelevanter Schallereignisse aus Störlärm
• Binaurale Summation	• Verschmelzung beidseits unterschiedlicher Frequenzspektren eines Wortes
• Auditive Separation	• Auswerten auf jedem Ohr zeitgleich einlaufender, aber unterschiedlicher Informationen (dichotisches Hören)
• Auditive Zeitauflösung	• Verstehen von schneller als normal gesprochener Sprache
• Hördynamik	• Spanne vom leisest hörbaren zum lautest hörbaren Schallereignis
• Auditive Musteranalyse	• Erkennen kürzester nonverbaler auditiver Muster
• Auditive Differenzierung	• Unterscheiden von Hörereignissen auf Geräusch-, Klang-, und Phonemebene
• Auditive Identifikation	• Erkennen von Hörereignissen auf Geräusch-, Klang-, und Phonemebene
• Auditive Analyse	• Heraushören von Einzelelementen auf Silben-, Wort-, Satz-, Textebene
• Auditive Synthese	• Verknüpfen von Einzellauten zu Wörtern
• Auditive Ergänzung	• Ergänzen von unvollständigen Lautkombinationen zu sinnvollen Wörtern
• Auditive Aufmerksamkeit	• Lenken der Aufmerksamkeit auf allgemeine Schallereignisse (Horchen)
• Auditive Kurzzeitspeicherung	• Merkfähigkeit (z.B. Geräusche, Wörter)
• Auditive Sequenzierung	• Speichern in korrekter Reihenfolge

Abbildung 2.1: Teilfunktionen nach Esser et al. (1987) [3]

Störgeräusch ist ein äußerst komplexer Vorgang. Die binaurale Interaktion, d.h. der im Gehirn stattfindende Vergleich der Schallsignale, die an jedem Ohr ankommen, spielt eine wichtige Rolle. Durch die Interpretation der interauralen Zeit-, Intensitäts- und Phasendifferenz wird die Lokalisation und Lateralisation des Schalls erst möglich. Die Fähigkeit, Sprache aus Störlärm herauszufiltern wird hauptsächlich dem unteren Hirnstamm zugeschrieben, aber auch der Kortex, Subkortex, Corpus Callosum und das efferente auditorische System haben Anteil an diesem Verarbeitungsprozess [4].

Normalhörende Menschen können sich in Situationen mit amplitudenmodulierten

Störgeräuschen dessen Fluktuationen zunutze machen und in den Pausen und leiseren Anteilen des Störgeräuschs das Nutzsignal heraushören. Dies ist möglich, wenn z.B. Sprache das Störsignal darstellt. Ein stationäres Rauschen beinhaltet keine 'Lücken' zum Verstehen. Diese Lückenerkennung beruht auf der korrekten zeitlichen Verarbeitung von Schall [2], die bei Kindern mit AVWS ebenfalls gestört sein kann (vgl. Abb. 2.1 auf Seite 7).

Die genaue Diagnose von AVWS gestaltet sich aufgrund der vielfältigen Ausprägungen und Symptome oft als schwierig. Bellis und Ferre [4] haben deshalb AVWS in verschiedene Profile (Bellis/Ferre Modell) eingeteilt, drei Hauptprofile und zwei Unterprofile. Zu den Hauptprofilen zählen:

- *Dekodierungsschwäche*
- *Prosodische Verarbeitungsschwäche*
- *Integrationsschwäche*

Die Unterprofile bestehen aus:

- *Auditorische Kombinationsschwäche*
- *Ausdrucks- und Organisationsschwäche*

Jedes Profil bezieht sich dabei auf die zugrunde liegenden neurophysiologischen Regionen im Gehirn, in denen die Fehlfunktion auftritt, wie auch auf die übergeordneten Auswirkungen auf Sprache und Lernen und die Folgeerscheinungen.¹ Für die direkte Behandlung von AVWS ist es wichtig und hilfreich die genauen Defizite und damit das Profil des Kindes zu kennen. Jedoch ist es immer noch schwierig geeignete Tests (passend zum Alter, zum kognitiven Leistungsstand, zur Sprache usw.) zu finden, die genügend sensitiv sind um die ausgesprochen heterogene Gruppe von AVWS Patienten den einzelnen Profilen zuzuordnen und vor allem von anderen Störungen, wie Hyperaktivität, Lernstörungen oder Aufmerksamkeitsdefizit abzugrenzen.

¹Für eine ausführliche Beschreibung der Profile siehe Bellis, T.J. (1996); *Assessment and Management of CAPD in the Educational Setting: From Science to Practice*, S. 291 ff.

2.2 Akustik im Klassenzimmer

Drei Faktoren beeinflussen das Verstehen im Klassenzimmer (und in allen anderen Räumen):

- *Störgeräusch*
- *Hall*
- *Distanz*

Wie Bradley, Reich und Norcross [10] mit simulierten Schallfeldern gezeigt haben, ist dabei das Störgeräusch und sein Verhältnis zum Nutzsignal der dominierende Faktor. Eine gute Verständlichkeit wird am ehesten mit einem guten Signal-Rausch-Abstand (SNR) erzielt. Eine geringe Distanz zum Sprecher und kurze Nachhallzeiten führen zwar auch zu einer verbesserten Sprachverständlichkeit, jedoch nicht in dem Maße wie ein optimaler SNR.

Mit zunehmender Distanz zum Sprecher nimmt die direkte Schallenergie ab und die reflektierte Schallenergie überwiegt. Je größer die Nachhallzeit, desto kleiner wird der Bereich in dem die direkte Schallenergie überwiegt. Außerhalb dieses Hallradius dominieren Reflexionen das Schallfeld. Ein Sitzplatz in der Nähe des Lehrers ermöglicht also ein gutes Verstehen ohne unerwünschte Halleffekte. Bei den durchschnittlich vorherrschenden Nachhallzeiten in typischen Klassenzimmern ist der Hallradius jedoch so klein, dass das Kind sehr nahe beim Lehrer sitzen müsste für maximales Sprachverstehen [6]. Nachhallzeiten in Klassenzimmern wurden in verschiedenen Experimenten gemessen [7, 8, 9, 10, 11]. Die Ergebnisse lagen zwischen 0.35 s und 1.2 s. Auch neuere Studien belegen, dass in vielen Schulräumen die vorgeschlagene Nachhallzeit überschritten wird [12]. Diese liegt laut überarbeiteter DIN 18041 [13] „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ bei 0.55 s für mittlere und größere Entfernungen. Für leistungsschwächere Schüler, Kinder mit Wahrnehmungsschwierigkeiten oder Aufmerksamkeitsstörungen und Kinder nicht deutscher Muttersprache gilt als Richtwert sogar 0.45 s. Richtlinien in USA [14], Großbritannien [15] und Schweden [16] fordern 0.4-0.6 s, 0.5-0.6 s und weniger als 0.6 s für Schulzimmer. Großbritannien [15] fordert für Hörbehinderte eine Nachhallzeit von weniger als 0.4 s.

Wie oben erwähnt ist jedoch der SNR der ausschlaggebende Faktor. In heutigen Grundschulen herrscht ein sehr hoher Störgeräuschpegel und somit auch ein zum Verstehen nicht ausreichender SNR. Pegelmessungen einer Forschungsgruppe der

Universität Oldenburg in Grundschulen zeigten Mittelungspegel über ganze Unterrichtsstunden zwischen 70 und 77 dB(A) [12]. In einer Studie der Fa. Sennheiser erreicht der mittlere Schallpegel in einer Grundschulklasse 65 dB [17]. Shield et al. [18] fanden in einer aktuellen Studie für Grundschulen in London einen Durchschnittspegel von 72 dB (A), dem die Kinder jeden Tag im Unterricht ausgesetzt sind. Dabei schienen Geräusche von außerhalb des Klassenzimmers nicht so einen großen Einfluss auf den Störgeräuschpegel zu haben, wie Geräusche innerhalb des Klassenzimmers. Dieser wird dominiert von den Geräuschen, die die Kinder selbst erzeugen. Andere Studien nennen Störgeräuschpegel in Klassenzimmern zwischen 48 dB(A) und 68 dB(A) [19, 20, 21]. Die Arbeitsstättenverordnung [22] sieht als Grenzwert für Arbeitsplätze mit vorwiegend geistiger Tätigkeit einen Mittelungspegel von 55 dB(A) an.

Das Verhältnis zwischen Nutz- und Störschall, das benötigt wird um einen Sprecher zu verstehen ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Erwachsene brauchen zum Verstehen einen geringeren SNR, da die Reifung des auditorischen Systems und damit die Fähigkeit Sprache aus Störgeräusch herauszufiltern erst mit 13 bis 15 Jahren vollständig entwickelt ist. Außerdem haben Erwachsenen einen größeren Wortschatz und mehr „Spracherfahrung“, so dass sie nicht verstandene Wörter besser ergänzen können. Während Erwachsene bei einem SNR von 0 dB noch ausreichend diskriminieren können, benötigen junge Kinder bereits 4 dB SNR. Kinder, bei denen die Unterrichtssprache nicht Muttersprache ist, brauchen das Nutzsignal um 7 dB lauter als das Störsignal und Kinder mit einem Hörverlust benötigen mindestens 12 dB SNR um verstehen zu können [23]. Rosenkötter [2] schlägt für Kinder mit AVWS einen SNR von 20 dB vor. Nimmt man nun als mittleren Störschallpegel einer Unterrichtsstunde 60 dB an, bedeutet dies, dass der Lehrer seine Stimme durchgehend auf 80 dB anheben müsste, damit ihn ein Kind mit AVWS ohne Mühe verstehen könnte. Viele Lehrer versuchen dem Störgeräuschpegel mit einer lauterer Stimme entgegen zu wirken. Eine aktuelle Studie von Roy et al. [24] untersuchte Störungen der Stimme bei Lehrern und der allgemeinen Bevölkerung. Es stellte sich heraus, dass Lehrer wesentlich häufiger unter Problemen wie Heiserkeit oder Schmerzen leiden, und sich mehr anstrengen müssen, wenn sie ihre Stimme benutzen. Dies wurde einheitlich von allen befragten Lehrern auf die Ausübung des Lehrerberufs zurückgeführt. Die Lehrer haben außerdem wegen dieser Stimmprobleme an mehr Arbeitstagen gefehlt als die Vergleichspersonen, die keinen Lehrerberuf ausüben. Auch auf Kinder hat ein hoher Störgeräuschpegel im Unterricht sehr negative Auswirkungen.

Die Gedächtnisleistung wird durch Lärm herabgesetzt, wobei unregelmäßige Hintergrundschnalle wie Sprache oder Musik eine größere Störwirkung haben als etwa breitbandiges Rauschen. Das Sprechen-, Lesen- und Schreibenlernen wird also erschwert durch eine lärmige Umwelt. [12]

2.3 FM Systeme

Es gibt verschiedene Möglichkeiten um die akustischen Probleme im Klassenzimmer zu lösen. Zur Verbesserung der Nachhallzeit müssen bauliche Veränderungen getroffen werden, wie z.B. die Verlegung von Teppich oder der Einbau spezieller Akustikdecken. Auch um Störgeräusche von draußen fernzuhalten bedarf es der Modifikation von Wänden und Fenstern. Diese Maßnahmen sind meist nicht sehr kostengünstig, will man sie in allen Räumen anwenden. Effektiver ist ein FM System, das die Stimme des Lehrers über ein Mikrofon und einen Sender an einen Empfänger überträgt, der sich möglichst nahe beim Schüler befindet und somit den SNR verbessert. Viele Experten auf dem Gebieten von AVWS [2, 25, 26, 27] erachten ein FM System als ein wichtiges Hilfsmittel neben der direkten Therapie für Kinder mit AVWS, die in geräuschvollen Umgebungen schlecht verstehen. Es gibt verschiedene Arten von FM Systemen. „Soundfield Systeme“ sind Lautsprecher, die im Klassenzimmer aufgestellt werden. Der Nachteil besteht darin, dass Schüler in der Nähe der Lautsprecher lauter beschallt werden, als solche, die weiter entfernt sitzen. Außerdem kann die Sprache aus den Lautsprechern schnell zum Störgeräusch für benachbarte Klassenzimmer werden. Eine andere Möglichkeit sind „Desktop Sound Field Systeme“, das sind kleine Lautsprecher, die auf dem Tisch des jeweiligen Schülers stehen und die Lehrerstimme abgeben. Hier entsteht schnell das Problem, dass sich Tischnachbarn, die keine Verstärkung der Lehrerstimme benötigen, durch die Schallabgabe dieses Systems gestört fühlen. Durch beide Soundfield Systeme wird meist nicht der SNR erreicht, der für Kinder mit AVWS benötigt wird. Des weiteren gibt es noch „Body Worn FM Systeme“, bei denen der Empfänger als kleines Kästchen am Körper getragen wird und die Lehrerstimme über Kopfhörer ins Ohr des Schülers gelangt. Für Unterrichtszwecke ist dies nicht besonders geeignet, da der Schüler über Kopfhörer nur den Lehrer hört, nicht aber die Beiträge seiner Klassenkameraden. Eine gute Möglichkeit der Signalübertragung ohne die oben genannten Nachteile bietet ein FM System von Phonak, das speziell für Kinder mit AVWS entwickelt wurde. Es wird direkt am

Ohr getragen, stellt also kein Störgeräusch für andere Schüler dar und wird offen angepasst, d.h. auch die Mitschüler sind jederzeit zu verstehen.

2.4 Maskierung von Sprache

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Maskierung. Die Maskierung durch Frequenzüberlagerung von Nutz- und Störsignal nennt man *Energetic Masking* (EM). Sie findet nur in der Cochlea und im Hörnerv statt. Diese Maskierung ist abhängig vom Frequenzspektrum und der Intensität des Maskierers. Unser Gehör kann in verschiedene Frequenzgruppen (kritische Bänder) eingeteilt werden, innerhalb derer Signale mit entsprechender Frequenz verarbeitet werden. Unterhalb von 500 Hz beträgt die Frequenzgruppenbreite etwa 100 Hz, darüber etwa 1/5 der Mittenfrequenz der jeweiligen Frequenzgruppe. Es gibt 24 Frequenzgruppen, deren Einheit in Bark angegeben wird. Sie kommen dadurch zustande, dass ein Ton die Basilarmembran nicht nur an einem bestimmten Ort, sondern, je nach Lautstärke, auch benachbarte Orte anregt [38]. EM tritt nun auf, wenn das Störsignal lauter ist als das Nutzsignal. Die Maskierungswirkung ist besonders stark, wenn Stör- und Nutzsignal in der gleichen Frequenzgruppe liegen, kann jedoch auch zwischen verschiedenen Frequenzbändern auftreten, dann muss das Störsignal jedoch einen entsprechend höheren Pegel haben. Höhere Frequenzen werden durch tiefere Frequenzen leichter verdeckt als umgekehrt (Upward Spread of Masking). EM für Sprachsignale ist am effektivsten, wenn ein stationäres Breitbandrauschen das Störsignal darstellt [37]. Sprache ist ein breitbandiges Signal, dessen Frequenzspektrum sich als Funktion der Zeit sehr schnell ändert. Im Breitbandrauschen sind alle Frequenzen mit einem bestimmten Dichtepiegel enthalten und es bewirkt so bei ausreichendem Pegel eine Maskierung in allen Frequenzbändern.

Die zweite Art der Maskierung entsteht nicht in der Peripherie sondern in höheren auditiven Zentren. Es ist die Maskierung durch Information, auch *Informational Masking* (IM) genannt. IM beinhaltet alle Maskierungseffekte, die nicht durch EM zustande kommen [28]. Nach Durlach et al. beruht IM auf der Annahme, dass IM durch Stimulus-Unsicherheit und Ähnlichkeit von Nutz- und Störsignal zustande kommt [28]. Festen und Plomp [39] sehen das Auftreten von IM im ähnlichen und konkurrierenden Informationsgehalt von Nutz- und Störsignal. Eine exakte Definition von IM existiert also nicht. Das wesentliche Beispiel für IM ist jedoch die

Maskierung von Sprache durch Sprache [37]. Natürlich tritt in dieser Situation auch EM auf. Bei der Maskierung durch Sprache ist IM aber der dominierende Faktor gegenüber EM. Dies hat Brungart mit verschiedenen Experimenten bewiesen [29]. Zahlreiche Studien haben die Auswirkung von IM auf das Sprachverstehen untersucht [29, 30, 45, 39, 28, 31, 32, 33, 34]. Die Wahl des Nutzsymbols, des Störsymbols, der Darbietungsart und der Probanden war sehr unterschiedlich, so dass es schwerfällt, die Ergebnisse zu vergleichen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass das Sprachverstehen hauptsächlich abhängt von der Anzahl und dem Geschlecht der Störsprecher. Die beste Maskierungswirkung wird erzielt, wenn Nutz- und Störsymbol vom gleichen Sprecher präsentiert werden [29]. Die Unsicherheit, welches Symbol das Nutz- und welches das Störsymbol darstellt, ist hierbei am größten. Weiterhin maskiert ein Sprecher der das gleiche Geschlecht hat wie das Nutzsymbols besser als ein Sprecher mit unterschiedlichem Geschlecht, da sich die Charakteristika der beiden gleichgeschlechtlichen Stimmen ähnlicher sind. Unterschiedliche Geschlechter liefern dem Zuhörer bessere akustische Hinweise um Nutz- und Störsymbol voneinander zu trennen.

Kapitel 3

Auswahl von Probanden

3.1 Anforderungen an die Probanden

Die Probanden müssen so ausgewählt werden, dass sie hinsichtlich der genannten Zielsetzung untersucht werden können und gleichzeitig eine Grundgesamtheit repräsentieren um statistische Auswertungen durchführen zu können. Es gibt eine Versuchsgruppe (Kinder mit AVWS) und eine Kontrollgruppe (Kinder ohne AVWS). Für die Versuchsgruppe gelten folgende Überlegungen: Es müssen Kinder ausgewählt werden, die bereits in die Schule gehen, da dort die oben genannten Probleme des Sprachverstehens auftreten. Meist werden die Probleme erst nach der Einschulung sichtbar, so dass eine Diagnose hinsichtlich AVWS erst im Laufe des ersten Schuljahres oder später erfolgt. Ausgewählt werden deshalb Kinder der 2. oder 3. Grundschulklasse. Die Probanden werden nicht nach Alter ausgewählt, da der Leistungsstand nur anhand der besuchten Klasse und nicht anhand des Alters feststellbar ist. Kinder mit AVWS werden häufig erst später eingeschult als Kinder ohne AVWS. Dieses Alter bietet gleichzeitig den Vorteil, dass die Kinder schon sehr gut verstehen, was sie machen sollen und Anweisungen korrekt ausführen können. Die Darbietung des Sprachmaterials (vgl. Kapitel 4.1 auf Seite 17) zur Bestimmung des Sprachverstehens erfolgt auf Hochdeutsch (Oldenburger Satztest). Es muss bei den Probanden gewährleistet sein, dass sie alle Wörter des Satztests verstehen. Da die Testdurchführung in der Schweiz stattfindet, wird als Muttersprache Hochdeutsch oder Schweizerdeutsch vorausgesetzt. Es werden auch Kinder zugelassen, die zweisprachig aufgewachsen sind, wenn eine Sprache davon Hochdeutsch oder Schweizerdeutsch ist.

Weitere Voraussetzung zur Teilnahme als Proband ist ein mindestens normaler

IQ, damit ausgeschlossen werden kann, dass Verständnisprobleme auf anderen Störungen als AVWS beruhen.

Für eine genaue Testdurchführung ist eine gute Mitarbeit der Probanden nötig. Kinder können sich erwiesenermaßen nicht so lange konzentrieren wie Erwachsene (vgl. Kapitel 4.3.2 auf Seite 29). Aufmerksamkeitsstörungen und/oder Hyperaktivität haben zusätzlich einen negativen Einfluss auf die Konzentration und stehen oft in Zusammenhang mit AVWS. Die Probanden dürfen keine dieser Auffälligkeiten haben, da sonst das Sprachverstehen nicht mehr nur von auditiven Faktoren, sondern auch von Aufmerksamkeitsdefiziten abhängt. Auch eine eingeschränkte Hörmerckspanne ist meist Teil einer AVWS. Da zur Prüfung des Sprachverstehens der Oldenburger Satztests eingesetzt wird und jeder Satz aus 5 Wörtern besteht (vgl. Kapitel 4.1 auf Seite 17), muss zumindest diese Gedächtnisleistung erbracht werden können.

Letztendlich darf kein peripherer Hörverlust vorliegen, was das Sprachverstehen zusätzlich einschränken würde. Keine Frequenz darf im Tonaudiogramm schlechter als 20 dB HL gemessen werden und das Tympanogramm muss ein gesundes Mittelohr nachweisen.

Die Anforderungen hinsichtlich Klassenstufe, Muttersprache, IQ und peripherem Hörvermögen gelten in gleicher Weise für die Kontrollgruppe. Diese Kontrollgruppe liefert die Vergleichswerte des Sprachverstehens im Störgeräusch für die AVWS Kinder. Die Anforderungen sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst.

Versuchsgruppe mit AVWS	Kontrollgruppe ohne AVWS
Besuch der 2. oder 3. Klasse	Besuch der 2. oder 3. Klasse
Muttersprache Hochdeutsch oder Schweizwerdeutsch	Muttersprache Hochdeutsch oder Schweizwerdeutsch
Mindestens durchschnittlicher IQ	Mindestens durchschnittlicher IQ
Kein peripherer Hörverlust (Luftleitungshörschwelle ≤ 20 dB HL)	Kein peripherer Hörverlust (Luftleitungshörschwelle ≤ 20 dB HL)
Kein Aufmerksamkeitsdefizit / Hyperaktivitätssyndrom	
Keine stark eingeschränkte Hörmerckspanne	

Tabelle 3.1: Anforderungen an die Probanden

3.2 Rekrutierung von Probanden

Natürlich ist man bestrebt, so viele Probanden wie möglich zu testen, man muss sich aber aus Zeit- und Kostengründen auf eine gewisse Anzahl beschränken. Bisherige Studien zur Bestimmung des Sprachverstehens im Störgeräusch haben unterschiedlich viele Probanden getestet. Brungart [30] beschränkte sich bei seinen Messungen auf 9 Testpersonen, Peters [31] auf 6 bis 11 und Van Summers [32] auf 6. Sperry [33] und Bronkhorst [34] führten ihre Studien mit 17 bzw. 18 Probanden durch. Alle Studien wurden mit Erwachsenen durchgeführt und mit statistischen Methoden ausgewertet. In Anlehnung an diese Studien scheint es ausreichend 10 Kinder mit AVWS und 10 Kinder ohne AVWS zu testen um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Zusätzlich muss auch der formelle Aufwand bedacht werden, der nötig ist um Studien mit Kindern durchzuführen. Die Rekrutierung von Kindern kann nur über deren Eltern erfolgen, bei den Kindern mit AVWS zusätzlich nur über die zuständigen Ärzte und Fachkräfte, so dass Kinder, Eltern, Ärzte, Fachkräfte und der Prüfer selbst bei der Durchführung dieser Tests eine Basis finden müssen.

Die Kinder der Kontrollgruppe wurden teilweise als Kinder von Mitarbeitern innerhalb der Phonak AG und teilweise von einer Primarschule in Zürich rekrutiert. Alle gestellten Anforderungen wurden erfüllt. Der IQ wurde nicht überprüft, sondern aufgrund von Eltern- und Lehreraussagen als mindestens durchschnittlich angenommen.

In Zusammenarbeit mit der ORL-Abteilung des Unispitals in Zürich¹ konnten Kinder mit AVWS gefunden werden, die ebenfalls die Kriterien des normalen peripheren Hörvermögens, der deutschen Muttersprache, des Besuches der 2. oder 3. Primarschulklasse und des normalen IQ erfüllen. Ein IQ Test wurde bei der Abklärung einer AVWS durchgeführt. Die Hörmerkspanne war zwar bei allen Probanden eingeschränkt, ein bei der Diagnose durchgeführter Test, bei dem das Kind Sätze mit mehreren Wörtern nachsprechen sollte, ergab aber, dass sich alle Probanden einen Satz mit 5 Wörtern merken konnten. Ein Sprachtest im Störgeräusch war bei keinem Kind zur Diagnose durchgeführt worden.

Keines der Kinder hatte vorher je an Sprachverständlichkeitmessungen dieser Art teilgenommen. Voraussetzung für alle Testpersonen war die freiwillige Teilnahme an den Messungen und die Einverständniserklärung des Erziehungsberechtigten. Die Kinder bekamen jeweils eine Aufwandsentschädigung ausbezahlt sowie die Fahrtkosten erstattet.

¹ORL = Klinik für Otorhinolaryngologie, Hals- und Gesichtschirurgie

Kapitel 4

Methode

4.1 Testmaterial

4.1.1 Nutzsignal

Zur Messung der Verständlichkeit im Störgeräusch benötigt man das Sprachmaterial, das von den Probanden nachgesprochen wird und eine Aussage über die Verständlichkeit liefert, sowie das Störgeräusch, welches das Sprachmaterial maskieren soll. Die wichtigsten Überlegungen zur Auswahl des geeigneten Sprachmaterials sind die Verwendbarkeit im Störgeräusch und die Anwendbarkeit bei Kindern. Es gibt zahlreiche Tests, die das Sprachverstehen prüfen und die hauptsächlich bei Hörgeräteanpassungen verwendet werden. Für die Evaluation von AVWS gibt es keinen genormten Test zur Messung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch. Es werden hier die Tests verwendet, die auch zur Anpassung von Hörgeräten benutzt werden. Dies ist z.B. der Freiburger Einsilbertest (DIN 45621-1)). Einsilber haben den Vorteil, dass sie eine geringe Redundanz besitzen. Der Freiburger Sprachtest, der in der Praxis am häufigsten angewendet wird, kommt aber nicht in Frage, da er für Erwachsene konzipiert wurde und Wörter enthält, die Kinder in dieser Altersgruppe noch nicht kennen. Auch an der Universität Oldenburg hat man die Notwendigkeit für einen Kindersprachverständlichkeitstest im Störgeräusch erkannt und evaluiert im Moment den Oldenburger Kinder-Reimtest im Störgeräusch. Dieser ist zur Messung der 50% Schwelle jedoch nicht geeignet, da er eine zu geringe Steigung aufweist. Deshalb wird gleichzeitig auch der Oldenburger Satztest (OLSA) im Störgeräusch für Kinder evaluiert. Satztests eignen sich für die Bestimmung des SRT (Speech Reception Threshold - bezeichnet den SNR, bei dem 50% der Wörter verstanden werden) am besten, da sie eine sehr steile

Diskriminationsfunktion besitzen und pro Satz gleich mehrere Wörter und damit statistische Stichproben getestet werden. Außerdem wird eine realitätsnahe Test-situation am besten durch einen Satztest geschaffen. Der OLSA bietet gegenüber dem Göttinger oder Marburger Satztest, die im deutschen Sprachraum ebenfalls genormt sind, den Vorteil, dass er aus einem begrenzten Wortmaterial besteht, das speziell ausgewählt wurde damit die verwendeten Worte auch Kindern bekannt sind. Ein Satz besteht jeweils aus 5 Wörtern und hat immer den gleichen Aufbau: Name, Verb, Zahl, Adjektiv, Objekt. Abbildung 4.1 zeigt die verwendeten Wörter des OLSA. Aus einer Basis von 10 Sätzen, deren Phonemverteilung der mittleren

Peter	bekommt	drei	grosse	Blumen.
Kerstin	sieht	neun	kleine	Tassen.
Tanja	kauft	sieben	alte	Autos.
Ulrich	gibt	acht	nasse	Bilder.
Britta	schenkt	vier	schwere	Dosen.
Wolfgang	verleiht	fünf	grüne	Sessel.
Stefan	hat	zwei	teure	Messer.
Thomas	gewann	achtzehn	schöne	Schuhe.
Doris	nahm	zwölf	rote	Steine.
Nina	malt	elf	weisse	Ringe.

Abbildung 4.1: OLSA Sätze

Phonemverteilung der deutschen Sprache entspricht, werden durch Vertauschen der Wörter neue Sätze generiert. Die Sätze, die von einem männlichen Sprecher gesprochen werden, können durch die Randomisierung der Wörter nicht auswendig gelernt werden und sind deshalb beliebig oft einsetzbar. Um die Natürlichkeit des Satzklanges zu erhalten wurden die Wörter des OLSA nicht einzeln aufgesprochen, sondern miteinander verbunden (Koartikulation).

Voraussetzung für den Einsatz des OLSA ist, dass sich die Kinder 5 Wörter merken können, was aber Bedingung bei der Auswahl der Probanden war. Zurzeit wird der OLSA auch in einer verkürzten Version mit 3 Wörtern evaluiert. Diese Version wird sich voraussichtlich für Kinder mit einer eingeschränkten Hörmerkspanne noch besser eignen.

4.1.2 Störsignal

Das Störgeräusch soll so gewählt werden, dass es einen Vergleich zwischen der Maskierung durch reine Frequenzüberlagerung (Energetic Masking) und der Maskierung durch Information (Informational Masking) liefert. Die beste Verdeckung durch Frequenzüberlagerung wird mit einem Rauschen erzielt, das das selbe Langzeitspektrum hat wie das Sprachsignal. Dies ist durch das OLSA Rauschen erfüllt, welches aus der mehrfachen, zufälligen Überlagerung der einzelnen Wörter besteht [36]. Für die Maskierung durch Information kommt ein Sprachsignal in Frage. Auch Scott et al. [37] haben in ihrem Experiment zur Messung des Einflusses von EM und IM auf das Sprachverstehen stationäres Rauschen und Sprache als klare Beispiele für EM und IM verwendet. Um die Situation so realitätsnah wie möglich zu gestalten soll das Sprachsignal natürliche Sprache mit zeitlichen Lücken repräsentieren. Diese zeitlichen Lücken können genutzt werden um das Nutzsignal zu verstehen. Die größte Verdeckungswirkung aufgrund von IM wird erzielt, wenn Nutz- und Störsignal vom gleichen Sprecher gesprochen werden, dies kommt in der Realität jedoch nicht vor. Schwierig bleibt es auch, wenn Nutz- und Störsignal vom gleichen Geschlecht gesprochen werden. Am einfachsten ist das Sprachverstehen, wenn Nutz- und Störsignal von Sprechern unterschiedlichen Geschlechts präsentiert werden [30]. In einer Klassensituation stellen sowohl männliche als auch weibliche Klassenkameraden das Störgeräusch dar, so dass es logisch erscheint, Störsprecher verschiedenen Geschlechts einzusetzen.

IM ist auch sehr stark abhängig von der Anzahl der Störsprecher. Carhart et al. [40] zeigten, dass ein Masker aus mehreren Störsprechern (z.B. 2-4) zu mehr Sprachmaskierung führte als ein einzelner Störsprecher. Auch bei Brungart [30] bewirkten 2 und 3 Störsprecher bei kleinen Signal-Rausch-Abständen mehr Sprachmaskierung als ein einzelner Störsprecher. Bei noch mehr Sprechern als Störsprecher, wird die Störwirkung dem eines stationären Rauschens ähnlicher, da die zeitlichen Lücken in der Störsprache durch Überlagerung der Sprecher immer mehr verschwinden. In dieser Studie wurde deshalb die Anzahl der Störsprecher auf 2 festgelegt. Diese haben eine größere Maskierungswirkung als nur ein Störsprecher, ähneln aber noch nicht einem Rauschen, so dass die Auswirkungen von IM hier am deutlichsten erscheinen sollten.

Aufgrund dieser Überlegungen wurden als Störgeräusch zwei CDs ausgewählt. Es handelt sich dabei um zwei Geschichten die jeweils von einer Frau und einem Mann vorgelesen werden. Die weibliche Sprecherin, Cornelia Funke, liest „Die wilden

Hühner auf Klassenfahrt“ [41], der männliche Sprecher, Friedhelm Ptok, „Gespens-terpark - Die Verschwörung der Geister“ [42]. Auf beiden CDs wurde jeweils ein Track (Funke: Track 12, Ptok: Track 2) ausgesucht und mit der Audiosoftware CoolEdit Pro 2.0 [47] bearbeitet. Zum einen wurden die Pausen und leiseren Anteile der Tracks verändert und zum anderen die Dynamik.

Zuerst wurden Sequenzen mit Musik herausgeschnitten. Anschließend wurden Pausen und leise Passagen, die länger als 150 ms waren entfernt, um über den Track einheitliche zeitliche Lücken zu erhalten. Laut Bedienungsanleitung von CoolEdit Pro [47] und auch nach subjektivem Eindruck lässt eine Einstellung von 150 ms soviel Geräusch unverändert, dass Sprechpausen sehr natürlich klingen. Wird zu viel Stille entfernt, wirkt ein gesprochener Satz ziemlich abgehackt und verfremdet. Die Definition von „Silence“, also ab wann ein Pegel als Stille angenommen wird, ist für jede Audioaufnahme unterschiedlich, je nach Qualität der Aufnahme. Für hochwertige Aufnahmen liegt der Wert in CoolEdit bei ca. -60 dB, bei nicht ganz so hochwertigen Aufnahmen bei ca. -30 dB. Deshalb wurden für beide CDs unterschiedliche Werte für die Definition von „Silence“ gewählt (Funke: -30 dB, Ptok: -50 dB). Beide Audiodateien wurden anschließend von Stereo auf Mono konvertiert um sie später über jeweils einen Kanal abzuspielen. Für die Kalibrierung auf eine bestimmte Lautstärke musste noch ein Pegelausgleich vorgenommen werden. Dabei wurde die Dynamik der beiden Tracks eingeschränkt um einen gleichmäßigen Pegel über der Zeit zu erhalten. Die Tracks wurden anschließend auf eine Länge von 3 Minuten und 10 Sekunden gekürzt und in einer Endlosschleife abgespielt, wobei vor allem darauf geachtet wurde, dass der Übergang zwischen Ende und Anfang der Tracks natürlich klingt. Nach dieser Bearbeitung standen zwei natürlich klingende und allen Anforderungen an das Störgeräusch entsprechende Audiodateien mit einer Abtastrate von 44,1 kHz und einer Auflösung von 16 bit zur Verfügung, die während des Versuchsablaufs über CoolEdit Pro abgespielt wurden.

Abb. 4.2 bis Abb. 4.4 zeigen das Spektrum der einzelnen Audiodateien, wobei hier im Vergleich zum kontinuierlichen Rauschen die zeitlichen Lücken des sprachlichen Störgeräusches sehr gut zu erkennen sind.

Hat man das Störgeräuschs definiert muss man sich noch Gedanken über die Art des Abspielens und den Pegel machen. Das Störgeräusch, egal ob Rauschen oder Sprecher, soll während der einzelnen Testblöcke (20 bzw. 30 Sätze) kontinuierlich abgespielt werden, d.h. auch während der Proband die Antwort gibt ist das Störgeräusch zu hören. Ein kontinuierliches Störgeräusch ist im Alltag die typi-

schere Situation, insbesondere auch im Schulunterricht. Ein Störsignal, das nur auftaucht, wenn auch das Nutzsignal erscheint ist eher unrealistisch. Es führt jedoch zu Unterschieden im Sprachverstehen, ob ein Störgeräusch kontinuierlich oder unterbrochen ist. Hall [46] verglich das Sprachverstehen von 5-10 jährigen Kindern in kontinuierlichem Störgeräusch mit dem in unterbrochenem Störgeräusch (jeweils sprachsimulierendes Rauschen und fließende Sprache zweier männlicher Sprecher). Dabei war die Maskierungswirkung bei kontinuierlichem Störgeräusch höher als bei unterbrochenem Störgeräusch, jedoch nur für die Störsprache, nicht für das Rauschen. Bei einem kontinuierlichen Störsprecher überlagern sich die Pausen und lauterer bzw. leiserer Anteile der Störsprache je nach Antwortzeit unterschiedlich mit dem Nutzsignal, sofern der Testablauf nicht dahingehend automatisiert ist, dass dem Probanden nur eine bestimmte Zeit zum Antworten bleibt. Jeder Proband hat also für jeden Satz, den er nachsprechen soll einen unterschiedlichen Ausschnitt aus der Sprache der Störsprecher als ein anderer Proband. Dieser Effekt mittelt sich aber über alle Probanden heraus.

Der Pegel des Störgeräuschs wird nach den Studien in Kapitel 2.2 auf Seite 9 festgelegt. Dieser Pegel bleibt über die gesamte Messung konstant, wohingegen der Pegel

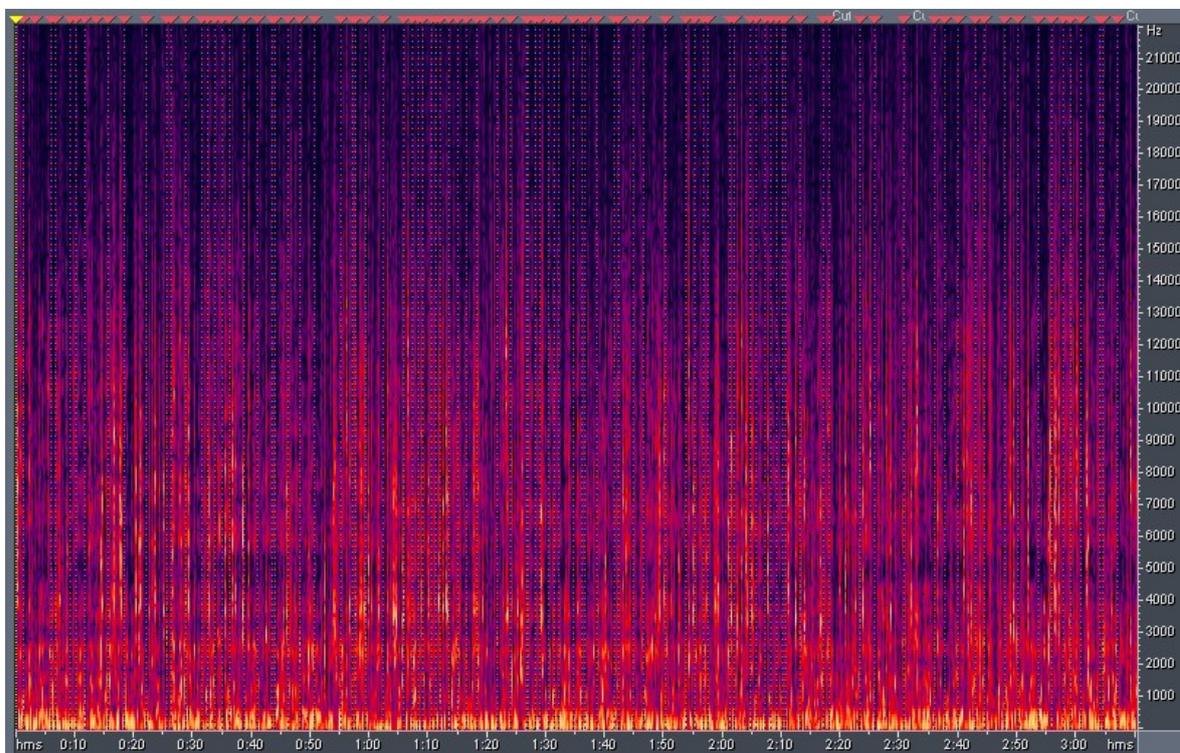


Abbildung 4.2: Spektrogramm des männlichen Störsprechers

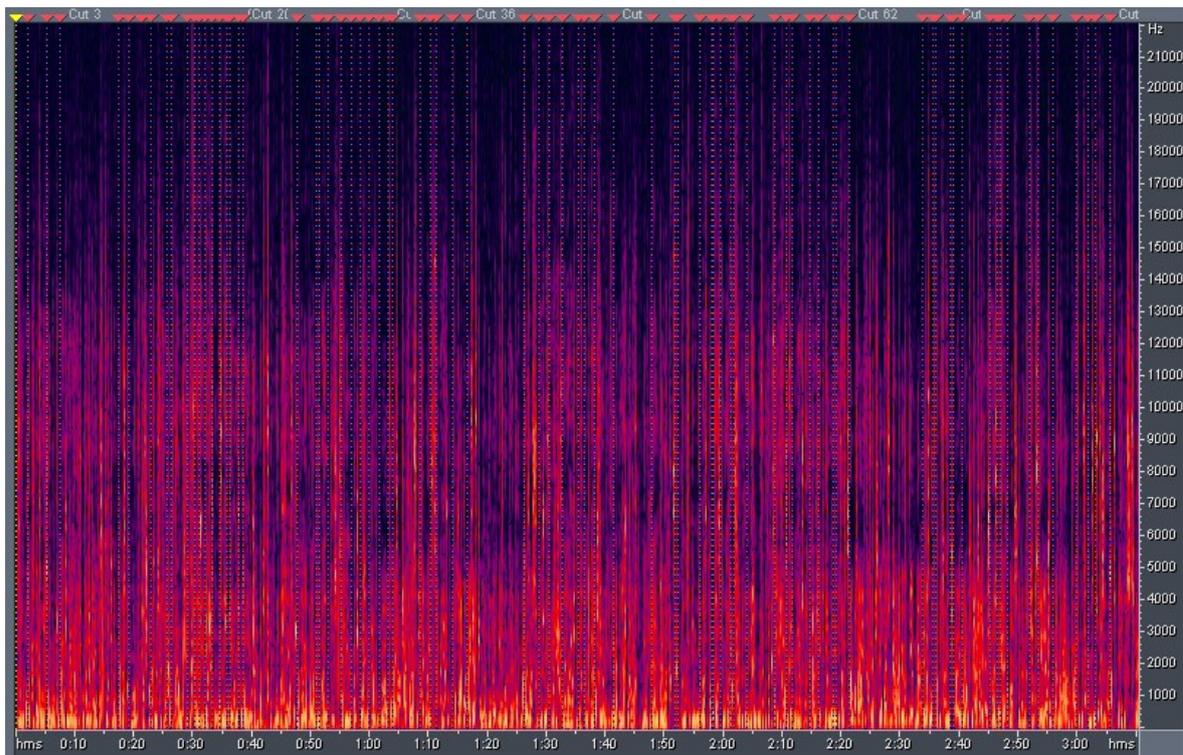


Abbildung 4.3: Spektrogramm des weiblichen Störsprechers

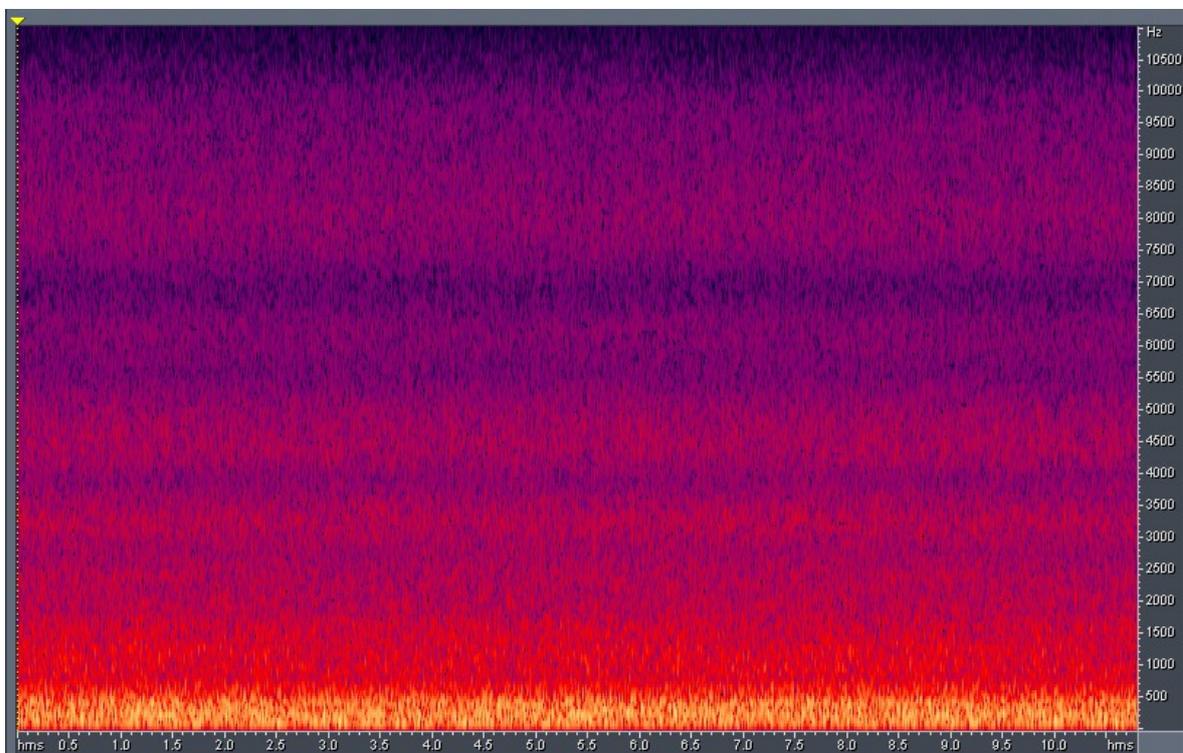


Abbildung 4.4: Spektrogramm des OLSA Rauschens

des Nutzsymbols adaptiv verändert bzw. auf den gewünschten SNR eingestellt wird (vgl. Kapitel 4.3.2 auf Seite 29). Die verschiedenen Studien haben durchschnittliche Pegel in Klassenzimmern zwischen 48 dB und 77 dB gemessen. Angelehnt an diese Werte wurde für die Versuchsdurchführung ein Pegel von 60 dB festgelegt. Dies repräsentiert annähernd die Mitte der Werte der Studien. Es muss außerdem bedacht werden, dass Kinder mit AVWS häufig Anzeichen von Hyperakusis aufweisen, also empfindlich gegenüber Lärm sind, deswegen darf das Störgeräusch nicht zu laut abgespielt werden.

4.2 Messaufbau

4.2.1 Technische Geräte

Zur Durchführung eines Sprachtests im Freifeld benötigt man die Lautsprecher aus denen das Nutz- und das Störsignal abgegeben werden und einen PC zur Ansteuerung der Lautsprecher. Es wurden 3 Lautsprecher verwendet, zwei Genelec Aktivlautsprecher Model 1029A und ein Westra Lautsprecher Typ LAB-1001. Aus dem Westra Lautsprecher wurden die OLSA Sätze abgespielt. Der Testablauf des OLSA war automatisiert möglich über das Computerprogramm MACarena. Dies erlaubt die Markierung der richtig verstandenen Wörter auf dem Monitor per Mausklick durch den Prüfer, woraufhin der Pegel bei der adaptiven Sprachverständlichkeitsmessung automatisch um die entsprechenden Werte angehoben oder abgesenkt wird. Aus den Genelec Lautsprechern wurde das Störgeräusch abgespielt. Diese Lautsprecher waren über eine mehrkanalige Soundkarte (echo Gina 24/96) mit einem Pentium III Computer verbunden um sie separat ansteuern zu können.

Die Bestimmung der Hörschwelle für Töne wurde mit einem Aurical Audiometer über Kopfhörer vorgenommen. Für das Tympanogramm stand ein Madsen Zodiac 901 Middle-Ear Analyzer zur Verfügung.

Bei den Messungen mit FM System wurden Empfänger und Sender der Firma Phonak Hearing Systems AG verwendet. Beim Empfänger handelt es sich um EduLink S (vgl. Abb. 4.5). Dieser Empfänger wird direkt am Ohr getragen. Als Sender wurde der Campus S ausgewählt und als Mikrofon das MiniBoom (vgl. Abb. 4.6). Das MiniBoom hat den Vorteil, dass es direkt am Mund getragen wird und so unempfindlicher gegenüber Störgeräuschen ist. Außerdem bleibt es auch bei Kopfdrehungen immer am Mund des Sprechers. Die Lautstärke des Empfängers wurde am Poten-



Abbildung 4.5: EduLink S Empfänger



Abbildung 4.6: Campus S und MiniBoom Mikrofon

tiometer auf maximal eingestellt, der maximale Ausgangspegel wurde per Software auf die Default Einstellung programmiert. Damit beträgt der maximale Ausgangsschalldruckpegel 95 dB. Dies ist die empfohlene Einstellung für normal hörende Kinder mit AVWS.

4.2.2 Anordnung des Messaufbaus

Zur Durchführung der Messungen konnte ein schallgedämpfter Raum im Unispital Zürich, Abteilung Experimentelle Audiologie, genutzt werden. Der Raum hat eine Länge von 6.90 m, eine Breite von 4.50 m und eine Höhe von 2.30 m. Das ergibt ein Volumen von 71.4 m^3 . Mit dem Messaufbau sollte eine möglichst realistische Anordnung geschaffen werden, die eine Unterrichtssituation in der Schule wieder spiegelt (vgl. Abb. 4.7). In einem Raum mit Teppichfußboden und Absorberplatten an Wänden und Decke sind die Reflexionen natürlich wesentlich geringer und die Nachhallzeit wesentlich kürzer als in einem normalen Unterrichtstraum, was zu einem besseren Sprachverstehen beiträgt. Da zur Versuchsdurchführung jedoch kein anderer Raum zur Verfügung stand, muß dies später in der Auswertung der Ergeb-

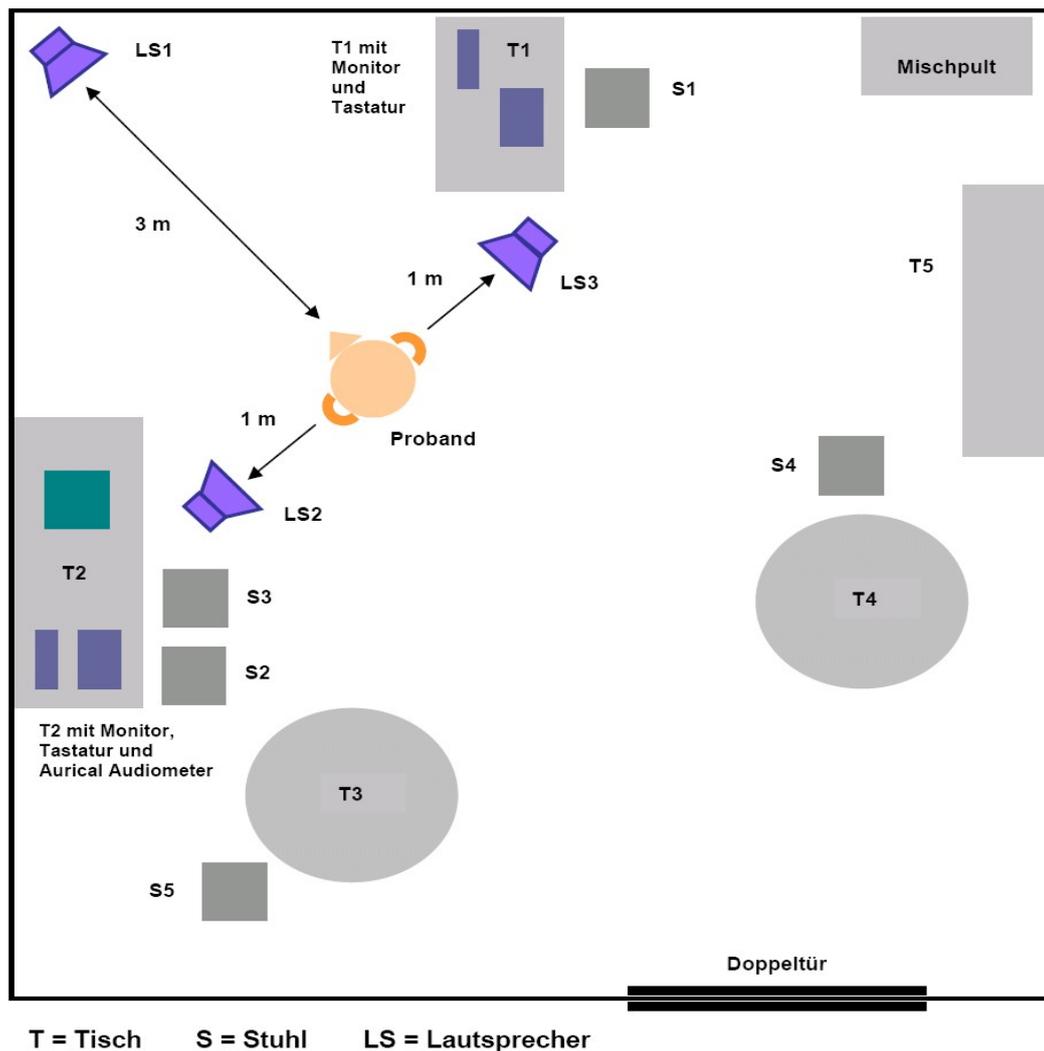


Abbildung 4.7: Messaufbau

nisse berücksichtigt werden.

Die häufigste Art des Unterrichts ist immer noch der Frontalunterricht, bei dem der Lehrer vor der Klasse steht und den Stoff mündlich vermittelt. Je nach Sitzplatz des Schülers und Anordnung der Sitzreihen besteht ein unterschiedlich großer Abstand zum Lehrer. Der Lautsprecher, der das Sprachsignal abgibt und somit den Lehrer simuliert (LS1), wurde in einem Abstand von 3 m mit 0° azimuth zum Probanden angeordnet. Dies entspricht einem Sitzplatz im Klassenzimmer, der sich nicht direkt vor dem Lehrer aber auch nicht in der letzten Sitzreihe befindet. In heutigen Grundschulen sind die Sitzplätze ohnehin eher in einem U angeordnet oder es gibt „Sitzplatzinseln“, so dass 3 m einem durchschnittlichen Abstand vom Schüler zum Lehrer entsprechen. Die Sitzposition ist je nach Sitzplatzanordnung nicht immer frontal

zum Lehrer, wird aber hier mit 0° azimuth festgelegt. Der Nutzsinal-Lautsprecher stand auf einem Podest in einer Höhe von 1,10 m und gab den Schall in einer Höhe von 1,35 m an das Mikrofon des FM Systems ab. Dies kann annähernd mit einem sitzenden Lehrer verglichen werden.

Auch für die Störgeräusch-Lautsprecher (LS2 und LS3) wurde eine Klassenzimmersituation angenommen, bei der rechts und links vom Schüler ein weiterer Schüler im Abstand von 1 m sitzt. Störgeräusche durch redende Schüler von vorne und hinten wurden nicht berücksichtigt, da durch die Anordnung Störgeräusch von rechts und links gleichzeitig noch das dichotische Hören als Effekt berücksichtigt werden sollte. Das dichotische Hören ist bei vielen AVWS Kindern beeinträchtigt. Rechtes und linkes Gehör können nicht unabhängig voneinander wahrnehmen, wie das normalerweise der Fall ist. Werden über beide Ohren verschiedenen Signale aufgenommen stören sich diese Informationen gegenseitig. Aufschluss über die Fähigkeit des dichotischen Hörens gibt z.B. der Dichotische Sprachtest nach Uttenweiler, der zur Diagnose von AVWS häufig eingesetzt wird. Dem Patienten werden dabei rechts und links über Kopfhörer zwei unterschiedliche dreisilbige Wörter dargeboten, die er beide wiederholen muss. Ist nun die binaurale Interaktion gestört, kann diese Aufgabe nicht oder nur erschwert gelöst werden. Unterschiedliche Störsignale von rechts und links können demnach für Kindern mit AVWS evtl. größerer Schwierigkeiten darstellen, auch wenn nicht aktiv auf sie gehört werden soll. Dementsprechend wurden die Störgeräuschlautsprecher mit 90° und 270° azimuth im Abstand 1 m vom Probanden aufgestellt.

Ein weiteres Phänomen der binauralen Schallverarbeitung ist das Right Ear Advantage (REA), das ebenfalls beim dichotischen Hören zum Vorschein kommt. Werden Wörter dichotisch angeboten, so wird häufiger das Wort auf dem rechten Ohr richtig nachgesprochen als das auf dem linken Ohr. Dies hängt damit zusammen, dass Informationen, die am rechten Ohr ankommen, über die kontralateralen Hörbahnen zur linken Hemisphäre geleitet werden und kontralaterale Bahnen gegenüber ipsilateralen Bahnen bevorzugt werden. Da nun die linke Gehirnhälfte hauptsächlich für die Sprachverarbeitung zuständig ist, wird vorrangig der Input des rechten Ohres wahrgenommen und nicht der über die ipsilaterale Bahn des linken Ohres kommende.¹ Kinder haben ein ausgeprägteres REA als Erwachsene. Es nimmt mit dem Alter ab und erreicht mit 10-11 Jahren die Werte von Erwachsenen [4]. Bei den hier

¹Das Right Ear Advantage tritt nur bei sprachlichen Reizen auf. Für Sinustöne, Musik oder Hintergrundgeräusche erscheint oft ein Left Ear Advantage (LEA), da diese Verarbeitung in der rechten Hemisphäre des Gehirns stattfindet

getesteten 8-10 jährigen Kindern sollte das REA also durchaus noch ausgeprägt sein. Wie oben erwähnt hat ein Störsprecher mit gleichem Geschlecht wie der Nutzsprecher eine größere Störwirkung als einer mit unterschiedlichem Geschlecht. Wird nun der männliche Störsprecher über den rechten Lautsprecher präsentiert und durch das REA bevorzugt wahrgenommen, sollte die Maskierungswirkung stärker ausfallen als bei einer Präsentation der weiblichen Störsprecherin auf der rechten Seite, da die OLSA Sätze von einem männlichen Sprecher gesprochen werden. Die Anordnung der weiblichen Störsprecherin von links (LS2) und des männlichen Störsprechers von rechts (LS3) wurde ausgewählt um eine Testsituation mit den schwierigsten Bedingungen zu schaffen. Es ist jedoch nicht geklärt, ob das REA auch bei selektiver Aufmerksamkeit erscheint oder nur bei geteilter Aufmerksamkeit, die bei der Durchführung des dichotischen Tests nach Uttenweiler notwendig ist.

Die Anordnung der Störgeräuschlautsprecher erfolgte in einer Höhe von 95 cm, je nach Größe der Probanden war dies auf Kopfhöhe oder etwas darüber.

Ein völlig diffuses Schallfeld ist mit dieser Lautsprecheranordnung nicht zu erreichen (was aber in der Realität auch höchst selten vorkommt), deswegen muss darauf geachtet werden, dass die Probanden den Kopf nicht drehen, sondern immer den Lautsprecher fixieren aus dem das Nutzsignal kommt. Dies wurde bei den Kindern damit erreicht, dass am vorderen Lautsprecher eine Postkarte mit einem kindgerechten Motiv befestigt wurde, die während der Messung angeschaut werden sollte. Bei der Einweisung wurde die Notwendigkeit des Stillhaltens des Kopfes außerdem betont.

Das Mikrofon für die Messungen mit FM System wurde mit Klebeband in der Mitte des Lautsprechers in einer Höhe von 1,35 m und einem Abstand von 6 cm befestigt, was ungefähr dem Abstand vom Mund eines Sprechers entspricht, wenn er dieses Mikrofon trägt. Der Proband saß schräg neben dem Tisch des Prüfers (T1), so dass der Prüfer den Probanden während des Testablaufs beobachten und auch die Antworten gut verstehen konnte. Auf dem Tisch des Prüfers befanden sich ein Flachbildschirm, sowie Maus und Tastatur. Am Tisch T2 wurde die audiometrische Voruntersuchung durchgeführt. Dort standen ebenfalls ein Flachbildschirm, Tastatur und Maus, sowie ein Aurical Audiometer und Messbox. Lautsprecher LS2 wurde sowohl zur Audiometrie als auch nach den Messungen eines Tages auf die Seite gestellt, da auch noch andere Messungen in dem Raum stattfanden. Die Markierungen auf dem Boden gewährleisteten aber die einheitliche richtige Positionierung

von LS2 für alle Messungen. LS1 und LS3 konnten für den gesamten Versuchsablauf stehen bleiben. Die Begleitung der Probanden nahm entweder an T3 oder T4 Platz, so dass der Proband während der Messung nicht durch Blickkontakt abgelenkt werden konnte.

4.2.3 Kalibrierung des Messaufbaus

Die Kalibrierung des Messaufbaus wurde mit einem Schallpegelmessgerät des Typs 116 von Norsonic durchgeführt. Dazu wurde das Messgerät auf einem Stativ befestigt und an der Stelle positioniert an der später die Probanden saßen. Zuerst wurde das Sprachmaterial aus dem Lautsprecher von vorne auf 60 dB (A) kalibriert. Dazu wurde das OLSA Kalibrierungsrauschen aus MACarena abgespielt und eine Pegelmessung mit A Bewertung durchgeführt. Im Programm MACarena kann der Pegel mittels eines Abschwächers eingestellt werden.

Die Kalibrierung des Störgeräusches erfolgte bei den beiden Sprechern durch eine Leq Messung. Die Veränderung der Einstellung der Lautstärke erfolgte ausschließlich in CoolEdit. Alle anderen Möglichkeiten der Lautstärkeregelung (Line Out, Gina Soundkarte, Regler am Lautsprecher) blieben konstant. Zuerst wurde jeder einzelne Lautsprecher auf 60 dB (A) kalibriert. Dazu wurden jeweils verschiedene Ausschnitte von 1 Minute Länge der einzelnen Audiodateien abgespielt und über diesen Zeitraum eine Leq Messung durchgeführt. Zum Schluss wurde eine Leq Messung über die gesamte Audiodatei durchgeführt. Anschließend musste die Lautstärke der beiden Audiodateien gleichmäßig so verändert werden, dass sich am Schallpegelmessgerät zusammen ein Pegel von 60 dB (A) ergab. Dies wurde wiederum mit einer Leq Messung überprüft. Für das Rauschen als Störgeräusch wurde auch zuerst jeder einzelne Lautsprecher auf 60 dB (A) kalibriert und danach die Gesamtlautstärke in CoolEdit für beide Lautsprecher gleichmäßig angepasst. Nach der Kalibrierung erreichten also das Nutzsignal, sowie die Störsignale aus den Lautsprechern rechts und links zusammen, jeweils 60 dB am Probandenkopf.

4.3 Versuchsdurchführung

4.3.1 Einweisung der Probanden

Die Einweisung der Probanden erfolgte einheitlich mündlich nach Anhang A. Eine schriftliche Einweisung, bei der die Probanden die Anweisungen lesen wäre sicher

konstanter, ist aber mit Kindern nicht durchführbar. Alle Kinder haben sehr schnell verstanden, was sie zu tun haben und sehr gut mitgearbeitet. Die Sätze des OLSA (vgl. Abb. 4.1 auf Seite 18) wurden den Kindern während der Einweisung in schriftlicher Form gegeben. Sie sollten die Wörter gut durchlesen und die Wörter, die sie nicht kennen, benennen. Die Wörter wurden allgemein von den Kindern verstanden. Bei einem Kind kam es vor, dass der Name Ulrich nicht bekannt war. Der OLSA eignet sich von der Wortwahl dementsprechend gut auch für Kinder aus der Schweiz.

Es erschien gerade bei Kindern wichtig, zu betonen, dass sie nicht immer alles verstehen werden und die Sprache teilweise schwer zu verstehen ist. Es wurde bei der Einweisung jedoch vermieden, die Kinder zum Raten zu animieren. Dies hätte die Antwortzeiten verlängert und es hätte auch dazu führen können, dass der Test nicht mehr ernst genommen wird.

4.3.2 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf war für die Kontrollgruppe als auch für die Versuchsgruppe gleich. Die Probanden erschienen alle in Begleitung eines Elternteils am Unispital Zürich. Vater oder Mutter blieben entweder während der Messung im Raum dabei oder holten das Kind nach Ende der Messungen wieder ab. Die Messungen waren aufgeteilt auf zwei Termine. Der erste Termin dauerte etwa 1 Stunde, der zweite Termin ca. 45 Minuten. Bei Kindern muss bei längeren Aufgaben die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsfähigkeit besonders bedacht werden. Die hier zu bewältigende Aufgabe des Verstehens von Sätzen bei gleichzeitigem Störgeräusch erfordert die selektive Aufmerksamkeit. Im allgemeinen meint man mit dem Oberbegriff Aufmerksamkeit die selektive oder auch fokussierte Aufmerksamkeit. Im Gegensatz zur geteilten Aufmerksamkeit, bei der zwei oder mehrere Aufgaben gleichzeitig bewältigt werden, bezeichnet die selektive Aufmerksamkeit die Tatsache, daß Menschen Informationen gezielt auswählen, ihre geistige Anstrengung unter einer Zielsetzung bündeln und nicht Dazugehöriges außer Acht lassen. Diese Form der Aufmerksamkeit bezeichnet die Fähigkeit, stetig und zielgerichtet einer Aufgabe nachzugehen und konkurrierende Handlungstendenzen zu unterlassen und wird auch als Konzentrationsfähigkeit bezeichnet [44].

Die Konzentrationsfähigkeit liegt bei Erwachsenen deutlich höher als bei Kindern. Kinder zwischen 5 und 10 Jahren können sich nur ca. 15-20 Minuten konzentrieren [43]. Deswegen ist es wichtig den Kindern zwischen den einzelnen Messungen

Proband	OLSA in Rauschen						OLSA in Störsprache					
	ohne FM System			mit FM System			ohne FM System			mit FM System		
	SRT	+2dB	-2dB	SRT	+2dB	-2dB	SRT	+2dB	-2dB	SRT	+2dB	-2dB
1	A1	A2	A3	A4	A6	A5	B1	B3	B2	B4	B5	B6
2	A4	A5	A6	A1	A3	A2	B1	B2	B3	B4	B6	B5
3	B1	B2	B3	B4	B6	B5	A4	A5	A6	A1	A3	A2
4	B4	B5	B6	B1	B3	B2	A1	A2	A3	A4	A6	A5
5	B1	B3	B2	A1	A2	A3	A4	A6	A5	B4	B5	B6
6	B4	B6	B5	A4	A5	A6	A1	A3	A2	B1	B2	B3
7	A1	A3	A2	B1	B2	B3	B4	B6	B5	A4	A5	A6
8	A4	A6	A5	B4	B5	B6	B1	B3	B2	A1	A2	A3
9	A4	A5	A6	B1	B2	B3	A1	A3	A2	B4	B6	B5
10	A1	A2	A3	B4	B5	A4	A6	A5	B2	B1	B3	B2
11	B4	B5	B6	A1	A2	A3	B1	B3	B2	A4	A6	A5
12	B1	B2	B3	A4	A5	A6	B4	B6	B5	A1	A3	A2

A: 1. Termin B: 2. Termin 1-6: Reihenfolge der Messungen

Tabelle 4.1: Verwürfelung der Messungen

kurze Erholungspausen zu gönnen. Um die Konzentrationseffekte herauszumitteln wurden außerdem alle Messungen verwürfelt durchgeführt (vgl. Tab. 4.1 auf Seite 30). Zu Beginn des ersten Termins wurden Nachname und Vorname des Kindes aufgenommen, das Geburtsdatum, sowie die besuchte Klassenstufe. Nach einer Otoskopie wurde ein Tonaudiogramm durchgeführt, bei dem über Kopfhörer die Frequenzen 125 Hz bis 8 kHz gemessen wurden um eine Schallempfindungs- bzw. Schalleitungsschwerhörigkeit auszuschließen. Daraufhin erfolgte die Einweisung des Probanden in den Sprachtest. Das Tympanogramm wurde jeweils beim 2. Termin aufgenommen. Beim 1. Termin wurde durch das Tonaudiogramm überprüft, ob ein Mittelohrproblem vorliegt², beim 2. Termin dann durch das Tympanogramm. Zur Bestimmung der 50% Schwelle der Sprachverständlichkeit wurde der OLSA adaptiv mit 30 Sätzen durchgeführt. 30 Sätze liefern eine sehr gute Schätzung des SRT. Hierdurch lässt sich eine angestrebte Genauigkeit von 0,5 dB SNR (Standardabweichung des SRT) gewährleisten. Bei der adaptiven Messung wird abhängig davon, wie viele Wörter pro Satz verstanden werden, der Pegel der Sätze erhöht oder verringert. Der SRT wurde mit dem Programm MACarena als Mittelwert aus dem

²Es wurde zwar keine Knochenleitungshörschwelle gemessen, jedoch kann bei normaler Luftleitungshörschwelle eine Schalleitungsschwerhörigkeit ausgeschlossen werden.

Pegel der letzten 20 Sätze errechnet. Blieb vor Ablauf der 30 Sätze bei sechs Sätzen hintereinander der Pegel konstant wurde der Test automatisch durch das Programm abgebrochen und dieser Pegel als SRT verwendet.

Anschließend wurden zwei weitere Messpunkte knapp ober- und unterhalb des SRT mit konstantem Pegel gemessen um die Steigung der Kurve bestimmen zu können. Die Messgenauigkeit ist abhängig von der Steigung der Diskriminationsfunktion. Die Steigung des OLSA bei Erwachsenen beträgt 17%/dB [36]. Vorläufige Evaluationsmessungen bei 10 Kindern am Hörzentrum Oldenburg ergaben für den OLSA im Störgeräusch eine Steigung von 11,1 %/dB [35]. Die Steigung ist also geringer als bei Erwachsenen. Ausgehend von diesen Werten wurden die Messpunkte ober- und unterhalb des SRT auf +/- 2 dB festgelegt, auch in der Annahme, dass die Steigung bei den Kindern mit AVWS noch flacher ausfallen könnte. Kleinere Abstände von z.B. +/- 1 dB würden dementsprechend evtl. nur sehr geringe Veränderungen im Sprachverstehen bringen, größere Abstände von z.B. +/- 3 dB könnten vor allem beim leiseren Pegel zu frustrierend sein, da nur noch sehr wenig Wörter verstanden würden. Der konstante Pegel konnte über den Abschwächer in der MACarena Software eingestellt werden, jedoch nur in 1 dB Schritten. War der SRT ein Wert mit Nachkommastellen, so wurde dieser auf- oder abgerundet und dann 2 dB addiert bzw. subtrahiert. In Wirklichkeit wurde deshalb ein Wert zwischen 1.6 dB und 2.4 dB addiert oder subtrahiert.

Bei beiden Messpunkten wurden jeweils 20 Sätze und damit 100 Wörter gemessen. Dies ist ausreichend bei konstantem Pegel.

Überaus wichtig beim Einsatz des OLSA ist die Durchführung von Trainingslisten um einen Lerneffekt zu vermeiden. Der maximale Lerneffekt beträgt 2 dB. Bei der Durchführung einer Trainingsliste von 30 Sätzen kann eine Messgenauigkeit von 1 dB erreicht werden. In Anbetracht der zeitlichen Begrenztheit bei der Durchführung der Messungen mit Kindern aufgrund von Konzentrationseffekten wurde nur eine Testliste mit 20 Sätzen durchgeführt. Die Durchführung von Testlisten sollte jedoch nicht nur dazu dienen, den Lerneffekt zu verringern, sondern auch dazu, sich an die Testbedingungen zu gewöhnen. Deshalb wurde vor jeder neuen Testsituation eine Übungsliste mit 20 Sätzen durchgeführt um den Probanden gleichzeitig an die verschiedenen Störgeräusche und das FM System zu gewöhnen. Dies war vor allem wichtig, da die Kinder bei diesen Messungen zum ersten Mal das FM System trugen und dabei eine kurze Eingewöhnungsdauer notwendig war. Auch für die unterschiedlichen Störgeräusche war es wichtig, dass für jede Situati-

on die gleichen Voraussetzungen gegeben waren.

Daraus ergaben sich also folgende Situationen:

- *OLSA mit OLSA Rauschen ohne FM System*
- *OLSA mit Störsprecher ohne FM System*
- *OLSA mit OLSA Rauschen mit FM System*
- *OLSA mit Störsprecher mit FM System*

Für jede Situation wurden die folgenden Messungen durchgeführt:

- *Übungsliste (20 Sätze)*
- *Bestimmung des SRT (30 Sätze)*
- *Bestimmung der Steigung mit SRT +2 dB (20 Sätze)*
- *Bestimmung der Steigung mit SRT -2 dB (20 Sätze)*

Die adaptiven SRT Messungen wurden bei einem SNR von 0 dB gestartet, wenn ohne FM System gemessen wurde. Beim Einsatz des FM Systems wurde mit einem SNR von -10 dB begonnen um ein schnelleres Einpegeln auf den SRT zu erreichen. Die Anpassung des FM Systems erfolgte jeweils individuell für jeden Probanden und zwar binaural. Nach dem Anlegen und Einschalten der EduLink Empfänger am Probanden testete der Prüfer die Funktion, indem er einige Sätze in das Mikrofon sprach und die Kinder bestätigen sollten, dass sie den Prüfer gleichmäßig auf beiden Ohren über die Empfänger hören konnten.

Aufgrund der Notwendigkeit der Durchführung von Übungsgruppen vor dem eigentlichen Testbeginn war der Nutzsprecher bereits im Voraus bekannt. Dadurch verringert sich die Unsicherheit, welcher Stimulus den Nutzsprecher und welcher Stimulus den Störsprecher darstellt und damit auch IM. Freyman [45] belegte mit seinem Experiment, dass die vorherige Präsentation des Nutzsprechers eine Verbesserung des SNR um 4 dB ergab gegenüber einer sofortigen gleichzeitigen Präsentation von Nutz- und Störsprecher. Die vorherige Bekanntheit des Nutzsprechers ist in dieser Diplomarbeit durchaus gewollt, da es die Realität im Unterricht widerspiegelt, wo die Lehrerstimme den Kindern ja auch bestens bekannt ist.

Kapitel 5

Versuchsauswertung

5.1 Kontrollgruppe

5.1.1 Voruntersuchungen

Es wurden 13 Probanden ohne AVWS getestet. Zwei Kinder (Proband 2 und 13, vgl. Tabelle 4.1 auf Seite 30) mussten aus der Auswertung genommen werden. Bei einem Probanden wurde ein leichtgradiger peripherer Hörverlust festgestellt, beim anderen fielen Symptome auf, die auf eine AVWS hindeuten könnten. Die Mutter berichtete daraufhin, dass der Junge bereits zur Abklärung beim Schulpsychologen war und seither therapeutische Unterstützung erhält. Bei 11 Kindern wurden die Voraussetzungen der deutschen Muttersprache und der Besuch der 2. oder 3. Klasse erfüllt, genauso wie ein gesundes peripheres Hörvermögen. Bei keinem dieser Kinder waren bisher Anzeichen von AVWS oder anderen Störungen aufgetreten. Der IQ Wert wurde ohne vorherige Tests aufgrund von Eltern- und Lehreraussagen als normal angenommen. Ausgewertet wurden insgesamt 11 Kinder, davon 5 Jungen und 6 Mädchen. Das jüngste Kind war 8;1 Jahre¹, das älteste 10;2 Jahre. Das Durchschnittsalter betrug 9;0 Jahre. 7 Kinder gingen in die 2. Primarschulklasse, 4 Kinder in die 3. Primarschulklasse.

Abb. 5.1 zeigt die Ergebnisse der tonaudiometrischen Voruntersuchung. Die Hörschwelle, gemessen über Kopfhörer, liegt bei keiner der gemessenen Frequenzen zwischen 125 Hz und 8000 Hz schlechter als 20 dB HL. Die mittlere Standardabweichung (s) beträgt weniger als 6 dB. Auch die Tympanogramme zeigten bei allen Kindern einen normalen Mittelohrdruck und eine normale Compliance.

¹8;1 Jahre entspricht 8 Jahre und 1 Monat

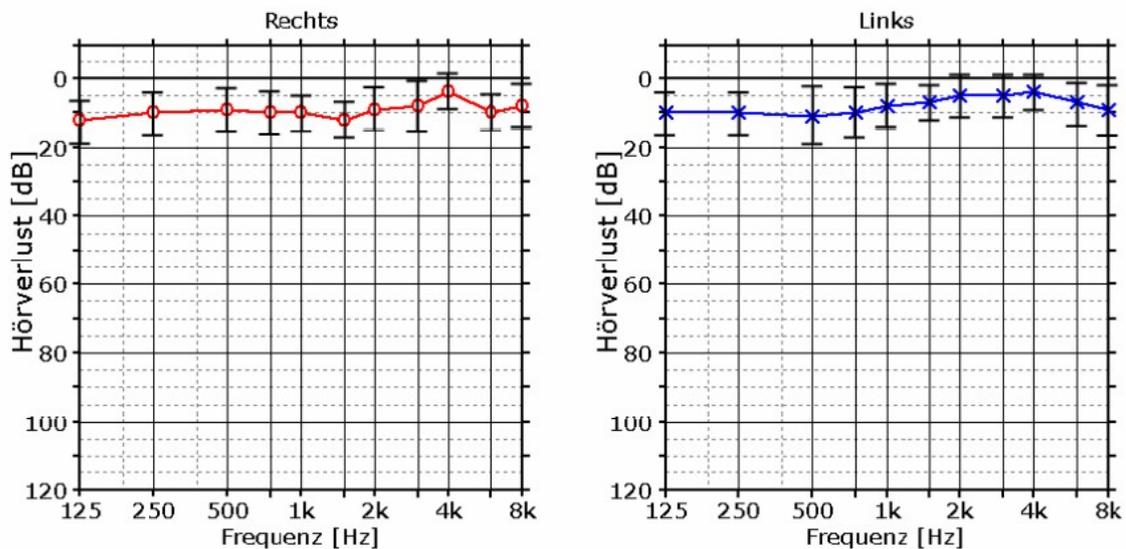


Abbildung 5.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Tonaudiogramme Kontrollgruppe

5.1.2 Sprachtest

Wie in Kapitel 4.2.2 auf Seite 24 bereits erwähnt, muss bei den Ergebnissen des Sprachtests für beide Gruppen bedacht werden, dass die Akustik des Messraumes nicht der eines Klassenzimmers entspricht, da er schallgedämpft ist. In einem herkömmlichen Klassenzimmer mit längerer Nachhallzeit könnten die hier durchgeführten Sprachverständlichkeitsmessungen deshalb für alle Kinder schlechtere Ergebnisse liefern, bedingt durch unerwünschte Reflektionen an Wänden, Decke und Boden. Dies beeinflusst jedoch nicht den Vergleich der Messergebnisse zwischen den Gruppen, den Störgeräuschsituationen und der Situation ohne und mit FM.

Abb. 5.2 zeigt die Sprachverständlichkeitsschwelle (SRT) für das Sprachverstehen ohne FM System, einmal mit Rauschen als Störgeräusch und einmal mit Sprache als Störgeräusch für jeden einzelnen Probanden sowie den Mittelwert. Je weiter der Balken ins Negative reicht, desto besser ist das Sprachverstehen im jeweiligen Störgeräusch. Alle Kinder haben in der Störgeräuschsituation mit Rauschen besser verstanden als in der Störgeräuschsituation mit Sprache. Im Rauschen liegt der durchschnittliche SRT bei -7.1 dB, bei Sprache als Störgeräusch bei -1.5 dB, dies entspricht einem SNR Verlust in Sprache gegenüber Rauschen von 5.6 dB. Auch subjektiv beurteilten die Kinder die Störgeräuschsituation mit den beiden Erzählern als schwieriger. Die mittleren Standardabweichungen sind in beiden Testsituatio-

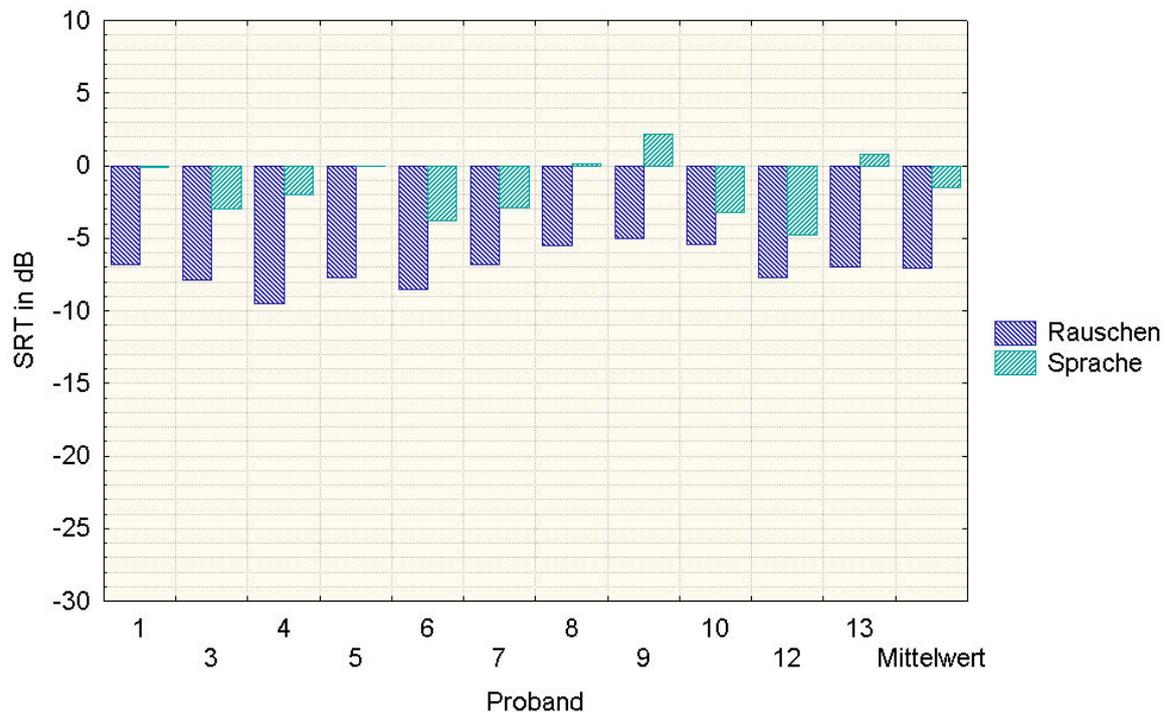


Abbildung 5.2: Sprachverstehen ohne FM System Kontrollgruppe

nen klein (1.4 dB im Rauschen und 2.2 dB in Sprache). Wie in Abb. 5.3 zu sehen wird der SRT mit FM System kleiner, das bedeutet, dass alle Kinder mit dem FM System das Nutzsignal bei einem wesentlich geringeren Pegel verstanden haben. Der mittlere SRT beträgt hier im Rauschen -24.1 dB und in Sprache -17.3 dB, was einem ähnlichen SNR Verlust in Sprache gegenüber Rauschen wie ohne FM System entspricht, nämlich 6.8 dB. Die mittleren Standardabweichungen sind etwas größer als ohne das FM System (3.0 dB im Rauschen und 3.5 dB in Sprache). Aber auch hier ist das Sprachverstehen bei allen Kindern im Rauschen besser als bei Sprache, nur bei einem Kind ist es in beiden Störgeräuschen gleich. Die Art des Störgeräuschs hat aufgrund der offenen Anpassung des FM Systems immer noch einen Einfluss auf das Sprachverstehen, wobei in Abb. 5.4 zu sehen ist, dass der mittlere SNR Gewinn bei Rauschen und bei Sprache sich nur um 1.2 dB unterscheidet. Mit FM System erreichen die Probanden einen durchschnittlichen SNR Gewinn von 17.0 dB in Rauschen und 15.8 dB in Sprache.

In Abb. 5.5 sind die Sprachverständlichkeitsfunktionen aufgetragen. Wie sehr schön zu sehen, wird in Sprache eine geringere Steigung erreicht als in Rauschen. Die durchschnittlichen Steigungen an der 50% Schwelle betragen 9%/dB und 7.3%/dB im Rauschen sowie 5.5%/dB und 5%/dB in Sprache (jeweils ohne und mit FM Sys-

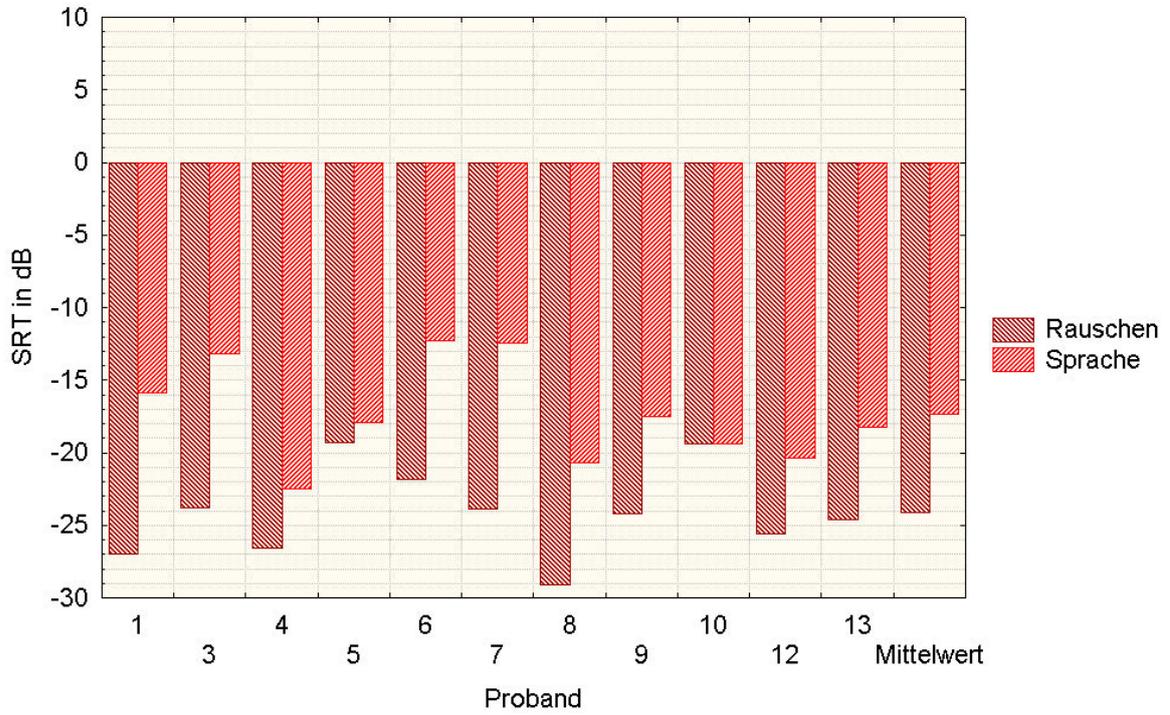


Abbildung 5.3: Sprachverstehen mit FM System Kontrollgruppe

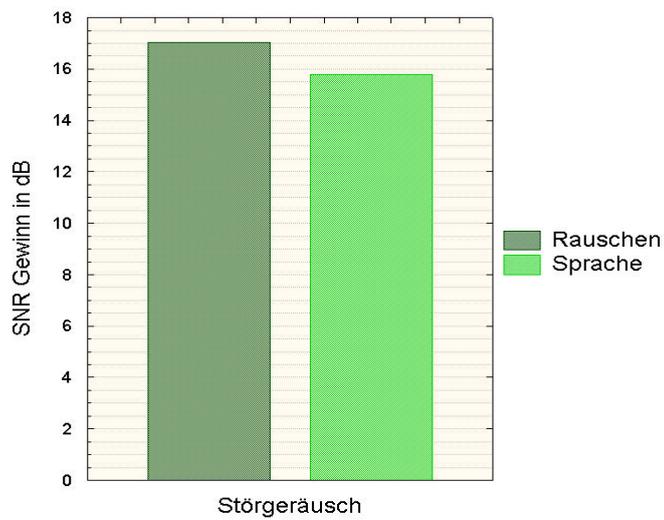


Abbildung 5.4: SNR Gewinn mit FM System Kontrollgruppe

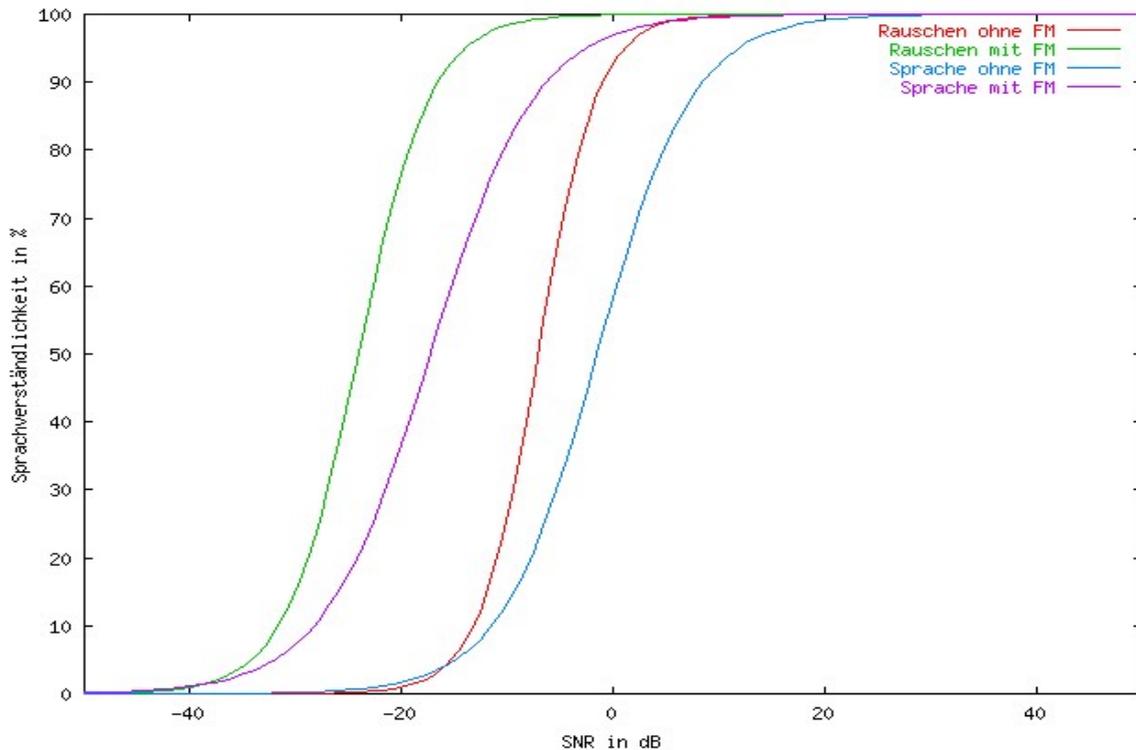


Abbildung 5.5: Sprachverständlichkeitsfunktionen Kontrollgruppe

tem). Daraus ergeben sich die Sprachverständlichkeitsfunktionen nach Gleichung 5.1, wobei p die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass die Wörter eines Satzes oder der komplette Satz richtig nachgesprochen werden und s die Steigung an der 50 % Schwelle [48].

$$p = \frac{1}{1 + e^{4s(SRT-SNR)}} \quad (5.1)$$

Die Ergebnisse aller Messungen sind in Tab. 5.1 auf Seite 41 zusammengefasst.

5.2 Versuchsgruppe

5.2.1 Voruntersuchung

Es wurden 10 Probanden mit AVWS getestet. Ein Kind (Proband 4, vgl. Tabelle 4.1 auf Seite 30) wurde aus der Auswertung genommen, da es zwar in der Schweiz geboren wurde, die ersten zwei Lebensjahre aber in Argentinien verbracht hat und deshalb mit Spanisch aufgewachsen ist. Bei den Sprachverständlichkeitsmessungen konnte nicht ausgeschlossen werden, dass das eingeschränkte Sprachverstehen auf

mangelnde Deutschkenntnisse zurück zu führen ist. Bei den restlichen Probanden wurden alle Voraussetzungen erfüllt. Ausgewertet wurden 9 Probanden, 5 Jungen und 4 Mädchen. Das Durchschnittsalter betrug 9;3 Jahre, das jüngste Kind war 8;4 Jahre alt, das älteste 9;8 Jahre. 6 Kinder gingen in die 2. Klasse, 3 Kinder in die 3. Klasse. Die Klassenverteilung entspricht also sehr gut derjenigen der Kontrollgruppe.

Abb. 5.6 zeigt die Ergebnisse der тонаudiometrischen Voruntersuchung. Auch hier

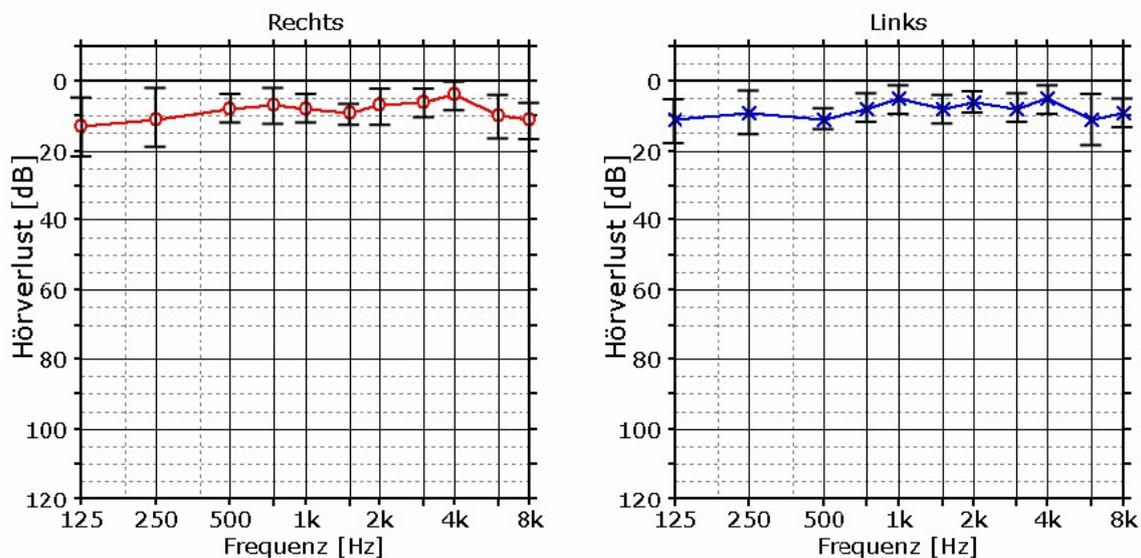


Abbildung 5.6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Tonaudiogramme Versuchsgruppe

waren die Hörschwellen, gemessen über Kopfhörer zwischen 125 Hz und 8000 Hz, bei keiner Frequenz schlechter als 20 dB HL. Die mittlere Standardabweichung (s) beträgt weniger als 5 dB. Auch die Tympanogramme zeigten bei allen Kindern einen normalen Mittelohrdruck und eine normale Compliance. Bei einem Kind (Proband 7) konnte nur von einem Ohr ein Tympanogramm erstellt werden, da es dies als sehr unangenehm empfand und nicht unnötig belastet werden sollte. Auf dem gemessenen Ohr war das Tympanogramm jedoch normal. Bei einem weiteren Kind (Proband 5) war das Gerät zur Aufnahme des Tympanogramms nicht einsatzbereit, so dass hier kein Tympanogramm erstellt werden konnte.

5.2.2 Sprachtest

Auch für die Versuchsgruppe gilt, dass allgemein und für jeden einzelnen Probanden in Sprache als Störgeräusch ein größerer SNR zum Erreichen des SRT nötig war als für Rauschen. Abb. 5.7 zeigt die jeweiligen SRT Werte für die einzelnen Probanden und den Mittelwert. Der durchschnittliche SRT im Rauschen ohne FM System

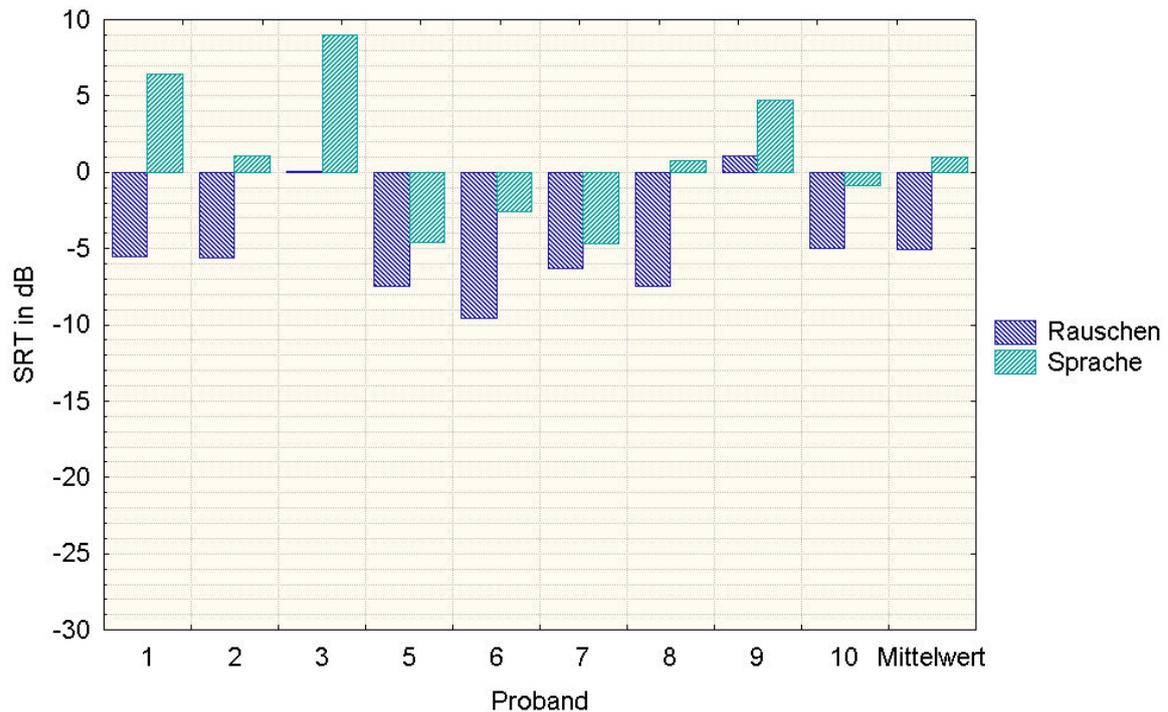


Abbildung 5.7: Sprachverstehen ohne FM System Versuchsgruppe

beträgt -5.1 dB, in Sprache +1.0 dB. Um die selbe Verständlichkeit in Sprache wie in Rauschen zu erzielen muss der SNR also um 4.1 dB verbessert werden. Die mittleren Standardabweichungen liegen bei 3.5 dB im Rauschen und bei 4.8 dB in Sprache.

Mit FM System wird das selbe Sprachverstehen bei wesentlich geringerem SNR erreicht (vgl. Abb. 5.8). Im Durchschnitt liegt der SRT im Rauschen bei -21.4 dB und in Sprache bei -17.3 dB mit einer Standardabweichung von 5.6 dB bzw. 7.0 dB. Der Unterschied zwischen den beiden Störgeräuschsituationen entspricht hier exakt dem ohne FM System und beträgt damit ebenfalls 4.1 dB. Bei zwei Kindern (Proband 3 und 10) ist das Sprachverstehen mit FM System in Sprache besser als in Rauschen, alle anderen Kinder verstehen, wie schon ohne FM System, besser, wenn Rauschen das Störgeräusch darstellt.

Der durchschnittliche SNR Gewinn (16.3 dB für Rauschen und 18.3 dB für Sprache) ist in Abb. 5.9 zu sehen. Zwischen Rauschen und Sprache besteht also eine

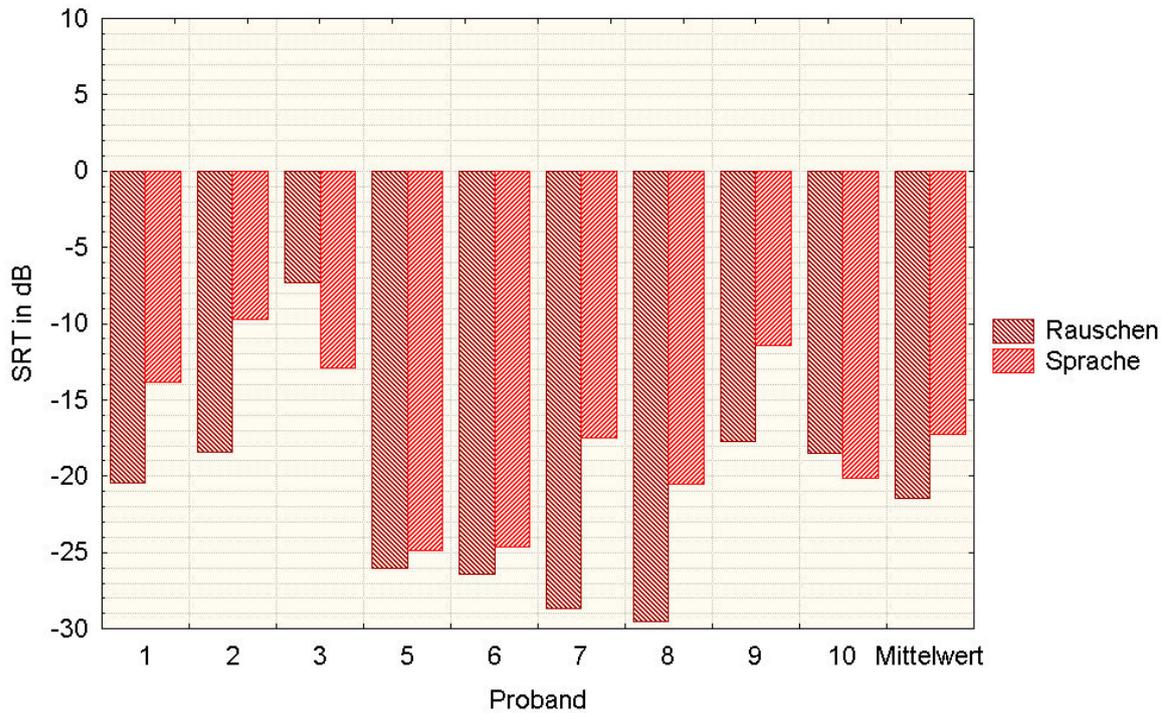


Abbildung 5.8: Sprachverstehen mit FM System Versuchsgruppe

Differenz von 2 dB, wobei hier, anders als bei der Kontrollgruppe der SNR Gewinn mit FM System für das Verstehen in Sprache größer ist. Auch die Sprach-

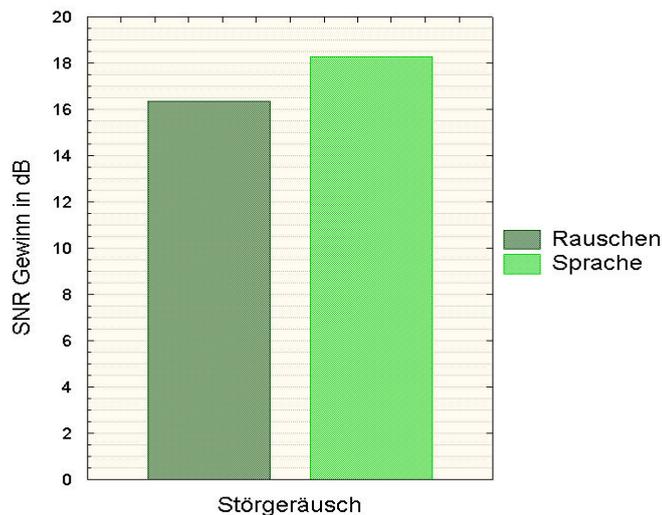


Abbildung 5.9: SNR Gewinn mit FM System Versuchsgruppe

verständlichkeitsfunktionen unterscheiden sich von denen der Kontrollgruppe (vgl. Abb. 5.10). Die jeweiligen Kurven fallen flacher aus. Die Steigungen betragen hier an der 50% Schwelle im Rauschen nur 5.3 %/dB (ohne FM System) bzw. 6.1 %/dB

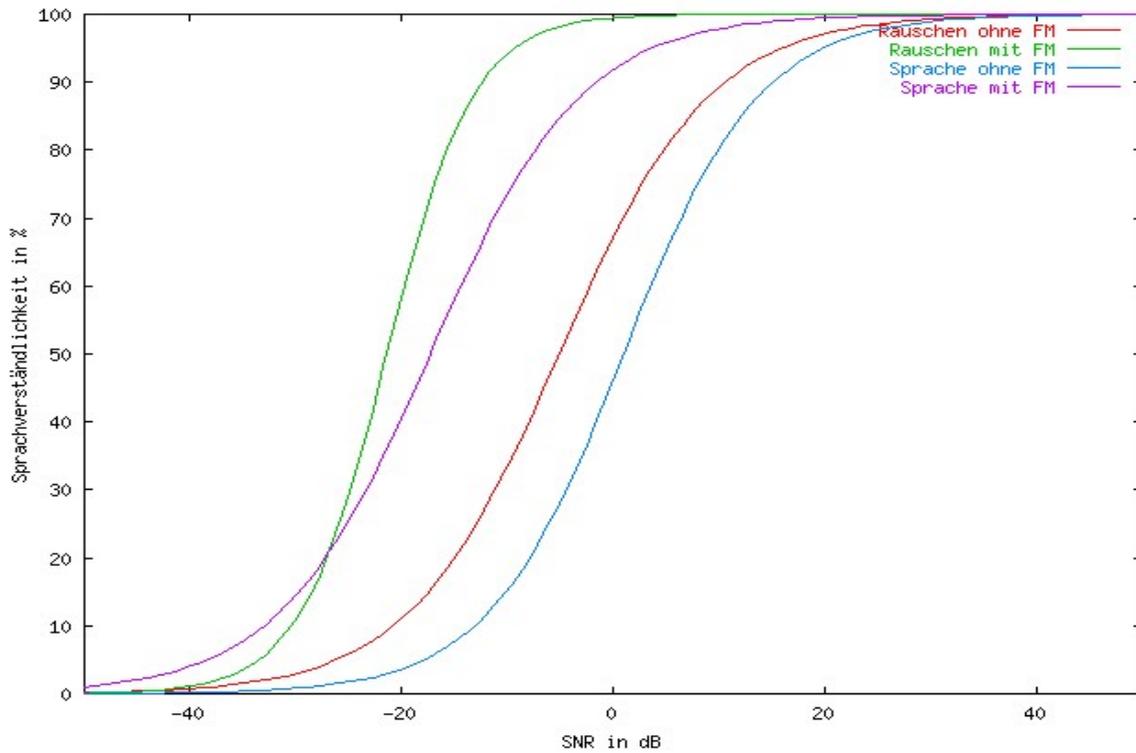


Abbildung 5.10: Sprachverständlichkeitsfunktionen Versuchsgruppe

(mit FM System) und in Sprache 3.9 %/dB (ohne FM System) bzw. 3.5 %/dB (mit FM System). Auch hier ist die Steigung für Sprache als Störgeräusch geringer als für das Rauschen.

Tabelle 5.1 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse.

			\bar{x} in dB	Median in dB	s in dB	Steigung in %/dB
Versuchsgruppe	Rauschen	ohne FM	-5.1	-5.6	3.5	5.3
		mit FM	-21.4	-20.4	7.0	6.1
	Sprache	ohne FM	1.0	0.8	4.8	3.9
		mit FM	-17.3	-17.5	5.6	3.5
Kontrollgruppe	Rauschen	ohne FM	-7.1	-7	1.4	9.0
		mit FM	-24.1	-24.2	3	7.3
	Sprache	ohne FM	-1.5	-2	2	5.5
		mit FM	-17.3	-17.9	3.5	5.0

\bar{x} : arithmetischer Mittelwert s: Standardabweichung

Tabelle 5.1: Zusammenfassung der Messergebnisse

Kapitel 6

Beurteilung der Ergebnisse

Die Beurteilung der Ergebnisse beruht einerseits auf statistischen Methoden um Unterschiede nachweisen zu können, und andererseits auf subjektiven Aussagen für Ergebnisse, die statistisch nicht erfasst werden können.

Wie in Kapitel 5 zu sehen fallen die Ergebnisse der Messungen in den verschiedenen Störgeräuschen interindividuell anders aus. Jedes Kind reagiert anders auf die Umgebungsgeräusche, sei es nun Rauschen oder Sprache. Abb. 6 zeigt die Verteilungen der SRT Werte der beiden Gruppen in den zwei Störgeräuschsituationen ohne FM System. Es ist deutlich zu sehen, dass bei der Versuchsgruppe eine wesentlich flachere Kurve (und somit eine wesentlich größere Standardabweichung) in allen getesteten Situationen zum Vorschein kommt als in der Kontrollgruppe. Ein F-Test ergab, dass die Unterschiede der Varianzen zwischen den beiden Gruppen in beiden Störgeräuschsituationen ohne FM System signifikant sind ($p < 0.05$). Die Messwerte der Versuchsgruppe streuen also viel mehr um den Mittelwert als die der Kontrollgruppe. Deshalb erscheint es sinnvoll nicht nur die Mittelwerte der Ergebnisse zu betrachten, sondern auch auf einzelne Fälle näher einzugehen. Die größeren Streuungen sind auf die vielfältigen Formen, die es bei einer AVWS gibt, zurück zu führen und die damit verbundenen interindividuell unterschiedlichen Resultate beim Sprachverstehen im Störgeräusch. Die unterschiedlichen Formen einer AVWS wurden in Kapitel 2.1 auf Seite 5 bereits angeführt, eine so spezifische Unterteilung wurde bei der Diagnose der hier getesteten Probanden allerdings nicht vorgenommen und ist auch eher im englischen Sprachraum üblich.

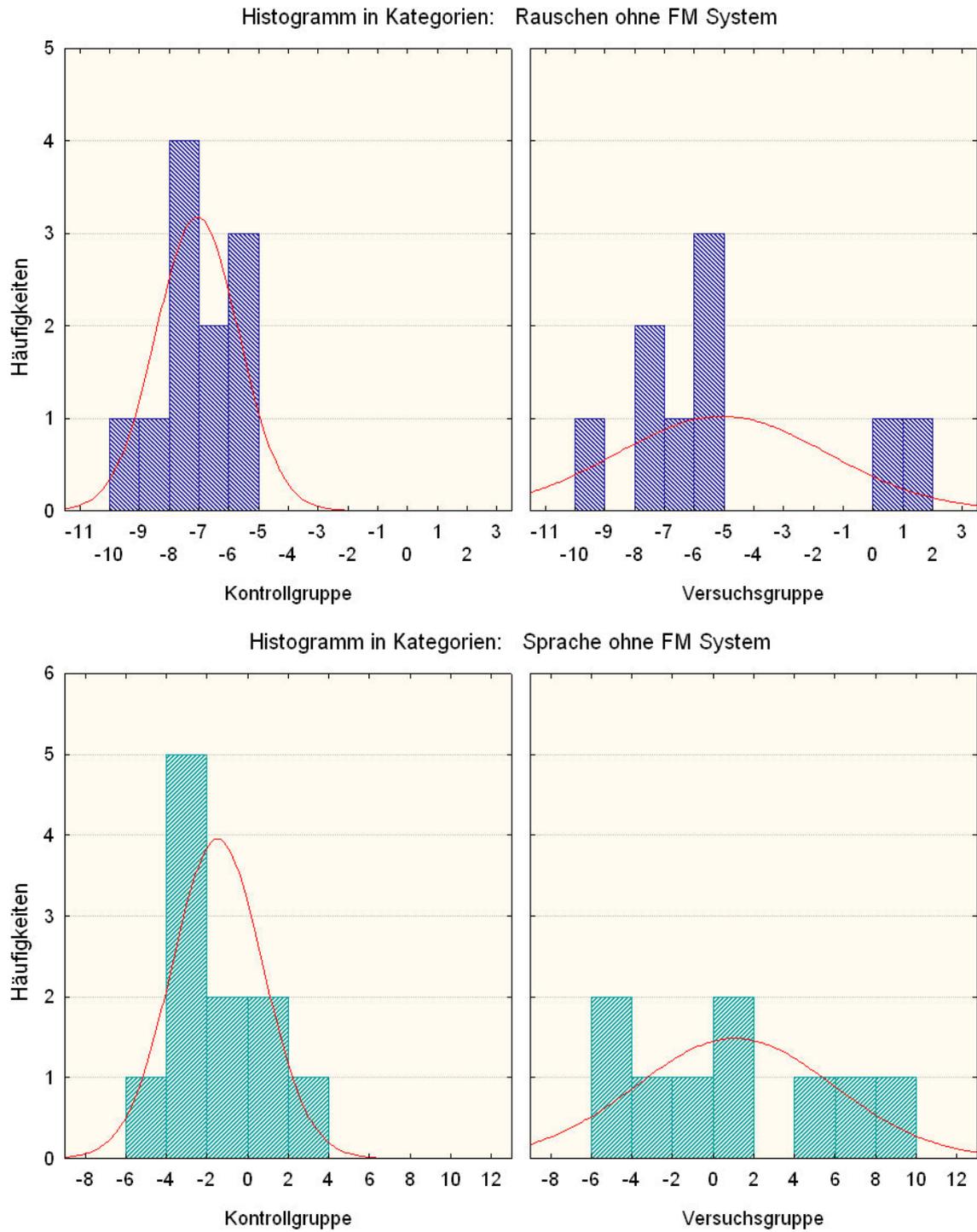


Abbildung 6.1: Häufigkeitsverteilung beider Gruppen ohne FM System

6.1 Beurteilung innerhalb der Gruppen

Die Unterschiede im Sprachverstehen zwischen der Situation ohne und mit FM System sind für beide Störgeräusche und beide Gruppen signifikant ($p < 0.001$ für Rauschen und Sprache bei der Kontrollgruppe, $p < 0.001$ für Rauschen und Sprache bei der Versuchsgruppe). Alle Kinder profitieren also eindeutig vom Einsatz des FM Systems. Es erleichtert damit auch das Sprachverstehen im Schulunterricht. Der durchschnittliche SNR Gewinn von 18.3 dB (vgl. Abb. 5.9 auf Seite 40) für die Versuchsgruppe in Sprache kann die von Rosenkötter [2] zum optimalen Verstehen geforderten 20 dB SNR für Kinder mit AVWS annähernd erfüllen, wenn der vorherrschende SNR im Klassenzimmer nicht kleiner als 0 dB ist, d.h. wenn der Lehrer nicht leiser spricht als die Störgeräusche sind. Insgesamt haben sich alle Kinder sehr schnell an das FM System gewöhnt und alle Kinder empfanden es als angenehm zu tragen.

Für den Vergleich der beiden Störgeräusche ergeben sich ebenfalls signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen. Beide Gruppen verstehen ohne FM System in der Störgeräuschsituation mit Sprache signifikant schlechter als in der Situation mit Rauschen (Kontrollgruppe und Versuchsgruppe: $p < 0.001$). Wenn ein Störgeräusch also Informationsgehalt hat (und damit IM auftritt), sind die Hörbedingungen für alle Kinder schwieriger. Diese signifikanten Unterschiede ergaben sich auch bei Hall et al. [46]. Die getesteten Kinder erreichten in dieser Studie einen SNR Gewinn für Rauschen von 6.7 dB, wobei als Störgeräusche sprachsimulierendes Rauschen und ebenfalls zwei Störsprecher dienten und über Kopfhörer angeboten wurden. In einer Studie von Sperry et al. [33] ergaben die Messungen einen Unterschied von 6 dB zwischen Sprache und sprachsimulierendem Rauschen als Störgeräusch, wobei hier Erwachsene die Testpersonen waren und auch über Kopfhörer gemessen wurde. Diese Ergebnisse stimmen praktisch mit den Ergebnissen der Kontroll- und Versuchsgruppe, die zwischen Sprache und Rauschen einen Unterschied von 5.6 dB bzw. 6.1 dB erreichen, überein. Das schlechtere Abschneiden im Störgeräusch mit den beiden Erzählern ist darauf zurück zu führen, dass es sich hierbei um eine sehr komplexe Aufgabe des Sprachverstehens im Störgeräusch handelt, die besondere Aufmerksamkeit erfordert. In der Situation mit dem Rauschen fällt es den Kindern offenbar leichter auf den Nutzsprecher zu achten. Die beiden Erzähler lenken alle Kinder, sowohl Versuchs- als auch Kontrollgruppe, mehr ab, da das Störgeräusch sinnbehaftet und für die Kinder auch noch interessant ist. Ein Rauschen dagegen hat keinerlei Informationsgehalt und kann deshalb leichter „ignoriert“ werden.

Auch Freyman et al. [45] nehmen an, dass beim Sprachverstehen im Rauschen einfach nur die „Hörbarkeit“ des Nutzsignals und nicht die Aufmerksamkeitfokussierung der entscheidende Faktor zum Verstehen ist.

Mit dem FM System ist der Unterschied zwischen den beiden Störgeräuschsituationen nur für die Kontrollgruppe signifikant ($p < 0.001$), nicht jedoch für die Versuchsgruppe. Die Kontrollgruppe profitiert vom FM System also mehr, wenn Rauschen das Störgeräusch darstellt, die Versuchsgruppe profitiert in beiden Situationen etwa gleich.

Für beide Gruppen ergaben sich in Sprache als Störgeräusch geringere Steigungen bei der Sprachverständlichkeitsfunktion als in Rauschen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass im Rauschen aufgrund der Maskierung aller Frequenzen ein Wort entweder gehört oder nicht gehört wird¹. Bei Sprache als Störgeräusch können je nach Überlagerung höhere oder tiefere Frequenzanteile eines Wortes noch verstanden werden. Dies führt zu einer nicht so eindeutigen Trennung zwischen gehört und nicht gehört. Im Rauschen führt eine Lautstärkeerhöhung zu mehr Verstehen, in Sprache dagegen kann es sein, dass manche Worte nun gehört werden, andere aber wegen des oben genannten Grundes nicht und sich dadurch eine flachere Sprachverständlichkeitsfunktion in Sprache ergibt. Im Vergleich zu den vorläufigen Messungen des Hörzentrums in Oldenburg (vgl. Kapitel 4.3.2 auf Seite 29), wo mit Rauschen als Störgeräusch bei Kindern eine Steigung von 11.1%/dB erreicht wurde fällt hier die Steigung der Messung mit Rauschen ohne FM System bei der Kontrollgruppe etwas flacher aus. Eine größere Steigung wäre wünschenswert gewesen, da die Messgenauigkeit von der Steigung der Diskriminationsfunktion abhängig ist.

Innerhalb der Versuchsgruppe zeigt sich noch eine signifikante Korrelation ($p = 0.017$, $r = 0,73$) zwischen den beiden Störgeräuschen ohne FM System (vgl. Abb. 6.2), die zwar auch bei der Kontrollgruppe vorhanden ($r = 0,47$), jedoch nicht signifikant ist. Man kann also annehmen, dass für Kinder mit AVWS ein verschlechtertes Sprachverstehen im Rauschen auch ein in etwa gleichem Maße verschlechtertes Sprachverstehen in Sprache zur Folge hat. Dies gilt in dieser Weise jedoch nicht für Proband 1 der Versuchsgruppe, wo in Rauschen ein annähernd gutes Sprachverstehen ($SRT = -5.5dB$) erreicht wird, das sich in Sprache überdurchschnittlich verschlechtert ($SRT = +6.4dB$). Dies kann auf eine

¹Der OLSA ist so konzipiert, dass die Verständlichkeit aller getesteten Wörter sehr ähnlich ist. Dadurch wird wiederum eine große Steigung der einzelnen Sätze und Testlisten erreicht.

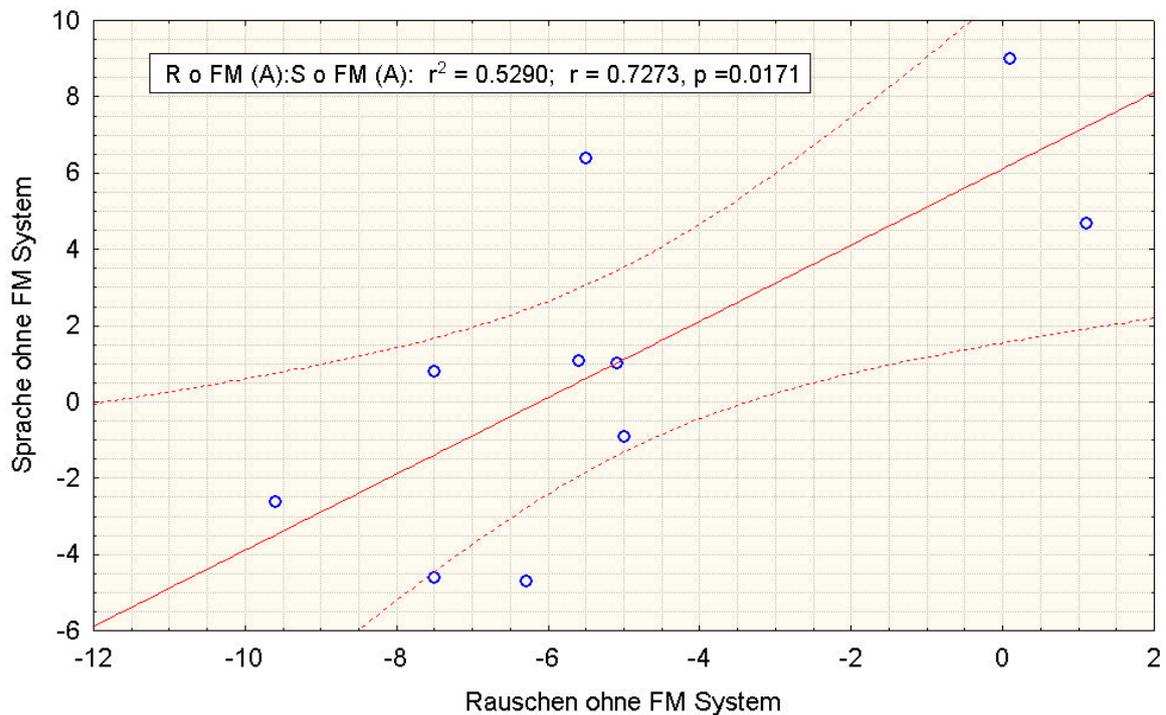


Abbildung 6.2: Korrelation der beiden Störgeräusche in der Versuchsgruppe ohne FM System

bestimmte Form einer AVWS hindeuten, bei der Sprache als Störgeräusch einen wesentlich größeren Störeinfluss hat als Rauschen. Die Krankenakte von Proband 1 sowie aller anderen Probanden der Versuchsgruppe unterteilt die Störung jedoch diesbezüglich nicht weiter, so dass hierzu keine Aussagen getroffen werden können.

6.2 Beurteilung zwischen den Gruppen

Die Kinder der Versuchsgruppe benötigen gegenüber der Kontrollgruppe sowohl im Rauschen als auch in Sprache als Störgeräusch im Durchschnitt einen größeren SNR um 50 % der Wörter richtig zu verstehen (außer in der Situation mit FM System in Sprache). Abb. 6.3 zeigt das Sprachverstehen der beiden Gruppen in allen getesteten Situationen. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sind statistisch jedoch nicht signifikant.

Betrachtet man aber einzelne Probanden der Versuchsgruppe, so erkennt man doch deutliche Unterschiede im Sprachverstehen im Vergleich zur Kontrollgruppe. Proband 1, 3 und 9 der Versuchsgruppe haben ein deutlich reduziertes Sprachverstehen

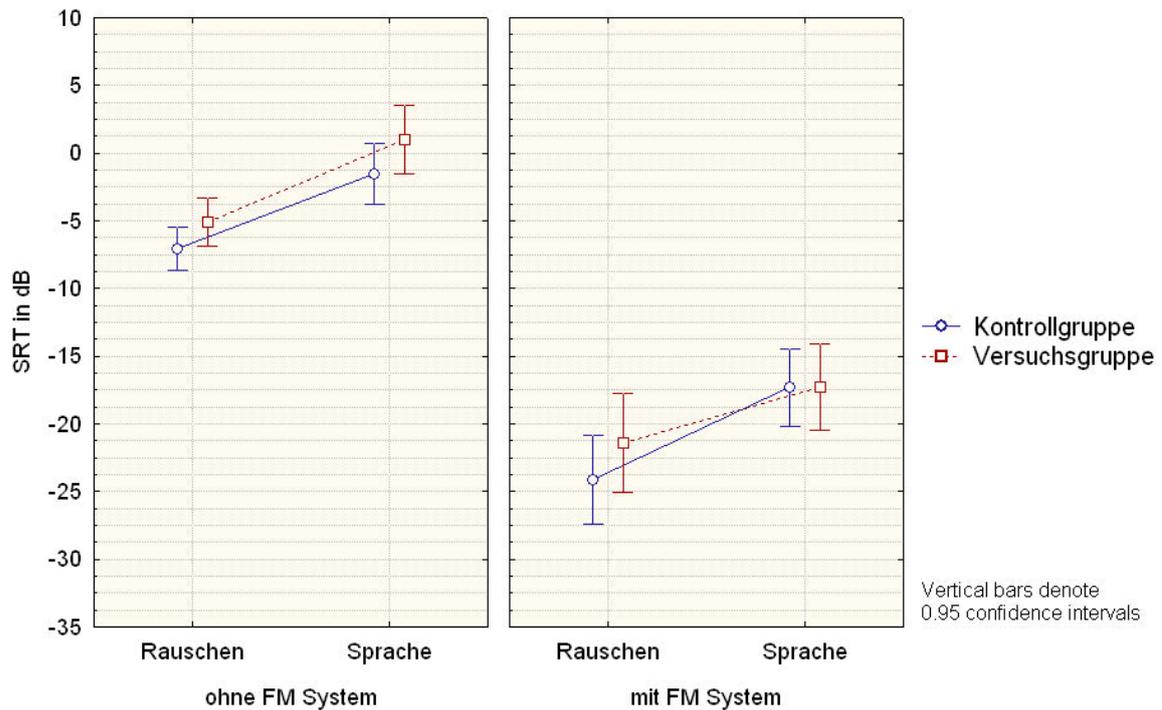


Abbildung 6.3: Sprachverstehen der beiden Gruppen

in Sprache mit einem SRT von +6.4 dB, +9 dB und +4.7 dB, Proband 3 und 9 auch im Rauschen mit einem SRT von +0.1 dB und +1.1 dB. Es kann hier nur wieder vermutet werden, dass diese Kinder eine bestimmte AVWS Form aufweisen, bei der vor allem das Sprachverstehen im Störgeräusch beeinträchtigt ist. Ein Sprachtest im Störgeräusch würde dementsprechend zu einer differenzierteren Diagnose führen. Ohne FM System ist für die Versuchsgruppe ein verbesserter SNR von 2 dB in Rauschen und 2.5 dB in Sprache nötig um das selbe mittlere Sprachverstehen wie die Kontrollgruppe zu erreichen. Die beiden Störgeräusche haben also in etwa die gleiche Wirkung auf beide Gruppen. Man hätte zwischen dem Sprachverstehen der Versuchs- und Kontrollgruppe in Sprache einen größeren Unterschied vermuten können als zwischen dem Sprachverstehen der Versuchs- und Kontrollgruppe in Rauschen, da Kinder mit AVWS häufig ein reduziertes zeitliches Auflösungsvermögen haben und demnach die Pausen und leiseren Anteile im sprachlichen Störgeräusch nicht so gut zum Verstehen des Nutzsignals nutzen können wie Kinder ohne AVWS. Dies zeigt sich jedoch nicht beim Vergleich der Mittelwerte.

Mit FM System beträgt die Differenz des mittleren SRT zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe im Rauschen 2.7 dB, in Sprache 0 dB. Diese Unterschiede zwischen den

beiden Gruppen sind in beiden Störgeräuschsituationen nicht signifikant und lassen darauf schließen, dass Kinder mit AVWS durch die Unterstützung eines FM Systems die gleiche Verbesserung des Sprachverstehens erreichen können wie Kinder ohne AVWS, egal welcher Art das Störgeräusch ist. Betrachtet man die drei Probanden mit Schwierigkeiten beim Verstehen im Störgeräusch (P1, P3, P9) separat, so erreichen diese in der Situation mit Sprache als Störgeräusch einen durchschnittlichen SNR Gewinn von 19.4 dB. Dieser liegt über dem durchschnittlichen SNR Gewinn der Kontrollgruppe für diese Situation (15.8 dB) und zeigt, dass auch AVWS Kinder mit einem verschlechterten Sprachverstehen im Störgeräusch mit FM System ihr Sprachverstehen in gleichem Maße verbessern können wie Kinder ohne AVWS. Im Rauschen zeigten zwei Probanden Schwierigkeiten, davon erreichte P9 in dieser Situation einen SNR Gewinn von 18.8 dB, was wiederum über dem Durchschnitt der Kontrollgruppe (17.0 dB) liegt.² Ein FM System gibt also allen Kindern mit AVWS im Vergleich zu ihren Klassenkameraden ohne AVWS die Möglichkeit den Lehrer im Schulunterricht genauso gut zu verstehen oder den für sie benötigten SNR zu gewährleisten und dadurch den mündlich vermittelten Lernstoff ohne Anstrengungen aufzunehmen.

Die Sprachverständlichkeitsfunktionen haben, wie schon in Kapitel 4.3.2 auf Seite 29 angenommen, bei der Versuchsgruppe eine geringere Steigung als bei der Kontrollgruppe. Die flachere Sprachverständlichkeitsfunktion zeigt sich in allen vier Testsituationen. Das bedeutet, dass man für AVWS Kinder den Pegel vergleichsweise mehr anheben muss, damit sie den gleichen Sprachverständlichkeitszuwachs erhalten wie die Kontrollgruppe. Oder anders ausgedrückt haben bei gleichem Pegelanstieg Kinder mit AVWS einen geringeren Zuwachs an Sprachverstehen als Kinder ohne AVWS. Normal wahrnehmende Kinder benötigen zum Verstehen schon einen größeren SNR als Erwachsene. Kinder mit AVWS benötigen einen noch größeren SNR aufgrund dieser langsamer ansteigenden Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Pegel.

²P3 erreicht im Rauschen nur 7.7 dB SNR Gewinn, hier könnten jedoch Ermüdungserscheinungen eine Rolle gespielt haben, da die Messung mit FM System in Rauschen zum Schluss stattfand. Der erreichte SRT in dieser Situation ist im Vergleich zu allen anderen Probanden wesentlich schlechter, was den SNR Gewinn dementsprechend verringert.

Kapitel 7

Diskussion und Ausblick

Die Messungen mit der Versuchs- und Kontrollgruppe haben gezeigt, dass sich das Sprachverstehen zwischen den beiden Gruppen in beiden Störgeräuschsituationen nicht signifikant unterscheidet. Bei drei Probanden war jedoch gegenüber der Kontrollgruppe ein deutlich schlechteres Sprachverstehen in Sprache zu erkennen. Aufgrund der Heterogenität der Versuchsgruppe bereitet ein Sprachtest im Störgeräusch nicht allen Kindern mit der Diagnose AVWS die gleichen Probleme. Wie die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, können manche Probanden mit der Diagnose AVWS Sprache im Störgeräusch gut verstehen und manche schlecht. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um verschiedene Subtypen von AVWS handelt. Auch für Bellis [4] tritt ein herabgesetztes Sprachverstehen im Störgeräusch nur in drei ihrer Profile auf, nämlich bei der Dekodierungsschwäche, der Integrationschwäche und der Ausdrucks- und Organisationsschwäche. Wie schon im Konsensus Statement [1] erwähnt, kann ein Nachweis oder Ausschluss einer AVWS nicht aufgrund der Aussage eines einzelnen Tests getroffen werden. Ist aber das Ergebnis eines Sprachtests im Störgeräusch zusammen mit anderen Tests auffällig, so liegt eine Diagnose auf AVWS nahe. Handelt es sich bei den hier getesteten drei Probanden mit verringertem Sprachverstehen im Störgeräusch um andere AVWS Profile als bei den restlichen Probanden, so kann das Ergebnis eines Sprachtests im Störgeräusch zur Unterklassifizierung von AVWS beitragen. Ist man sich also bei der Diagnose von AVWS unsicher oder soll vermehrt Wert auf eine Subtypisierung gelegt werden, so ist der Einsatz eines Sprachtests im Störgeräusch sicher hilfreich, da einzelne Kinder dort Defizite aufweisen. Für die Behandlung können dann entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Hat der Patient bei einem Sprachtest in Störgeräusch jedoch keine Schwierigkeiten die Sprache zu verstehen, so kann aufgrund dieses Er-

gebnisses eine AVWS nicht ausgeschlossen werden.

Die Resultate dieser Arbeit zeigen auch, dass ein komplexes Störgeräusch eine größere Maskierungswirkung hat als ein stationäres Rauschen. IM, wie es auch hauptsächlich im Schulunterricht auftritt, erschwert das Zuhören also mehr als reines EM. Wie in Kapitel 2.2 auf Seite 9 erwähnt, ergab die Studie von Shield et al. [18], dass hauptsächlich die Störgeräusche innerhalb des Klassenzimmers das Sprachverstehen verschlechtern. Es ist deshalb besonders für Lehrer wichtig, sich bewusst zu sein, dass das Sprachverstehen von Schulkinder im Klassenzimmer nicht nur durch Geräusche wie Rascheln, Blättern, sich bewegen usw. beeinträchtigt wird, sondern in viel größerem Maße wenn andere Mitschüler untereinander sprechen und damit die Lehrerstimme durch Information maskieren. Die größere Maskierungswirkung für Sprache als für Rauschen gilt jedoch für die Versuchs- und die Kontrollgruppe in gleichem Maße. Lediglich ein Proband der Versuchsgruppe hat den Sprachtest in Rauschen ohne Probleme absolviert, aber bei Sprache als Störgeräusch große Probleme gezeigt. Aufgrund dieser Ergebnisse scheint ein Sprachtest im Rauschen ausreichend um das Sprachverstehen im Störgeräusch zu testen. Es wäre aber sinnvoll in weiterführenden Studien eine größere Anzahl an Probanden zu testen um zu sehen, ob noch mehr Kinder mit AVWS das normale Sprachverstehen in Rauschen, aber ein herabgesetztes Sprachverstehen in Sprache zeigen. Sollte dies der Fall sein, kann der Einsatz eines Störgeräusches mit Information überdacht werden, da damit alle Kinder, die ein verschlechtertes Sprachverstehen im Störgeräusch aufweisen, erfasst werden können. Bei allen Kindern, die in dieser Arbeit getestet wurden, war bei einem verschlechterten Sprachverstehen in Rauschen nämlich auch das Sprachverstehen in Sprache verschlechtert. Es gab also keinen Probanden, der in Sprache gut, aber in Rauschen schlecht verstanden hätte.

Der Oldenburger Satztest als Nutzsignal eignet sich hervorragend für Kinder dieser Altersgruppe. Die Vorteile gegenüber einem Einsilbertest wurden bereits in Kapitel 4.1 auf Seite 17 erläutert. Dieser Satztest wird im Moment, wie schon erwähnt, in einer verkürzten Version, bestehend aus drei Wörtern pro Satz, evaluiert. Für AVWS Kinder mit einer sehr eingeschränkten Hörmerkspanne kann dieser verkürzte Test das geeignete Material zur Bestimmung der Sprachverständlichkeitsschwelle im Störgeräusch darstellen und sollte für einen Einsatz im Bereich der Diagnostik von AVWS in Betracht gezogen werden.

Die Durchführung des Sprachverständlichkeitstests mit FM System zeigte für alle Kinder sehr erfreuliche Ergebnisse, da eine sofortige Verbesserung des Sprach-

verstehens erreicht wurde. Als sehr positiv zu werten ist der Nutzen, den die Versuchsgruppe trotz ihrer Störung aus dem FM System ziehen konnte. Und besonders die drei Probanden, die Probleme beim Verstehen im Störgeräusch aufzeigten, konnten vor allem in der Situation mit Sprache als Störgeräusch im Durchschnitt einen größeren SNR Gewinn erzielen als der Durchschnitt der Kontrollgruppe. Gibt man Kindern mit AVWS also durch technische Hilfsmittel die Möglichkeit Sprache lauter gegenüber dem Störgeräusch zu hören, so gibt man ihnen damit die Möglichkeit ein ausreichendes Sprachverstehen im Schulunterricht zu erreichen. Auch wenn der SNR Gewinn nicht bei jedem Kind gleich groß ist, so kann doch immer ein verbessertes Sprachverstehen erreicht werden. Ein größerer SNR Gewinn könnte noch durch eine Erhöhung der Lautstärke des FM Systems erreicht werden, wobei aber darauf geachtet werden muss, dass der maximale Ausgangspegel und damit die Unbehaglichkeitsschwelle des Kindes nicht überschritten wird ¹.

Hinsichtlich der Zielsetzung dieser Diplomarbeit kann zusammenfassend gesagt werden, dass Kindern Störgeräusche mit Informationsgehalt mehr Schwierigkeiten beim Sprachverstehen bereiten als Störgeräusche ohne Informationsgehalt. Dabei haben Kinder mit AVWS im Durchschnitt nur geringfügig größere Probleme als Kinder ohne AVWS. Einzelne Kinder mit AVWS zeigen jedoch enorme Schwierigkeiten. Ein Sprachtest im Störgeräusch sollte deswegen bei der Diagnose von AVWS zum Einsatz kommen um Kinder mit diesen Defiziten zu erkennen. Zusätzlich zu Interventionen, die die Auditive Verarbeitung- und Wahrnehmung verbessern, kann dann der Einsatz eines FM Systems als technisches Hilfsmittel in Erwägung gezogen werden. Dies trägt zweifellos zum besseren Sprachverstehen in geräuschvollen Situationen wie im Schulunterricht bei. Ein Sprachtest mit einem Störgeräusch mit Informationsgehalt scheint nicht zwingend notwendig zu sein, es gibt aber Kinder mit AVWS, bei denen aufgrund eines Sprachtests mit Rauschen kein Defizit beim Sprachverstehen im Störgeräusch feststellbar ist, dieses Defizit aber bei Sprache als Störgeräusch sehr wohl vorhanden ist. Es wäre interessant, aufgrund der großen Varianzen der Versuchsgruppe die Messungen mit einer größeren Anzahl an Kindern fortzuführen und so die Ergebnisse statistisch besser abzusichern.

¹Nebenbei bemerkt würden auch alle Kinder ohne AVWS von einem FM System profitieren und der Lehrer könnte seine Stimme schonen, wenn der Störgeräuschpegel im Klassenzimmer hoch ist!

Anhang A

Einweisung der Probanden

Einweisung in den Hörtest

Dies ist ein Test um festzustellen, wie gut du Sprache in geräuschvoller Umgebung verstehen kannst.

Dazu hörst du aus dem vorderen Lautsprecher verschiedene Sätze, die aus 5 Wörtern bestehen und immer gleich aufgebaut sind. Z.B. Ulrich schenkt sieben schwere Sessel oder Britta malt zwei teure Steine. Die Sätze ergeben nicht immer einen Sinn.

Du sollst den Satz nachsprechen, wenn er zu Ende ist. Wenn du nicht den ganzen Satz verstanden hast, dann sprich bitte alle einzelnen Wörter nach, die du verstanden hast.

Aus den seitlichen Lautsprechern hörst du ein Rauschen / Aus dem rechten Lautsprecher hörst du eine Frau, die eine Geschichte erzählt und aus dem linken Lautsprecher einen Mann, der eine andere Geschichte erzählt. Bitte konzentriere dich auf den Sprecher aus dem vorderen Lautsprecher.

Während der Messung wird die Lautstärke des vorderen Lautsprechers verändert. Der Sprecher kann teilweise sehr leise sein. Lass dich dadurch nicht entmutigen, und sprich einfach so viel nach, wie du verstehst.

Zwischendurch machen wir immer wieder eine Pause.

Setze dich jetzt bequem auf den Stuhl, so dass du dich während des Tests nicht bewegen musst. Es ist wichtig, dass du ruhig auf dem Stuhl sitzt und den Kopf nicht bewegst. Wenn du das Bild am Lautsprecher anschaut hat dein Kopf genau die richtige Position.

Wir fangen mit einem Probedurchlauf an, damit du mit den Sätzen vertraut wirst.

Möchtest du noch etwas wissen?

Anhang B

Ergebnisse aller Messungen

B.1 Sprachtest Kontrollgruppe

	OLSA in Rauschen					
	ohne FM System			mit FM System		
Proband	SRT	+ 2 dB	- 2 dB	SRT	+ 2 dB	- 2 dB
P1	-6.8	70%	52%	-27	38%	13%
P3	-7.9	67%	34%	-23.8	54%	33%
P4	-9.5	64%	25%	-26.6	44%	16%
P5	-7.7	61%	25%	-19.3	67%	47%
P6	-8.5	70%	20%	-21.8	65%	30%
P7	-6.8	58%	26%	-23.9	45%	13%
P8	-5.5	66%	23%	-29.1	57%	17%
P9	-5	57%	31%	-24.2	90%	54%
P10	-5.4	80%	60%	-19.4	85%	63%
P12	-7.7	80%	27%	-25.6	62%	36%
P13	-7	72%	32%	-24.6	61%	32%
Mittelwert	-7.1	68%	32%	-24.1	61%	32%
Std.abw.	1.4	8%	13%	3.0	16%	17%

	OLSA in Sprache					
	ohne FM System			mit FM System		
Proband	SRT	+ 2 dB	- 2 dB	SRT	+ 2 dB	- 2 dB
P1	-0.1	50%	44%	-15.9	59%	30%
P3	-3	70%	49%	-13.2	49%	43%
P4	-2	70%	57%	-22.5	66%	31%
P5	0	72%	42%	-17.9	79%	45%
P6	-3.8	74%	28%	-12.3	59%	40%
P7	-2.9	61%	43%	-12.4	53%	32%
P8	0.1	43%	59%	-20.7	61%	40%
P9	2.2	63%	47%	-17.5	67%	38%
P10	-3.2	62%	34%	-19.4	53%	36%
P12	-4.8	65%	20%	-20.4	62%	46%
P13	0.8	70%	44%	-18.2	45%	49%
Mittelwert	-1.5	64%	42%	-17.3	59%	39%
Std.abw.	2.2	10%	12%	3.5	9%	6%

B.2 Sprachtest Versuchsgruppe

	OLSA in Rauschen					
	ohne FM System			mit FM System		
Proband	SRT	+ 2 dB	- 2 dB	SRT	+ 2 dB	- 2 dB
P1	-5.5	65%	37%	-20.4	69%	39%
P2	-5.6	58%	34%	-18.4	53%	52%
P3	0.1	33%	35%	-7.3	59%	49%
P5	-7.5	55%	22%	-26	58%	36%
P6	-9.6	61%	19%	-26.4	70%	33%
P7	-6.3	47%	23%	-28.7	77%	47%
P8	-7.5	62%	49%	-29.5	48%	27%
P9	1.1	67%	54%	-17.7	64%	52%
P10	-5	60%	38%	-18.5	63%	53%
Mittelwert	-5.1	56%	35%	-21.4	62%	43%
Std.abw.	3.5	11%	12%	7.0	9%	10%

OLSA in Sprache						
	ohne FM System			mit FM System		
Proband	SRT	+ 2 dB	- 2 dB	SRT	+ 2 dB	- 2 dB
P1	6.4	56%	56%	-13.8	32%	24%
P2	1.1	55%	45%	-9.7	50%	43%
P3	9	48%	33%	-12.9	34%	37%
P5	-4.6	52%	35%	-24.9	57%	36%
P6	-2.6	61%	42%	-24.6	60%	36%
P7	-4.7	63%	38%	-17.5	58%	38%
P8	0.8	66%	55%	-20.5	59%	40%
P9	4.7	43%	46%	-11.4	66%	39%
P10	-0.9	49%	37%	-20.1	43%	38%
Mittelwert	1.0	55%	43%	-17.3	51%	37%
Std.abw.	4.8	8%	8%	5.6	12%	5%

B.3 Tonaudiometrische Messung Kontrollgruppe

rechts											
Frequenz in Hz	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
P1	5	15	10	10	10	15	10	10	5	15	5
P3	15	15	10	10	10	5	10	0	0	5	10
P4	10	15	15	10	10	15	0	15	10	20	10
P5	5	5	5	5	10	15	15	10	10	10	0
P6	15	10	15	20	20	15	15	10	5	5	15
P7	15	5	0	10	10	10	5	5	5	10	15
P8	10	10	5	10	10	15	10	15	0	10	10
P9	20	20	20	20	15	10	10	15	10	10	15
P10	20	10	10	15	10	20	15	15	5	15	5
P12	5	0	5	0	0	5	0	-5	-5	5	0
P13	10	10	5	5	5	5	5	0	0	5	0
Mittelwert	11.8	10.5	9.1	10.5	10.0	11.8	8.6	8.2	4.1	10.0	7.7
Std.abw.	5.3	5.4	5.6	5.8	4.8	4.9	5.3	6.8	4.7	4.8	5.8

links											
Frequenz in Hz	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
P1	10	10	0	10	5	5	0	0	0	5	0
P3	15	20	20	20	15	10	10	10	10	10	10
P4	10	10	10	15	5	0	0	10	5	10	15
P5	10	10	15	10	10	10	10	5	5	10	5
P6	10	10	10	5	5	0	0	0	5	5	10
P7	5	5	10	5	5	5	0	0	0	0	0
P8	5	10	10	5	10	10	10	15	5	15	15
P9	20	20	20	20	20	15	10	10	10	15	20
P10	20	15	15	20	10	10	15	10	5	5	15
P12	0	0	-5	0	0	0	0	0	-5	-5	0
P13	5	5	10	5	5	10	5	0	0	10	10
Mittelwert	10.0	10.5	10.5	10.5	8.2	6.8	5.5	5.5	3.6	7.3	9.1
Std.abw.	6.0	5.8	7.2	6.9	5.3	4.9	5.4	5.4	4.3	5.8	6.7

B.4 Tonaudiometrische Messung Versuchsgruppe

rechts											
Frequenz in Hz	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
P1	20	10	10	10	5	10	10	10	5	15	20
P2	20	15	15	15	15	10	10	10	10	10	5
P3	15	15	5	0	10	10	0	5	5	10	10
P5	20	20	10	10	10	15	5	5	0	10	15
P6	15	10	5	5	5	10	10	10	10	20	15
P7	15	20	10	5	10	10	15	10	5	5	10
P8	0	5	10	5	0	5	0	5	5	10	10
P9	5	0	5	10	10	10	5	0	0	10	5
P10	5	0	0	0	5	5	5	0	0	0	5
Mittelwert	12.78	10.6	7.78	6.67	7.78	9.44	6.67	6.11	4.44	10	10.6
Std.abw.	7.115	7.24	4.16	4.71	4.16	2.83	4.71	3.93	3.69	5.27	4.97

links											
Frequenz in Hz	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
P1	20	10	10	10	0	10	10	10	5	5	5
P2	15	20	15	15	10	15	10	10	10	20	15
P3	15	5	5	10	5	10	5	5	5	10	10
P5	10	10	10	10	5	0	5	5	5	5	5
P6	10	5	10	10	10	10	0	15	10	20	10
P7	15	15	15	10	5	5	10	5	10	15	10
P8	0	10	10	0	5	10	5	10	0	0	10
P9	5	5	10	5	5	5	5	5	0	10	5
P10	10	0	10	5	0	5	5	10	0	10	15
Mittelwert	11.11	8.89	10.6	8.33	5	7.78	6.11	8.33	5	10.6	9.44
Std.abw.	5.666	5.67	2.83	4.08	3.33	4.16	3.14	3.33	4.08	6.43	3.69

Literaturverzeichnis

- [1] Ptok, M. et al. (2000); Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen
Konsensus-Statement. HNO, 48, 357-360
- [2] Rosenkötter, H. (2003); Auditive Wahrnehmungsstörungen.
Stuttgart:Klett-Cotta
- [3] Esser, G. et al. (1987); Auditive Wahrnehmungsstörungen und Fehlhörigkeit
bei Kindern im Schulalter. Sprache, Stimme, Gehör, 11, 10-16
- [4] Bellis, T.J. (1996); Assessment and management of Central Auditory
Processing Disorders in the educational setting: From science to practice. San
Diego CA:Singular
- [5] Bradley, J., Reich, R.D., Norcross, S.G. (1999); On the combined effects of
signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. Journal of the
Acoustical Society of America, 106 (4), 1820-1828
- [6] Crandell, C.C., Smaldino, J.J. (2000); Classroom acoustics for children with
normal hearing and with hearing impairment; Language, Speech, and
Hearing Services in Schools, 31, 362-370
- [7] Kodaras, M. (1960); Reverberation times of typical elementary school settings.
Noise Control, 6, 17-19
- [8] Nabelek, A., Picket, J. (1974); Monaural and binaural speech perception
through hearing aids under noise and reverberation with normal and hearing-
impaired listeners. Journal of Speech and Hearing Research, 17, 724-739
- [9] McCroskey, F., Devens, J. (1975); Acoustic characteristics of public school
classrooms constructed between 1890 and 1960. NOISEXPO Proceedings,
101-103

- [10] Bradley, J. (1986); Speech intelligibility studies in classrooms. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80, 846-854
- [11] Crandell, C.C., Smaldino, J.J. (1994); The importance of room acoustics. In: *Assistive listening devices for hearing impaired*, Tylor und D. Schum (Eds.), Baltimore, MD:Williams and Wilkins, 142-164
- [12] Klatte, M. et al. (2002); Akustik in Schulen: Könnt ihr denn nicht zuhören? *Einblicke, Forschungsmagazin der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*, 35, 4-8
- [13] Norm DIN 18041 (2004). Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen.
- [14] Acoustical Society of America, ASA (2000); Classroom acoustics. A resource for creating learning environments with desirable listening conditions. Internet: <http://asa.aip.org/classroom/booklet.html>
- [15] Department for Education and Employment (2001). Acoustic design of schools, Building Bulletin 93. London:The Stationary Office.
- [16] Swedish Standard Institution (2001). Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings . SIS, SS 02 52 68.
- [17] Sennheiser. Soundfield Systeme im Schulunterricht - Vom Rohrstock zum Mikrofon. Internet: <http://www.sennheiser.com>
- [18] Shield, B., Dockrell, J. (2004); External and internal noise surveys of London primary schools. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115 (2), 730-738
- [19] Nober, L., Nober, E. (1975); Auditory discrimination of learning disabled children in quiet and classroom noise. *Journal of Learning Disabilities*, 8, 656-773
- [20] Bess, F., Sinclair, J., Riggs, D. (1984); Group amplification in schools for the hearing-impaired. *Ear and Hearing*, 5, 138-144
- [21] Finitzo-Hieber, T. (1988); Classroom acoustics. In: *Auditory disorders in school children* (2nd ed.), R. Roeser (Ed.), New York:Thieme-Stratton, 221-233
- [22] Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2003); Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), Schutz gegen Lärm, §15

- [23] Nilsson, M., Soli, S. D., Sullivan, J. (1994); Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95, 1085-1099.
- [24] Roy, N. et al. (2004); Voice disorders in teachers and the general population: Effects on work performance, attendance, and future career choices. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47 (3), 542-551
- [25] Rosenberg, G. (2002); Classroom acoustics and personal FM Technology in management of Auditory Processing Disorder. In: *Seminars in Hearing: Management of Auditory Processing Disorders*, G. Chermak (ed.), 23 (4), New York:Thieme, 309-317.
- [26] Bellis, T. (2002); *When the brain can't hear - Unravelling the mystery of Auditory Processing Disorder*. New York:Atria Books.
- [27] Chermak, G., Musiek, F. (1997); *Central Auditory Processing Disorders - New Perspectives*. San Diego:Singular.
- [28] Durlach, N. et al.(2003); Note on informational masking (L). *Journal of the Acoustical Society of America*, 113 (6), 2984-2987
- [29] Brungart, D. (2001); Informational and energetic masking effects in the perception of two simultaneous talkers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109 (3), 1101-1109
- [30] Brungart, D. et al.(2001); Informational and energetic masking effects in the perception of multiple simultaneous talkers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110 (5), 2527-2538
- [31] Peters, R., Moore, B., Baer, T. (1998); Speech reception thresholds in noise with and without spectral and temporal dips for hearing-impaired and normal hearing people. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103 (1), 577-587
- [32] Van Summers, M. (2004); Speech recognition in fluctuating and continuous maskers: Effects of hearing loss and presentation level. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 245-256
- [33] Sperry, J., Wiley, T., Chial, M. (1997); Word recognition performance in various background competitors. *Journal of the American Academy of Audiology*, 8, 71-80

- [34] Bronkhorst, A. (1992); Effect of multiple speechlike maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92 (6), 3132-3139
- [35] Wagener, K., Brand, T., Kollmeier, B. (2004); Sprachtests für Kinder in Ruhe und im Störgeräusch. Vortrag 7. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA), *Zeitschrift für Audiologie*, im Druck.
- [36] HörTech GmbH (2000); Oldenburger Satztest - Handbuch und Hintergrundwissen. Internet:
<http://www.hoertech.hausdeshoerens-oldenburg.de>
- [37] Scott, S. et al. (2004); A positron emission tomography study of the neural basis of informational and energetic masking effects in speech perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115 (2), 813-821
- [38] Kollmeier, B.; Psychophysik des normalen und gestörten Gehörs. Vorlesungsscript Audiologie, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Internet: <http://www.physik.uni-oldenburg.de>
- [39] Festen, J., Plomp, R. (1990); Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech reception threshold for impaired and normal hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 1725-1736
- [40] Carhart, R., Johnson, C., Goodman, J. (1975); Perceptual masking of spondees by combinations of talkers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 58, 535
- [41] Funke, C. (2002); Die wilden Hühner auf Klassenfahrt. Hörbuch, Jumbo
- [42] Arold, M. (2004); Gespensterpark - Die Verschwörung der Geister. Hörbuch, gelesen von Ptok, F., Igel Records
- [43] Stangl, W. (2004); Störungen der Aufmerksamkeit - Konzentrationsstörungen. Internet: <http://www.stangl-taller.at>
- [44] Stangl, W. (2004); Aufmerksamkeit. Internet: <http://www.stangl-taller.at>
- [45] Freyman, R., Balakrishnan, U., Helfer, S. (2004); Effect of number of masking talkers and auditory priming on informational masking in speech recognition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115 (5), 2246-2256

- [46] Hall, J. et al. (2002); Spondee recognition in a two-talker masker and a speech-shaped noise masker in adults and children. *Ear and Hearing*, 23, 159-165
- [47] Syntrillium Software Corporation (1997); CoolEdit Pro. Bedienungsanleitung, deutsche Übersetzung: Hyperactive Audiotechnik GmbH 1999.
- [48] Brand, T., Kollmeier, B. (2002); Efficient adaptive procedures for threshold and concurrent slope estimates for psychophysics and speech intelligibility tests. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111 (6), 2801-2810

Abbildungsverzeichnis

2.1	Teilfunktionen nach Esser et al. (1987) [3]	7
4.1	OLSA Sätze	18
4.2	Spektrum des männlichen Störsprechers	21
4.3	Spektrum des weiblichen Störsprechers	22
4.4	Spektrum des OLSA Rauschens	22
4.5	EduLink S Empfänger	24
4.6	Campus S und MiniBoom Mikrofon	24
4.7	Messaufbau	25
5.1	Mittelwerte und Standardabweichungen der Tonaudiogramme Kontrollgruppe	34
5.2	Sprachverstehen ohne FM System Kontrollgruppe	35
5.3	Sprachverstehen mit FM System Kontrollgruppe	36
5.4	SNR Gewinn mit FM System Kontrollgruppe	36
5.5	Sprachverständlichkeitsfunktionen Kontrollgruppe	37
5.6	Mittelwerte und Standardabweichungen der Tonaudiogramme Versuchsgruppe	38
5.7	Sprachverstehen ohne FM System Versuchsgruppe	39
5.8	Sprachverstehen mit FM System Versuchsgruppe	40
5.9	SNR Gewinn mit FM System Versuchsgruppe	40
5.10	Sprachverständlichkeitsfunktionen Versuchsgruppe	41
6.1	Häufigkeitsverteilung beider Gruppen ohne FM System	43
6.2	Korrelation der beiden Störgeräusche in der Versuchsgruppe ohne FM System	46
6.3	Sprachverstehen der beiden Gruppen	47

Tabellenverzeichnis

3.1	Anforderungen an die Probanden	15
4.1	Verwürfelung der Messungen	30
5.1	Zusammenfassung der Messergebnisse	41

Danksagung

Danken möchte ich allen Personen, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt der Firma Phonak und meinem Betreuer Dr. Jürgen Tchorz, sowie allen Mitarbeitern, die für Fragen stets ein offenes Ohr hatten.

Für die Hilfe bei der Probandensuche möchte ich Fr. Erika Gruner und deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern vom Universitätsspital Zürich ganz herzlich danken, sowie den beteiligten Lehrerinnen und Lehrern der Ilgen Primarschule Zürich.

Ausserdem danken möchte ich der ganzen LEA Gruppe des Unispitals Zürich für ein sehr angenehmes Arbeitsumfeld während der Diplomarbeit. Besonderer Dank gilt PD Dr. Norbert Dillier für die Bereitstellung des Messraumes, Dr. Wai-Kong Lai für die Hilfe beim Messaufbau sowie Dr. Mattia Ferrazzini und Christoph Wille für den Arbeitsplatz in ihrem Büro.

Diese Diplomarbeit wäre ohne die Probanden nicht möglich gewesen. Deshalb danke ich allen Kindern, die an den Messungen teilgenommen haben, sowie deren Eltern.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben.