

Aus der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie  
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Geschäftsführende Direktorin: Univ.-Prof. Dr. med. R. Berger

In Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,  
Standort Marburg

„Untersuchung zum Sprachverständnis im Störgeräusch  
mit dem Oldenburger Satztest (OLSA)  
mit und ohne FM-Anlage“

# Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

---

Sarah Wiehe geb. Karting  
aus  
Achim

Marburg 2010

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am  
16.11.2010.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referentin: Prof. Dr. R. Berger

Korreferentin: Prof. Dr. S. Knake

Meinem Ehemann Steffen gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Anmerkungen .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Die auditive Verarbeitung und Wahrnehmung.....</b>	<b>5</b>
2.1 Theoretische Grundlagen .....	5
2.1.1 Definition der verwendeten Begriffe .....	5
2.1.2 Die periphere Hörbahn .....	5
2.1.3 Die zentrale Hörbahn .....	9
2.1.4 Die kindliche Entwicklung des Hörens und der Sprache .....	13
2.1.5 Funktionen der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung .....	15
2.2 Die auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS) .....	18
2.2.1 Darstellung der bisherigen Terminologien.....	19
2.2.2 Mögliche Ursachen .....	21
2.2.3 Symptomatik .....	22
2.2.4 Diagnostik .....	23
2.2.5 Therapeutische Ansätze.....	29
2.3 Wirkweise und Funktion der FM-Anlage.....	32
2.4 Fragestellungen.....	34
<b>3 Methoden .....</b>	<b>35</b>
3.1 Zusammenstellung der Stichprobe.....	35
3.2 Konzeption des Oldenburger Satztests (OLSA) .....	37
3.2.1 Das Sprachmaterial.....	37
3.2.2 Das Störgeräusch .....	38
3.2.3 Optimierung der Testeigenschaften .....	39
3.3 Verwendete Geräte .....	40
3.4 Versuchsaufbau und Durchführung.....	41
3.5 Auswertung .....	44

<b>4 Ergebnisse</b> .....	<b>46</b>
4.1 Deskriptive Statistik .....	46
4.1.1 Beschreibung der Stichprobe .....	46
4.1.2 Beschreibung der erhobenen Parameter .....	48
4.2 Induktive Statistik .....	56
4.2.1 Verbessert eine FM-Anlage den Signal-Rausch-Abstand? .....	56
4.2.2 Sind die Testergebnisse altersabhängig? .....	56
4.2.3 Besteht ein Unterschied zwischen gesunden und auffälligen Kindern in Bezug auf die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes? .....	59
4.3 Weitere Untersuchungen.....	60
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>63</b>
5.1 Reflexion methodischer Aspekte .....	63
5.2 Diskussion der Ergebnisse .....	65
5.2.1 Verbessert eine FM-Anlage den Signal-Rausch-Abstand? .....	65
5.2.2 Sind die Testergebnisse altersabhängig? .....	69
5.2.3 Besteht ein Unterschied zwischen gesunden und auffälligen Kindern in Bezug auf die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes? .....	70
5.2.4 Diskussion der zusätzlichen Untersuchungen.....	71
5.3 Limitationen .....	73
5.4 Klinische Perspektiven .....	75
<b>6 Zusammenfassung</b> .....	<b>80</b>
<b>6 Summary</b> .....	<b>82</b>
<b>7 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>84</b>
<b>8 Danksagung</b> .....	<b>97</b>
<b>9 Anhang</b> .....	<b>i</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Verminderung des Nutzschnallpegels bei zunehmender Distanz.....	2
Abb. 2.1	Querschnitt durch die Cochlea.....	7
Abb. 2.2	Querschnitt durch das Corti-Organ.....	8
Abb. 2.3	Vereinfachtes Schema der zentralen Hörbahn.....	11
Tab. 2.4	Hierarchische Zuordnung der Teilleistungen.....	18
Abb. 2.5	Darstellung der mit verschiedenen Untersuchungsverfahren überprüf- baren Teilaspekte der auditiven Wahrnehmung.....	28
Tab. 3.1	Basisliste des OLSA.....	38
Tab. 3.2	Adaptive Pegeländerungen in Abhängigkeit des Wortver- ständnisses.....	42
Graphik 4.1	Alters- und Geschlechterverteilung in der Stichprobe.....	47
Graphik 4.2	Alters- und Geschlechterverteilung in den Subgruppen.....	47
Tab. 4.3	Zuordnung der verschiedenen Diagnosen zu den Subgrup- pen.....	48
Tab. 4.4	Lage- und Streuungsparameter für die Variable OLSAsine in den Subgruppen.....	49
Graphik 4.5	Häufigkeitsverteilung der Variablen OLSAsine in den Sub- gruppen.....	50
Tab. 4.6	Lage- und Streuungsparameter für die Variable OLSA cum - gesamt und in den Subgruppen.....	51
Graphik 4.7	Häufigkeitsverteilung der Variablen OLSAcum.....	52
Tab. 4.8	Lage- und Streuungsparameter für die Variable diffSVS - gesamt und in den Subgruppen.....	53
Graphik 4.9	Häufigkeitsverteilung der Variablen diffSVS in der Stich- probe.....	54
Graphik 4.10	Häufigkeitsverteilung der Variablen diffSVS in den Sub- gruppen.....	54
Tab. 4.11	Lage- und Streuungsparameter für die Variable preOLSA - gesamt und in den Subgruppen.....	55
Graphik 4.12	Häufigkeitsverteilung der Variablen preOLSA in den beiden Fallgruppen.....	56
Tab. 4.13	Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen für den Zusam- menhang zwischen Alter und den Parametern OLSAsine, OLSAcum und diffSVS – gesamt und in den Subgruppen...	57
Graphik 4.14	Alterskorrelierte Darstellung der Variablen OLSAsine.....	58
Graphik 4.15	Alterskorrelierte Darstellung der Variablen OLSAcum.....	58
Graphik 4.16	Alterskorrelierte Darstellung der Variablen diffSVS.....	59
Graphik 4.17	Gegenüberstellung der Variablen OLSAsine und OLSAcum - in den jeweiligen Subgruppen.....	60
Tab. 4.18	Signifikanzen für den Gruppenvergleich der Variablen diffSVS.....	60
Tab. 4.19	p-Werte für den Vergleich des Mittelwerts aus [99] mit dem unserer Subgruppen.....	61
Tab. 4.20	Alterskorrelierte Gegenüberstellung der Mittelwerte der	

	Variablen OLSAsine und der p-Werte.....	61
Graphik 5.1	Richtig verstandene Wörter bei 65/62 dB S/N.....	67
Graphik 5.2	Richtig verstandene Wörter bei 65/52 dB S/N.....	68
Graphik 5.3	Mittelwerte der richtig verstandenen Wörter für alle möglichen Nutzschaall-Störschaallverhältnisse.....	69
Abb. 9.1	Empfängergerät Phonak EduLink.....	ix
Abb. 9.2	EduLink im rechten Ohr eines Probanden.....	ix
Abb. 9.3	Sendergerät Phonak Campus SX.....	x
Abb. 9.4	Befestigung des Headmikrophons MicroBoom vor dem Frontlautsprecher.....	x
Abb. 9.5	Der Versuchsaufbau - Hörkabine und Maico-Kindertisch.....	xi

## Abkürzungsverzeichnis

AVWS	Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung
Bsp.	Beispiel
dB	Dezibel, Einheit für Schallpegel
dB S/N	Schallpegeldifferenz Störschall/Nutzschall
FM	Frequenzmodulation
lat.	lateinisch
LJ	Lebensjahr
LM	Lebensmonat
N.	Nervus
Ncl.	Nukleus
SRA	Signal-Rausch-Abstand
SSW	Schwangerschaftswoche
SVS	Sprachverständlichkeitsschwelle



## Anmerkungen

In der vorliegenden Arbeit beschränke ich mich zugunsten der besseren Lesbarkeit auf das generische Maskulinum. Dabei ist der Einbezug der weiblichen Formen immer vorauszusetzen.

Die Altersangaben der Kinder sind nicht als Dezimalzahlen zu lesen, sondern werden in der Form Jahr; Monate angegeben.

## 1 Einleitung

Das Gehör spielt eine Schlüsselrolle beim Erlernen von Sprache [75]. Sowohl die gesprochene Sprache als auch der darauf aufbauende Schriftspracherwerb können nur beherrscht werden, wenn eine periphere Hörleistung und die zentrale Verarbeitung und Wahrnehmung des Höreindrucks gewährleistet sind. In weiterer Konsequenz ist der Spracherwerb Voraussetzung für das Lernen in jeglicher Hinsicht, für den Ausbau kognitiver Prozesse, die Entwicklung von Identität und Persönlichkeit und für die Teilhabe an der Gesellschaft. „Die Sprache ist die Kleidung der Gedanken.“, so Samuel Johnson, ein englischer Schriftsteller des 18. Jh., der damit illustrierte, dass Sprache unentbehrlich für die Entwicklung der benannten Fähigkeiten ist.

Für Kinder mit auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) sind der Erhalt von auditiven Informationen und konsekutiv häufig der Erwerb von Sprache erschwert, obwohl eine normale Intelligenz und unauffällige periphere Hörleistungen bestehen.

Die Gestalt dieses Krankheitsbildes zeigt sich heterogen, da verschiedene Teilleistungen der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung in unterschiedlichem Maße beeinträchtigt sein können. Im Kapitel 2.1.4 werden die einzelnen Teilleistungen ausführlich dargestellt.

Eine häufig betroffene Teilleistungsfunktion ist die sog. Figur-Hintergrund-Wahrnehmung. Sie bezeichnet die Fähigkeit, trotz Hintergrundgeräuschen wichtige Informationen herauszufiltern und zu verarbeiten und wird im häufig unruhigen Schulalltag besonders beansprucht. Die Figur-Hintergrund-Wahrnehmung ist durch den sog. Signal-Rausch-Abstand (SRA) limitiert; dieser bezeichnet das Verhältnis zwischen den Pegeln des Sprachsignals (Nutzschall) und des Störgeräuschs (Störschall). Ein SRA von -5 dB bedeutet z.B., dass bei einem Störschall von 65 dB der Nutzschaall 60 dB, also 5 dB leiser ist. Bei entsprechend ungünstigen SRA ist ein Sprachverständnis nicht mehr möglich.

Sowohl im angloamerikanischen Raum als auch in Deutschland beklagen diverse Autoren ungünstige raumakustische Bedingungen in Schulräumen [64, 68, 83]. Nickisch [64] beschreibt, dass Lautstärkepegel zwischen 65 und 76 dB

in Klassenräumen üblich sind und Schick [84] nahm Messungen an Berliner Schulen vor, die zu Mittelungspegeln von 76 dB(A) führten. Bormann et al. [16] interpretieren solche Werte als arbeitsschutzrechtlich nicht tragbar, da der Lärmpegel an Arbeitsplätzen mit vorwiegend geistigen Tätigkeiten laut Arbeitsstättenverordnung 55 dB(A) nicht überschreiten darf.

Diese erheblichen Lärmpegel werden zum einen von Mitschülern produziert zum anderen sind elektrische Geräte wie Overheadprojektoren, Heizungs- und Lüftungsanlagen, aber auch Verkehrs- und Baulärm von nahe gelegenen Straßen für erhöhte Störschallpegel verantwortlich.

Die Folge solch hoher Störschallpegel sind fatale Signal-Rausch-Verhältnisse, die durch die Lautstärke der Lehrerstimme ( $\approx$  Nutzschaall) kaum zu kompensieren sind. Mit zunehmender Distanz des Schülers zum Lehrer sinkt der Nutzschaallpegel, während der Störschallpegel im ganzen Raum gleich hoch ist [36, 64]. So sind hinten sitzende Schüler von den schlechten akustischen Bedingungen besonders beeinträchtigt. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 1.1 verdeutlicht.

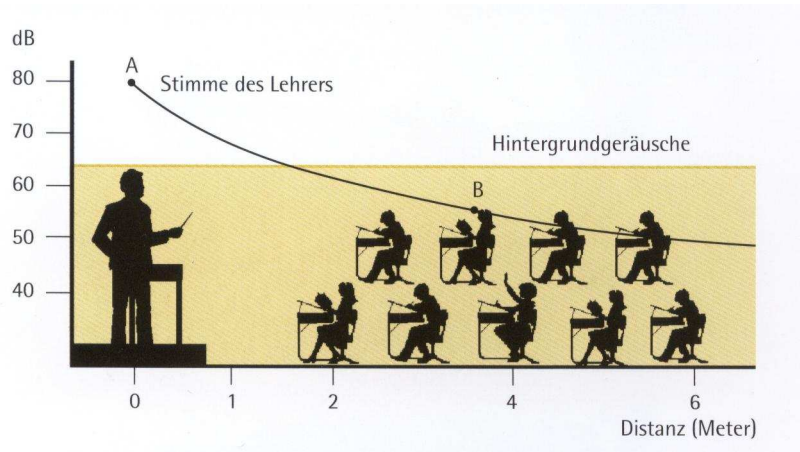


Abbildung 1.1: Verminderung des Nutzschaallpegels bei zunehmender Distanz (aus: Phonak, inspiro - discover dynamic fm. Informationsbroschüre für Eltern und Lehrer)

Neben den hohen Störschallpegeln tragen verlängerte Nachhallzeiten<sup>1</sup> und starke Reflexionseigenschaften zusätzlich zur verminderten Hörqualität bei. Sie

<sup>1</sup> „Die Nachhallzeit eines Raumes ist diejenige Zeit in Sekunden, die vom Zeitpunkt des Ausschaltens einer Quelle im Raum vergeht, bis der Schalldruckpegel um 60 dB abgefallen ist.“ (aus: Schottke, 2003, S. 52)

bewirken, dass Geräusche lange nachklingen und der informative Gehalt, der vom Sprecher ausgeht, verdeckt wird.

Die schlechten akustischen Bedingungen beeinträchtigen nicht nur die Wahrnehmung von Sprache, sondern auch Aufmerksamkeit, Konzentration und die gesamte Lernleistung [5, 7, 65]. Insofern sind neben den verarbeitungs- und wahrnehmungsgestörten Kindern auch Kinder mit Lern-, Aufmerksamkeits- und Verhaltensstörungen sowie nicht zuletzt gesunde Kindern durch solche Missstände beeinträchtigt.

Mit entsprechenden baulichen Maßnahmen kann man eine verbesserte Schulraumakustik erreichen. So dienen ausreichend isolierte Fenster und Wände der Vermeidung von äußeren Störeinflüssen (auch innerhalb der Schule – z.B. Pausenhof, Musikraum, Sportunterricht). Teppichbelag, Gardinen und Wandbehang dienen als schallabsorbierende Flächen, Stopper unter Stühlen und Tischen verringern den Störgeräuschpegel [16, 81].

Die Realisierung dieser Maßnahmen geschieht aber meist defizitär. Laut Schottke [88] liegt dies unter anderem an den Kosten, die verursacht würden; weiterhin werde die Problematik gemeinhin unterschätzt und die Architekten verfügten oft über mangelndes Know-how auf diesem Themengebiet. Außerdem sind die Soll-Werte in den entsprechenden DIN-Richtlinien mit hohen Toleranzbereichen angegeben, so dass kein staatlicher Druck besteht, die eigentlich nötigen Schallpegel und Nachhallzeiten einzuhalten.

Um der unbefriedigenden akustischen Situation entgegenzuwirken, kommt besonders für AVWS-erkrankte Kinder der Einsatz von FM-Anlagen in Betracht. Diese Geräte bestehen aus einem Sendergerät mit Mikrofon, das der Lehrer trägt, und einem im Ohr des betroffenen Kindes sitzenden Empfängergeräts. Per Radiofunkwellen wird die Stimme des Lehrers übertragen und hat verbesserte Nachhall- und Störschalleigenschaften zur Folge.

In der vorliegenden Arbeit soll ein speziell für den Schulunterricht konzipiertes Exemplar dieser Geräte auf seine Wirksamkeit und den zu erwartenden Nutzen getestet werden. Dafür wird der Oldenburger Satztest im Störgeräusch (OLSA)

angewendet, der genau die Situation abbildet, die den Kindern in der Schule Schwierigkeiten bereitet und die die FM-Anlage zu verbessern vermag.

Bevor dieser Test und das weitere Vorgehen vorgestellt werden, soll dem Leser ein Überblick über die periphere und zentrale Hörbahn geboten, das Krankheitsbild der auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung vorgestellt und im Anschluss die Funktionsweise einer FM-Anlage erläutert werden.

## 2 Die auditive Verarbeitung und Wahrnehmung

### 2.1 Theoretische Grundlagen

#### 2.1.1 Definition der verwendeten Begriffe

Die Wahrnehmung (engl. „perception“) wird im Allgemeinen definiert als die Aufnahme, Verarbeitung und Interpretation von Umwelt- und Körperreizen inklusive der Integration der verschiedenen Sinnesmodalitäten. Nur dank dieser Prozesse kann das Individuum auf seine Umwelt reagieren und aktiv an ihr teilhaben [36, 73, 108]. Auch Uttenweiler [98] konstatiert, dass Wahrnehmung „alle Sinnesmodalitäten umfasst und ihre Leistungen zu einem Gesamteindruck integriert“.

Im engeren Sinne bezieht sich der Begriff Wahrnehmung aber nur auf höher gelegene kortikale Prozesse, innerhalb derer die weitergeleitete und vorverarbeitete Information zunehmend bewusst analysiert, interpretiert und integriert wird [65]. Die Aufnahme eines Reizes, die Transkription in ein elektrisches Signal, die Weiterleitung und die Vorverarbeitung auf Hirnstammniveau werden mit dieser Definition ausgeklammert und unter dem Begriff „Verarbeitung“ subsumiert [65].

Der Vorgang der Integration kann sich beziehen auf die Verknüpfung verschiedener Teilleistungen innerhalb einer Sinnesmodalität (intramodal) oder auf die Verknüpfung unterschiedlicher Sinnesmodalitäten zu einem Gesamteindruck (intermodal) [30].

In dieser Arbeit bezieht sich der Begriff Wahrnehmung stets auf das auditive System und wird nach der enger gefassten Definition verwendet, die Wahrnehmungsprozesse von vorgeschalteten Prozessen trennt.

#### 2.1.2 Die periphere Hörbahn

Ein Schallereignis wird dank der trichterförmigen Bauweise der knorpeligen Ohrmuschel gebündelt und passiert den äußeren Gehörgang. Dieser ist im ersten Drittel knorpelig und geht dann in den knöchernen, im Os temporale

gelegenen Teil über. Das Trommelfell trennt den äußeren Gehörgang vom Mittelohr. Durch die auftreffenden Schallwellen wird es in Schwingungen versetzt [86].

In der Paukenhöhle des Mittelohres befindet sich die Gehörknöchelchenkette, bestehend aus Hammer (lat. Malleus), Amboss (lat. Incus) und Steigbügel (lat. Stapes). Dabei ist der Hammergriff mit dem Trommelfell verwachsen und führt zu einer Weiterleitung der Schwingungen über die Gehörknöchelchen bis zum ovalen Fenster, das von der Steigbügelplatte ausgefüllt ist und die Verbindung zur Cochlea darstellt [86].

Eigentlich würde die Schallweiterleitung von der Luft zum Medium Flüssigkeit eine Schallabschwächung bis zu 99% bewirken, da die Impedanz (der Schallwellenwiderstand) in Luft geringer ist als in Flüssigkeit. Dem wirken zwei Mechanismen entgegen: Zum einen ist die Fläche der Steigbügelplatte kleiner als die des Trommelfells, so dass hier ein höherer Schalldruck entsteht; zum anderen wirkt die Anordnung der Gehörknöchelchen und v.a. die Verankerung der Stapesplatte im ovalen Fenster wie ein Hebel, der den Druck weiter verstärkt. Somit ist gewährleistet, dass die Hörinformation ausreichend stark in der Cochlea ankommt und keine Reflexionsverluste entstehen [46].

Bis hierhin wird der Prozess als Schalleitung bezeichnet. Traumen, Missbildungen, Fremdkörper im äußeren Gehörgang sowie im Rahmen von Erkältungen oder Mittelohrentzündungen hervorgerufene Flüssigkeit in der Paukenhöhle beeinträchtigen die Schalleitung; in diesem Fall spricht man von einer Schalleitungsstörung.

Die Weiterleitung im Innenohr wird unter dem Begriff Schallempfindung gefasst. Knalltraumen, ototoxische Medikamente, Entzündungen und peripartale Komplikationen ziehen das Innenohr in Mitleidenschaft und haben, ebenso wie Missbildungen im Rahmen von kongenitalen Erkrankungen, eine Schallempfindungsstörung zur Folge [15, 74].

Beide Arten von Störungen sind periphere Hörstörungen.

Das innere Ohr liegt im Felsenbein (Pars petrosa des Os temporale). Es besteht aus dem Gleichgewichtsorgan und der Cochlea, deren Querschnitt in Abb. 2.1 dargestellt ist.

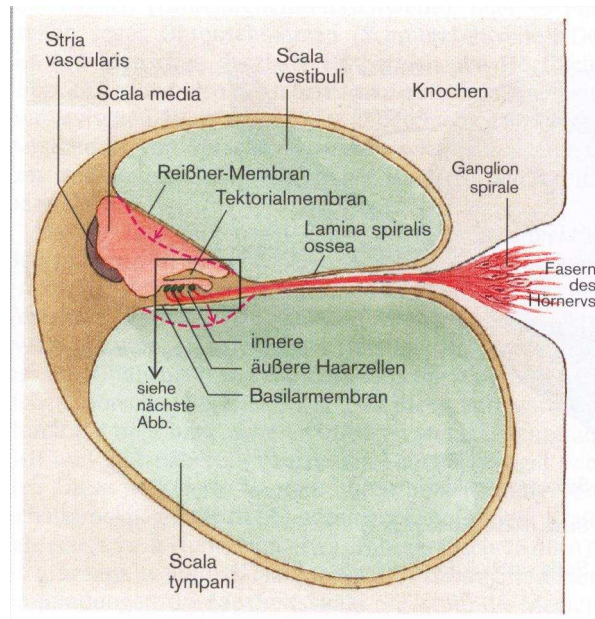


Abbildung 2.1: Querschnitt durch die Cochlea (aus: [46], S. 582)

Nebeneinander existieren drei  $2\frac{1}{2}$ fach gewundene Kanäle. Die obere Etage heißt Scala vestibuli und kommuniziert mit den Bogengängen des Gleichgewichtsorgans, die untere Etage wird Scala tympani genannt. Beide Etagen kommunizieren an der Spitze der Schneckenwindung, dem Helicotrema [86]. Außerdem sind beide mit Perilymphe gefüllt, eine Flüssigkeit, deren Elektrolytzusammensetzung etwa der von extrazellulären Flüssigkeiten, also auch der Zusammensetzung von Blutplasma, entspricht. Dazwischen befindet sich der dritte Hohlraum, Ductus cochlearis (auch: Scala media) genannt. Er ist mit Endolymphe gefüllt, die von der Stria vascularis produziert wird [96] und diametrale Konzentrationsverhältnisse zur Perilymphe aufweist (ähnlich intrazellulärer Flüssigkeit). Von der Scala tympani ist der Ductus cochlearis über die Basilarmembran getrennt; die so genannte Reissner-Membran trennt ihn von der Scala vestibuli [46]. Die sensorische Einheit, das Corti-Organ, sitzt auf der Basilarmembran und wird von der Tektorialmembran überragt (siehe Abb. 2.2).



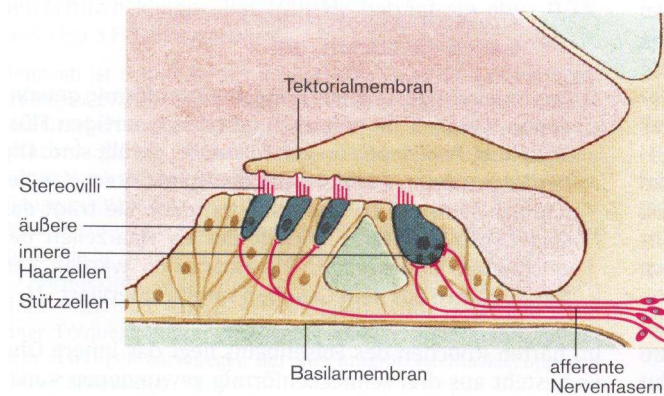


Abbildung 2.2: Querschnitt durch das Corti-Organ (aus: [46], S. 582)

Die auf der Basilarmembran sitzenden Sinneszellen des Ohres, die Haarzellen fungieren als Rezeptor für die akustischen Signale.

Von der schwingenden Stapesplatte im ovalen Fenster ausgehend, wird die Perilymphe bewegt; es entsteht eine Welle, die sich theoretisch über die Scala vestibuli und die Spitze zur Scala tympani hin ausbildet und am runden Fenster endet. Dieses sitzt in der Wand der Paukenhöhle. Praktisch bleibt die Welle jedoch hinter dem Wellenmaximum stehen [49]. Das Maximum der so genannten Wanderwelle ist charakteristisch für die Frequenz des jeweiligen Schalls. Dieses Verhalten kommt durch die zum Helicotrema hin abnehmende Steife der Basilarmembran zustande. Hohe Frequenzen werden nahe des ovalen Fensters abgebildet, tiefe Frequenzen in Richtung des Helicotremas. Es besteht also schon im Innenohr eine tonotope Ordnung, die sich in der zentralen Hörbahn fortsetzt (Ortstheorie) [46]. Am Ort des Wellenmaximums werden die Haarzellen am stärksten angeregt. Je höher der Schalldruck des Signals ist, desto mehr Haarzellen in der Nachbarschaft des Maximums werden erregt (Spektralanalyse).

Zuerst werden die Stereozilien der äußeren Haarzellen abgeschert. Daraufhin öffnen sich Ionenkanäle und es entsteht ein Rezeptorpotential. Weiterhin ändern die äußeren Haarzellen auf die Potentialänderungen hin ihre Länge und führen so zur Verstärkung der Schwingungsenergie im Bereich des Wellenmaximums. Durch diese Bewegungen werden dann auch die inneren Haarzellen bewegt [46]. Die äußeren Haarzellen haben also afferente und efferente Eigenschaften. Auf gleiche Weise werden dann die inneren Haarzellen erregt, indem die Abscherung ihrer Stereozilien wieder zu Kaliumeinstrom und Depolarisation führen. Hier bewirkt die Potentialänderung

anstatt einer Längenveränderung der Zelle allerdings eine Transmitterausschüttung. Es werden Aktionspotentiale generiert, die den Hörnerv erregen [46]. Das anfangs mechanische Signal wurde in ein elektrisches Signal transduziert.

### 2.1.3 Die zentrale Hörbahn

Der Hörnerv beginnt im Ganglion spirale (1. Neuron), welches noch im Innenohr liegt. Die Fasern verlaufen als N. cochlearis parallel zur Cochlea und vereinigen sich mit den Nervenfasern des Gleichgewichtsorgans zum VIII. Hirnnerv, dem N. vestibulocochlearis. Im Porus acusticus internus durchdringt er die hintere Schädelgrube und befindet sich dann auf der Höhe des Hirnstamms.

In der Medulla oblongata trennen sich die Fasern und werden in ihrem jeweils 2. Neuron, den Ncll. cochleares und Ncll. vestibulares verschaltet. Fasern, die vom Ncl. cochlearis anterior ausgehen, verlaufen überwiegend kontralateral, teils aber auch ipsilateral zu den Oliven. Dieser Strang heißt Corpus trapezoideum und birgt Kerne, in denen einige Fasern abermals verschaltet werden [46, 96].

In den jeweiligen Ncll. olivares superiores, die sich am Unterrand der Pons befinden, kommen also bereits Fasern von beiden Seiten an, so dass ein erster Vergleich der seitenverschiedenen Laufzeiten des Schalls und somit eine Analyse in Bezug auf das Richtungshören möglich wird und die Hörbarkeit bei Lärm verbessert werden kann (binaurales Hören) [46].

Diese Funktionen bedürfen zweierlei Mechanismen:

Wenn von einem Neuron auf mehrere Neuronen umgeschaltet wird, nennt man das Divergenz. Auf diese Weise können auch schwache Reize weitergeleitet werden und gehen nicht in anderen Störsignalen unter. Bei der lateralen Hemmung geschieht genau das Gegenteil: Zwischengeschaltete GABAerge Neurone unterdrücken schwache Reize am Rand, so dass unwichtige Informationen zugunsten des im Vordergrund stehenden Signals unterdrückt werden. Funktioniert dieser Mechanismus nicht, kann es zum sog. `Cocktailpartyeffekt` kommen: Eine wichtige Information kann im Störlärm nicht mehr wahrgenommen werden [49].

Der obere Olivenkern sendet weiterhin efferente Fasern zurück an die Cochlea (Tractus olivocochlearis, auch: Rasmussen-Bündel) [86]. Dadurch kann die

Empfindlichkeit der Signalaufnahme gesteuert werden. Lauschen, Hinhören, aber auch Weghören werden durch diese Feedbackmechanismen möglich [96]. Alle übrigen Fasern steigen als Lemniscus lateralis in Richtung Mittelhirn auf. Auch in diesem Strang finden sich Kerne, in denen Verschaltungen und teilweise ein Zurückkreuzen auf die ursprünglich ipsilaterale Seite erfolgen. Hier findet eine erste zeitliche Analyse der Signale statt. Ein vorläufiges Ende finden diese Fasern auf der Vierhügelplatte in den so genannten Colliculi inferiores. Auch auf dieser Ebene ziehen Fasern zur Gegenseite.

Nächste Station ist das im Thalamus gelegene Corpus geniculum mediale, in dem eine letzte Verschaltung und die Vorbereitung der Mustererkennung erfolgt, bevor die Fasern als Hörstrahlung durch den hinteren Abschnitt der Capsula interna zur primären Hörrinde im temporalen Cortex ziehen und das Signal dort endgültig analysiert wird [96]. Während des gesamten skizzierten Weges wird die tonotope Gliederung des Innenohres beibehalten; eine Neusortierung der Information erfolgt erst im primären Cortex [46].

Abb. 2.3 gibt einen Überblick über die Stationen und ihre afferenten Verschaltungen. Zugunsten der Übersicht sind efferente Verschaltungen nicht eingezeichnet.

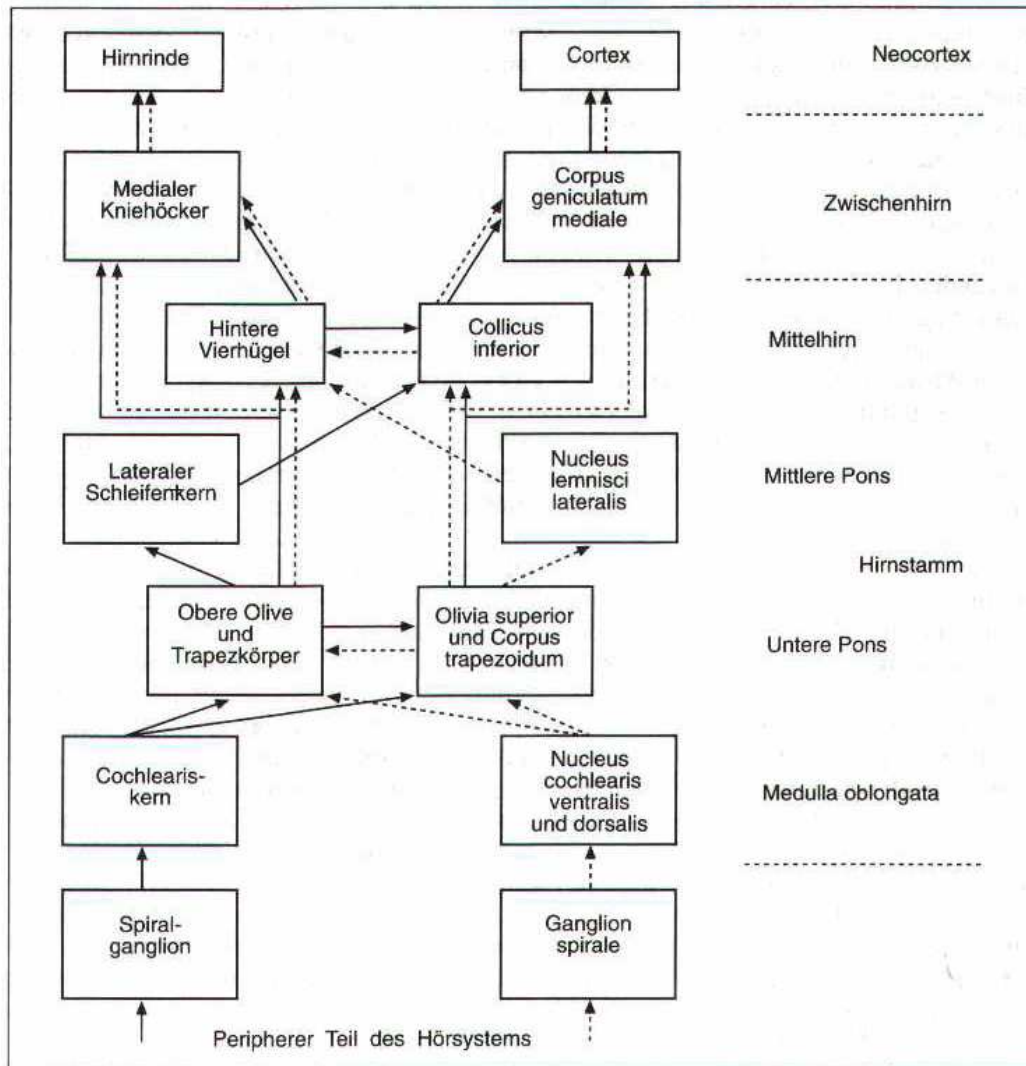


Abbildung 2.3: Vereinfachtes Schema der zentralen Hörbahn (aus: [49], S. 5; dort mod. n. Franke 1998)

Durch die o. g. Kreuzungen auf Hirnstammebene kommen auf jeder Seite des Cortex Informationen aus beiden Cochleae an, was den Vorteil hat, dass bei Beschädigung einer Seite der Hörbahn kein völliger Verlust, sondern nur eine Reduktion des Hörvermögens die Folge ist [96].

Die Windungen der primären Hörrinde werden auch als Heschl-Querwindungen bezeichnet und bilden nach Brodmann die Area 41. Aufgabe dieser Region ist die „interpretationsfreie Bewusstwerdung der auditorischen Impulse aus dem Innenohr“ [96]. Die einzelnen Signale werden hier separat nach zeitlichem Muster und Intensität der Aktionspotentiale analysiert. Daraus errechnen sich dann Tonhöhe und Lautstärke. Weiterhin werden die Impulse beider Seiten

verknüpft, so dass die Richtung und Entfernung aus der der Schall kam, berechnet werden kann [46].

Fasern aus der primären Hörrinde verlaufen zur sekundären Hörrinde, die lateral der Area 41 in den Brodmann-Arealen 42 und 22 liegt. Erst hier geschieht die Erkennung und Interpretation von Lauten, Geräuschen und Wörtern. Diese Funktionen setzen allerdings Lernprozesse voraus, denn der Höreindruck wird immer mit vorangegangenen, im Gedächtnis gespeicherten Mustern verglichen.

Im Gegensatz zu den restlichen Strukturen im Gehirn nehmen die unterschiedlichen Hemisphären der sekundären Hörrinde verschiedene Aufgaben wahr. Die sog. dominante Hemisphäre für Sprache befindet sich bei 90% der Menschen links, bei Linkshändern manchmal auch rechts. Sie wird auch als sensorisches Sprachzentrum (Wernicke) bezeichnet, denn hier hat das Sprachverständnis ihren Sitz. Die nichtdominante Hemisphäre verarbeitet eher nichtrationale Komponente, z.B. Melodien, Harmonien und Rhythmen [96].

Von der sekundären Hörrinde erreichen efferente Fasern die Assoziationsfelder, welche modalitätsübergreifende Verknüpfungen vornehmen. Der Gyrus angularis hat seinen Sitz an der Grenze zum Parietallappen und nimmt die Area 39 nach Brodmann ein. Er ist die Schaltstelle zwischen sekundärer Seh- und Hörrinde. Hier wird visuellen Impulsen ein sprachlicher Begriff zugeordnet. Dieser Vorgang spielt auch beim Lesen und Schreiben eine bedeutende Rolle [96].

Weitere Verbindungen der sekundären Hörrinde bestehen zum motorischen Sprachzentrum (Broca), das als Teil des Assoziationscortex im Frontalhirn sitzt. Nachdem die Sprache hier in Wortlaut und Satzbau geformt worden ist, gehen via Basalganglien und Hirnnerven Efferenzen zum Sprechapparat. Die Verbindung zum Wernicke-Zentrum als Sprachgeber ist unverzichtbar. Das Broca-Zentrum existiert nur auf der dominanten Hemisphäre, so dass bei Ausfall kaum Möglichkeiten der Kompensation bestehen.

Neben den genannten Arealen existieren noch viele weitere Verschaltungen, die die akustische Information mit kognitiven, emotionalen und visuellen Inhalten verknüpfen, auf die in diesem Rahmen aber nicht eingegangen werden soll.

Funktionell unterscheidet man Bottom-up- von Top-down-Prozessen. Der hier im Vordergrund beschriebene hierarchische Weg vom Innenohr über den Hirnstamm und das Mittel- und Zwischenhirn zur Hirnrinde wird als Bottom-up-Prozess bezeichnet. Darüber hinaus existieren jedoch diverse Verschaltungen in die entgegengesetzte Richtung zwecks Modulation und Feinabstimmung. Diese Wege werden unter dem Begriff Top-down-Prozess zusammengefasst und beziehen meist mehrere Modalitäten ein [5, 49, 64].

#### 2.1.4 Die kindliche Entwicklung des Hörens und der Sprache

Um zu verstehen, welche Teilleistungen von Grundschulkindern (und demnach dem Kollektiv dieser Studie) zu erwarten sind, wird der Ablauf der Hör- und Sprachentwicklung an dieser Stelle skizziert.

Die Entwicklungen von Hören und Sprache greifen in jeder Phase ineinander und gelten zusammen als komplexeste Hirnleistung von allen, die im Laufe des Lebens entwickelt werden. Dieser Prozess ist in vielen Phasen vulnerabel für Störeinflüsse [89].

Anlage und Differenzierung des peripheren Hörsystems vollziehen sich schon im ersten Trimenon und das Corti-Organ ist ab der 20. SSW funktionstüchtig, was durch Beobachtung von Pulsfrequenzerhöhungen auf Tonbeschallung bestätigt wird [49, 89]. Auch Anlagen zentraler Strukturen werden in utero gebildet (etwa 24. SSW; [89]); die Ausreifung der Hörbahn findet aber erst in den ersten Lebensmonaten statt und bedarf auditiver Stimuli [11, 54, 89, 95]. Laut Berger [11] geschieht dies innerhalb eines Zeitfensters vom sechsten bis zum 30. Lebensmonat. Matschke [54] differenziert die Myelinisierung, die vornehmlich im ersten Lebensjahr vonstatten geht, von der Reifung unmyelinisierter Strukturen (Axonwachstum, Synapsenbildung), die im zweiten Lebensjahr geschieht. Die Verminderung der Latenzen im Verlauf von verschiedenen BERA-Messungen<sup>2</sup> im Säuglingsalter sei in erster Linie ein Indikator für die Myelinisierung, so Matschke et al., die in ihrer Arbeit neuroanatomische Befunde mit elektrophysiologischen Ergebnissen in verschiedenen Altersgruppen verglichen [54]. Auch Tibussek et al. belegen in

---

<sup>2</sup> brain electric response audiometry

ihren Untersuchungen, dass BERA-Ergebnisse ein Maß für die Hörbahnreife sind [95].

Im selben Zeitfenster erfolgt die Stimmbildung. Schon im Neugeborenenalter werden Schrei- und Gurgellaute ausprobiert und in den ersten Säuglingsmonaten setzt die so genannte Lallphase ein [103], in der Laute freudig nachgeahmt und repetitiert werden. Eine besondere Hilfe stellt hierbei die Ammensprache dar, die interkulturell auf der ganzen Welt ähnliche Eigenschaften hat: Langsames Sprechen, überdeutliche Artikulationen und Wiederholungen führen dazu, dass der Säugling gerne und erfolgreich erste Silben erlernt [89].

Mittels Bahnung und Hemmung werden bereits ab dem vierten Lebensmonat Lautdiskriminationsfähigkeiten erworben [49; 89]. Frequenzen können schon vorher unterschieden werden [74]. Ab einem Alter von einem halben Jahr beginnt die linguale Periode, d.h. der Säugling erwirbt erstes Sprachverständnis und experimentiert mit Lauten (von Wendler et al. als zweite Lallphase bezeichnet [103]).

Im frühen Kleinkindalter können erst Ein-, dann Zwei-Wort-Sätze produziert werden, der Wortschatz des Kindes umfasst im Alter von 24 Monaten etwa fünfzig Wörter. Im weiteren Entwicklungsprozess kommt es zur Bildung von Drei-Wortsätzen und zur weiteren Ausbildung des Wortschatzes. Außerdem entwickeln sich semantische Strukturen und ein Gefühl für Grammatik [103].

Ab dem Vorschulalter kommt es zur Ausbildung der sog. phonologischen Bewusstheit. Dies bedeutet, dass die Laute in ihre Grapheme (also in einzelne Buchstaben) aufgegliedert werden und zwischen Vokalen und Konsonanten unterschieden werden kann. Diese Fähigkeit bildet die wesentliche Voraussetzung für den Schriftspracherwerb [49, 89]. Die Entwicklung der Funktion der Assoziationszentren tritt im Schulalter in den Vordergrund. Hier geschieht die Steuerung von Aufmerksamkeit, Motivation, emotionalen Prozessen und von Lern- und Denkprozessen [89]. Ab dem zwölften Lebensjahr ist eine abgeschlossene Hör- und Sprachentwicklung zu erwarten.

Der gesamte Entwicklungsprozess ist bedroht von Geräuschkulissen, die in unserem Alltag allgegenwärtig sind und als selbstverständlich hingenommen werden. Dazu gehören Straßen- und Verkehrslärm und mediale Präsentationen

wie Radio, Fernsehen sowie Stimmengewirre [84, 89]. Diese und andere Störgeräuschquellen haben eine Verlangsamung der Hör- und Sprachentwicklung zur Folge. Sie verdecken besonders Kurzschallereignisse, die die Eigenschaften von Konsonanten präsentieren und die Ausbildung der Diskriminationsfähigkeit fördern. Auch die Ammensprache wirkt nicht mehr supportiv, wenn die Sprechpausen mit Lärm gefüllt sind. Im Kleinkind- und Schulalter hat Lärm eine mangelnde Aufmerksamkeit bezüglich sinnvoller und informationshaltiger Schallreize zur Folge. Es kommt zu Missverständnissen, Gedankenabrissen und zu Defiziten in der Sprachentwicklung, z.B. der Artikulation. Konsequenzen ergeben sich dann auch für den Erwerb des Lesens und des Schreibens in der Schule [5, 8, 64, 85].

Daher ist es von eminenter Bedeutung für sorgfältig geschützte akustische Bedingungen zu sorgen, so dass die kindliche Hör- und Sprachentwicklung inklusive der Hörbahnreifung möglichst störungsfrei vonstatten gehen kann [89, 95].

### 2.1.5 Funktionen der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung

In Anlehnung an die Einteilung nach Esser [30] und deren Weiterentwicklung durch Nickisch [64] und Lauer [49] wird nun jede einzelne dieser Teilleistungen vorgestellt und erläutert – auch um das vielfältige Bild der auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung zu verstehen, das im Abschnitt 2.2 beschrieben wird.

Uttenweiler [98] versucht, den Ort der verschiedenen Teilleistungen zu bestimmen, indem er jeder Funktion ein neuroanatomisches Korrelat zuordnet. Diese Einteilung ist aber (noch) nicht neurowissenschaftlich belegt.

All diese Teilleistungen lassen sich auch auf andere Sinnesmodalitäten, insbesondere auf visuelle Stimuli übertragen, werden hier aber aufgrund des Kontextes in Hinblick auf das auditive System beschrieben.

**Aufmerksamkeit** bildet die Voraussetzung für alle anderen Funktionen. Nur wenn ein Individuum sich einem Stimulus zuwendet, kann er ihn weiterverarbeiten und bewusst wahrnehmen. Man unterscheidet eine generelle Wachheit, also den allgemeinen Aktivierungszustand, von der sog. selektiven Aufmerksamkeit (auch: Konzentration). Letztere beinhaltet die Hinwendung auf



etwas und damit auch eine Einschränkung der Aufmerksamkeit, weil andere Dinge in dem Moment nicht so sehr beachtet werden.

Die Aufmerksamkeit ist bei Kleinkindern noch sehr grob und überselektiv, ab dem Schulalter wird sie dann eher feingliedrig und überinklusiv. Alles wird als wichtig erachtet, das Kind ist leicht ablenkbar. Erst ab dem zwölften Lebensjahr entwickelt sich eine Selektivität; es wird die Fähigkeit erworben, Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden und sich zu konzentrieren [49].

Unter **Speicherung** versteht man das kurzfristige Behalten des auditiven Stimulus im Gedächtnis. Diese Funktion wird auch als auditive Hörmerkspanne bezeichnet. Dabei wird die Reihenfolge der Items nicht behalten. Dieser Aspekt findet sich in dem Begriff „**Sequenz**“ wieder und stellt somit eine Erweiterung der Teilleistung „Speicherung“ dar.

Den größten Entwicklungsschub erfährt diese Teilleistung im Vorschulalter. Im Alter von vier Jahren können drei Items (Wörter/Zahlen), im sechsten Lebensjahr fünf Items gemerkt werden. Bis zum 14. Lebensjahr ist die Entwicklung der Speicherung und Sequenz weitestgehend abgeschlossen. Das Merken von  $7 \pm 2$  Items ist dann möglich [49].

Die **Lokalisation** von Schallreizen, d.h. die Ermittlung der Richtung und Entfernung einer Schallquelle, wird schon ab dem vierten Lebensmonat entwickelt. Zunächst können seitliche Signale geortet werden, ab dem 16. Lebensmonat auch solche von ober- und unterhalb [49].

Der Begriff „**Diskrimination**“ bezeichnet die Fähigkeit, ähnlich klingende akustische Signale voneinander zu unterscheiden [30]. Dies kann sich auf Geräusche, Klänge oder Phoneme beziehen, wobei letzteren eine besondere Bedeutung zukommt, da die Entwicklung der Lautdiskrimination eine entscheidende Rolle bei der Sprachentwicklung spielt. Die Entwicklung dieser Funktion beginnt direkt nach der Geburt. Zunächst werden Laute unterschieden, die sich stark voneinander unterscheiden, z.B. /b/ und /m/. Später erfolgen feinere Diskriminationen, z.B. zwischen den Lauten /b/ und /p/, die sich nur in einem Merkmal voneinander unterscheiden [49].

Mit Hilfe der Diskrimination und der selektiven Aufmerksamkeit entwickelt sich die „**Selektion**“ [49]. Dieser Begriff bezeichnet die Fähigkeit, Störgeräusche zugunsten relevanter Informationen auszublenden. Man nennt diese Teilleistung auch „Figur-Hintergrund-Wahrnehmung“. Sie ist sehr anspruchsvoll und entwickelt sich erst langsam ab dem Vorschulalter. Deshalb sind noch bis ins Schulalter hinein hohe Signal-Rausch-Abstände von mindestens +10 dB S/N von Nöten, um ein ausreichendes Sprachverständnis zu gewährleisten [64, 74, 89].

Sowohl Lokalisation und Selektion als auch die von Lauer nicht erwähnte Summation (Zusammensetzen eines Hörsignals aus verschiedenen Frequenzspektren) sind Leistungen der binauralen Interaktion, die nur durch die in 2.1.3 beschriebene Verrechnung der Höreindrücke aus beiden Ohren möglich ist.

Der Begriff „**Analyse**“ (auch: Identifikation) umfasst das Extrahieren von Silben aus Wörtern bzw. Wörtern aus Sätzen. Das bewusste Wahrnehmen von Lauten beginnt ab dem fünften Lebensjahr. So vergleicht ein Kind z.B. verschiedene Wörter mit dem eigenen Namen und stellt eventuelle Gemeinsamkeiten fest. An welcher Position sich ein Laut befindet (An-, In- oder Auslaut), wird im Alter von sieben Jahren erfasst [49].

Der Begriff „**Synthese**“ beschreibt die Fähigkeit, ein Wort aus mehreren Einzellauten zusammenzusetzen. Aus einzelnen auditiven Signalen entsteht so ein komplexes akustisches Gebilde (z.B. Synthese des Wortes Fuß aus F-uß). Sowohl die Analyse als auch die Synthese sind Voraussetzungen für die phonologische Bewusstheit und somit eng mit dem Schriftspracherwerb verknüpft (Entwicklung im siebten Lebensjahr).

Mittels **Ergänzung** werden Wort- oder Satzteile zu einem sinnvollen Gefüge, auch wenn sie nur fragmentarisch gehört werden. Aus- und Inlaute können ab dem Vorschulalter ergänzt werden, Anlaute etwas später [49]. Mit dieser Fähigkeit kann ein normal entwickeltes Hör-Sprech-System auch im Störgeräusch eine erfolgreiche Worterkennung herstellen.

In der Praxis lassen sich die einzelnen Teilfunktionen nicht trennen; es erfolgt ein Zusammenwirken aller, aus dem im Idealfall eine optimale Verarbeitung der eintreffenden Schallreize resultiert. Zusätzlich ereignen sich Integrationsprozesse, die die Verknüpfung mit anderen Sinnesmodalitäten und somit eine komplexe, intermodale Wahrnehmung ermöglichen (Beispiel: Hinwenden des Blicks als Reaktion auf ein akustisches Ereignis).

Nickisch [64] unterteilt die vorgestellten Teilleistungen in Funktionen, die auf Verarbeitungsebene (d.h. auf Höhe der Hörbahn) stattfinden und solche, die in kortikalen Zentren lokalisiert sind und somit der Wahrnehmungsebene entsprechen (dargestellt in Tab. 2.4). Diese Einteilung ist allerdings hypothetisch und wird von anderen Autoren abweichend vorgenommen (s. auch [49]). Die Frage nach der Lokalisation von Funktionen bleibt trotz diverser Untersuchungen [8, 60, 98] weiterhin unklar.

<b>Verarbeitung</b>	<b>Wahrnehmung</b>
Lokalisation	Identifikation
Selektion	Analyse
Separation	Synthese
Zeitauflösung	Aufmerksamkeit
Dynamik	Speicherung
Diskrimination	Sequenz

Tabelle 2.4: Hierarchische Zuordnung der Teilleistungen (mod. n. [64], S. 17)

## 2.2 Die auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS)

Das Krankheitsbild AVWS bietet sowohl in den USA als auch im europäischen Raum Anlass für kontroverse Diskussionen. Neben Kritikern, die gar die Existenz des Krankheitsbildes in Frage stellen, sehen sich die Verfechter der AVWS vielen Fragen und Unsicherheiten bezüglich der Definition dieses Krankheitsbildes, der Diagnostik und der Effizienz der Therapie gegenübergestellt.

### 2.2.1 Darstellung der bisherigen Terminologien

In den letzten zwanzig Jahren wurden diverse Begriffe ins Leben gerufen, die die Störung zentraler auditiver Prozesse in Worte zu fassen versuchten.

Im angloamerikanischen Raum hat sich der Begriff „central auditory processing disorder“ (CAPD) etabliert, wobei dort kontroverse Meinungen bezüglich des Zusatzes „central“ bestehen. Jerger und Musiek [41] merken an, dass das periphere Hörorgan und die zentrale Hörbahn einander beeinflussen, so dass eine klare topographische Zuordnung der Störung mit dem derzeitigen Wissensstand nicht möglich ist. Sie schlagen vor, diese Störung „auditory processing disorder“ (APD) zu nennen. Als Kompromiss hat die ASHA<sup>3</sup> den Begriff „(central) auditory processing disorder“ ( (C)APD) vorgeschlagen.

Auch im Deutschen wird mit den Begriffen der zentralen Fehlhörigkeit bzw. zentralen Schwerhörigkeit [30] und zentralen auditiven Verarbeitungsstörung (ZAVS) [49] die Lokalisation im ZNS postuliert. Die Autoren des Konsensus-Statements [65] einigten sich auf einen Begriff, der dieses Problem umgeht und gleichzeitig die Teilleistungsbereiche Verarbeitung und Wahrnehmung einbezieht: auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS). Dieser Begriff ist im deutschen Sprachraum der gebräuchlichste. Allerdings ist auch dieser nicht unumstritten, da eine ASHA-Konferenz in 2005 gefordert hat, den Begriff der APD enger zu fassen, indem nur die Dysfunktion rein auditiver, aber nicht übergeordneter Funktionen wie Gedächtnis und Aufmerksamkeit die Diagnose APD erlauben. Demnach würden nur die Teilleistungen Lokalisation, Diskrimination, Separation, binaurale und zeitliche Prozesse, die gemeinhin mit dem Oberbegriff „auditive Verarbeitung“ benannt werden, zu einer AVWS-Diagnose führen. Wahrnehmungsprozesse wie die phonologische Bewusstheit, auditive Aufmerksamkeit, auditive Merkspanne und das Sprachverständnis sind kognitiver und sprachlicher Art und seien somit nur sekundäre AVWS-Symptome, z.B. im Sinne von Folgeschäden oder einer Komorbidität. [5, 87]. Daraus resultierte die Notwendigkeit eines neuen Begriffes, der Wahrnehmungsprozesse ausklammert, so z.B. auditive Verarbeitungsstörung (AVS).

---

<sup>3</sup> American Speech and Hearing Association

Wendler et al. [103] schlagen, abhängig von der Lokalisation der Störung, die Nutzung weiterer Begriffe vor. So umschreibe die retrokochleäre Schwerhörigkeit eine Schädigung zwischen erstem Neuron und Hirnrinde während im primären auditorischen Cortex lokalisierte Störungen zentrale Schwerhörigkeit genannt werden. Als Fehlhörigkeit oder Wahrnehmungsstörung bezeichne man Störungen, die höhere Zentren einbeziehen.

Da diese Debatte noch nicht zu einem befriedigenden Ende gefunden hat, wird in dieser Arbeit der von der Autorenschaft des Konsensus-Statements [65] vorgeschlagene Begriff AVWS verwendet. Hier wird die AVWS definiert als „eine Störung zentraler Prozesse bei normalem Tonaudiogramm“ [65], welche in der ICD-10 mit der Ziffer F 80.20 codiert ist. Weiter kann man dann differenzieren zwischen einer Störung, die hauptsächlich die Verarbeitung oder die Wahrnehmung betrifft.

Die AVWS-Diagnose impliziert eine modalitätsspezifisch auditive Störung im Sinne einer bottom-up-Problematik. Sobald visuelle, motorische oder kognitive und Lernleistungen beeinträchtigt sind, also eine top-down-Symptomatik vorliegt, handelt es sich um eine modalitätsübergreifende Störung, die eine AVWS ausschließt [20, 64]. Andere Autoren [5, 8, 65] argumentieren aber, dass sich auditive Verarbeitungsprozesse und höhere kognitive und andere modalitätsübergreifende Leistungen nicht sauber voneinander trennen lassen, da selbst simple auditive Prozesse von höheren kognitiven Leistungen beeinflusst sind. Somit sei es nicht sinnvoll, die Trennung so streng zu handhaben, denn diese birge die Gefahr für falsch negative Diagnosen.

Das Dilemma besteht darin, dass eine zu weitgefasste Definition eine willkürliche Diagnosestellung nach sich ziehen würde, was besonders de Maddalena [52] und Kiese-Himmel [44] bemängeln. Eine zu strenge Abgrenzung gegenüber verwandten Krankheiten würde aber hilfebedürftige Patienten außen vor lassen.

AVWS kann isoliert („Schädigung“), aber auch in Komorbidität oder als Folge von anderen Erkrankungen („Funktionsbeeinträchtigung“) auftreten [65].

Zu den Prävalenzen bezüglich der AVWS existieren bisher nur vage Angaben [107]. In den USA belaufen sich die Zahlen auf bis zu 7% bei Kindern und 10-20% bei Erwachsenen [7, 8, 41]. Deutsche Autoren gehen von einer Prävalenz von 2-3% aus [65]. AVWS ist bei Jungen doppelt so häufig zu beobachten als bei Mädchen.

### 2.2.2 Mögliche Ursachen

Man ist sich einig, dass die Problematik in einer Dysfunktionalität der Afferenzen und Efferenzen der Hörbahn begründet ist [5, 65]. Ein denkbarer Pathomechanismus beinhaltet eine verzögerte Hörbahnreifung aufgrund unzureichender oder verlangsamter Myelinisierung. Verschiedene Krankheitsbilder wie die auditorische Neuropathie [108] und Diskonnektions-Syndrome auf Höhe des Corpus callosum [57] zeigen ähnliche klinische Bilder wie die AVWS, so dass man schlussfolgert, dass die Lokalisation der Problematik an diesen und weiteren Schaltstellen zu vermuten ist. Über die Ursachen, die die beeinträchtigte Myelinisierung oder andere Pathomechanismen zu verantworten haben, ist bisher nur zu spekulieren.

Zunächst bergen genetische Komponenten [12], der Verlauf der Schwangerschaft und die Entbindung Risiken. Während der Schwangerschaft zugeführte toxische Stoffe (Alkohol, Nikotin, Drogen, Medikamente) [75] führen zu einer beeinträchtigten Hirnreifung in utero. Peri- oder postpartale Komplikationen können Asphyxien hervorrufen, für die auch Frühgeborene oder Kinder mit vermindertem Geburtsgewicht (< 2000 g) vulnerabel sind. Diese und weitere peripartale Ereignisse, wie z.B. Hyperbilirubinämien, führen zu frühkindlichen Hirnschäden, die auch die Hörbahn betreffen können [103].

Als mögliche Ursachen werden weiterhin rezidivierende Otitiden, besonders solche mit Paukenergüssen, in Erwägung gezogen, da sie eine verzögerte Hör- und Sprachentwicklung und Schwierigkeiten im schulischen Werdegang zur Folge haben können [79,80]. Dies gilt besonders dann, wenn sich Otitiden während vulnerabler Entwicklungsphasen ereignen, so z.B. im Kleinkindalter.

Neben diesen medizinischen Faktoren spielen das soziale Umfeld, z.B. Sprechgewohnheiten in der Familie, das daraus resultierende Hörangebot und der Umgang mit Lärm eine Rolle in der Pathogenese der AVWS [7, 89].

Darüber hinaus können Beeinträchtigungen der auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsprozesse im Rahmen von neurologischen Erkrankungen auftreten. So beschreiben Bamiou et al. [7] Hirntumoren, Schädel-Hirn-Traumen, zerebrovaskuläre Erkrankungen und Infektionen (bakterielle Meningitiden, Herpes-Enzephalitis) als ursächlich für Beeinträchtigungen im zentralen auditiven System. In diesen Fällen liegt aber keine AVWS im engeren Sinne vor.

### 2.2.3 Symptomatik

Laut Berger [11] zeigt sich die AVWS „in Einschränkungen der Sprachverständlichkeit, besonders unter akustisch ungünstigen Bedingungen“. Diese umfassen eine geräusch- und/oder nachhallreiche Umgebung und Situationen, in denen der Gegenüber schnell, leise oder undeutlich spricht. Das Kind wirkt in diesen Situationen unaufmerksam und fragt häufig nach oder zieht sich zurück [5, 35].

Schwierigkeiten bestehen auch in der Unterscheidung von ähnlich klingenden gesprochenen Wörtern, die unter Umständen Artikulationsstörungen nach sich ziehen. Im schulischen Rahmen entwickeln sich Auffälligkeiten im Diktat. Auch die Diskrimination von Geräuschen kann beeinträchtigt sein, so z.B. fällt es dem Kind schwer, die Geräusche verschiedener Haushaltsgeräte oder Musikinstrumente zu unterscheiden und zu benennen.

Eine weitere beeinträchtigte Teilleistung ist die auditive Merkfähigkeit, was sich darin äußert, dass Lieder, Reime und gesprochene neue Wörter sowie das Klatschen von Rhythmen nicht gut erlernt werden. Auch verbale Anweisungen (v.a. mehrschrittige) werden oft nicht befolgt.

Manche Kinder sind außerdem übermäßig geräuschempfindlich, andere verhalten sich im Straßenverkehr inadäquat, was auf eine beeinträchtigte Lokalisation von Schallquellen zurückzuführen ist.

Als Folge dieser auditiven Beeinträchtigungen können neben der verzögerten Sprachentwicklung und Schwierigkeiten beim Schriftspracherwerb auch psychiatrische Auffälligkeiten wie Zurückgezogenheit und Verslossenheit bis hin zu depressivem Verhalten auf der einen Seite und Unruhe, Unaufmerksamkeit und niedrige Frustrationstoleranz bis zu aggressivem

Verhalten auf der anderen Seite beobachtet werden [43, 58]. Das Bildungsniveau und die Persönlichkeitsentwicklung können hierdurch erheblich beeinträchtigt werden [4, 5, 7, 24, 36, 41, 65].

#### 2.2.4 Diagnostik

Aufgrund der unspezifischen Symptome und der Heterogenität der AVWS gestaltet sich die Diagnose als sehr anspruchsvoll. Um weder gesunde und andersartig erkrankte Kinder zur AVWS-Risikopopulation zuzuordnen noch verarbeitungs- und wahrnehmungsgestörte Patienten falsch negativ zu diagnostizieren ist ein sorgfältiges Vorgehen angezeigt. Dies erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Pädaudiologen, Pädiatern, Neurologen, Logopäden und Psychologen, deren Relevanz viele Autoren betonen [5, 7, 65].

Üblicherweise wird ein in Schule oder zu Hause auffälliges Kind vom Pädiater zum (Päd-)Audiologen überwiesen. Zu Beginn findet ein ausführliches Anamnesegespräch statt, das die Erhebung von Vorerkrankungen und des Verhaltens im schulischen und häuslichen Rahmen beinhalten sollte. Es kann ggf. mit Hilfe von standardisierten Fragebögen strukturiert werden. Als Beispiel sei der von der DGPP entwickelte Fragebogen genannt, der im Internet frei verfügbar ist.<sup>4</sup> Fragebögen sind allerdings nicht in der Lage, als Screeninginstrument zu dienen oder subjektive Tests zu ersetzen (Untersuchung mit Schulkindern: [53, 104], Untersuchung mit Vorschulkindern: [72]).

Im Anschluss erfolgt eine ohrmikroskopische Untersuchung und die Durchführung von Tonschwellenaudiometrie, Tympanometrie (Messung der Trommelfellimpedanz) sowie die Messung der otoakustischen Emissionen (OAE). All diese Untersuchungen werden durchgeführt, um sowohl eine Problematik des Außen- und Mittelohres als auch des Innenohres ausschließen und eine zentrale Hörstörung in Erwägung ziehen zu können.

Weiteres Ausschlusskriterium bildet eine kognitive Minderbegabung, so dass es vor allen weiteren Tests notwendig ist, die allgemeinen kognitiven Möglichkeiten

---

<sup>4</sup> [www.dgpp.de/Profi/index\\_Profi.htm](http://www.dgpp.de/Profi/index_Profi.htm), letzter Zugriff am 11.08.2010



eines Patienten zu eruieren. Dafür wird meist der Culture Fair Intelligence Test (CFT) durchgeführt, dessen Aufgaben – im Gegensatz zum HAWIK – keine verbalen Leistungen erfordern. Somit kann das kognitive Niveau auch für auditiv wahrnehmungsgestörte, sprachentwicklungsgestörte und ausländische Kinder ermittelt werden, ohne dass diese benachteiligt werden.

Um sicherzugehen, dass es sich im vorliegenden Fall um eine modalitätsspezifische Störung handelt, muss der diagnostische Ansatz ein multimodaler sein (z.B. D2-Aufmerksamkeitstest, Frostig-Test oder MVPT zur Prüfung der visuellen Modalität). Nur so lässt sich herausfinden, ob es sich überhaupt um eine speziell auditive Problematik im Sinne eines bottom-up-Prozesses handelt oder doch eine modalitätsübergreifende Störung (etwa Aufmerksamkeits-, Lern- und Sprachstörungen) im Sinne einer Top-down-Problematik vorliegt. (Zu Ausführungen bzgl. der Abgrenzung einer AVWS von Aufmerksamkeitsstörungen siehe [22])

Im Folgenden werden die am häufigsten genutzten Tests vorgestellt. Diese Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da je nach Institution unterschiedliche diagnostische Ansätze verfolgt werden. Die Diagnose AVWS kann erst dann gestellt werden, wenn mindestens zwei der vielen Tests auffällig sind und das jeweilige Ergebnis mindestens zwei Standardabweichungen außerhalb des Normwertes liegt [5, 65]. Die Cut-off-Werte der gängigen Testverfahren sind den Untersuchungen von Wohlleben et al. [107] zu entnehmen.

### **Sprachaudiometrische Tests:**

Dichotischer Diskriminationstest nach Uttenweiler

Dieser Test wurde 1980 von Uttenweiler konzipiert und ist im Gegensatz zum dichotischen Diskriminationstest nach Feldmann für Kinder ab dem fünften Lebensjahr geeignet [97]. Dem Probanden werden gleichzeitig zwei verschiedene dreisilbige Wörter dargeboten; diese muss er nachsprechen. Im Jahr 2000 wurde von Berger et al. ein strengerer Auswertemodus entwickelt, der den Vorteil hat, dass eindeutigere Ergebnisse und eine höhere Validität erreicht werden [10].

### Sprachverständlichkeitstest im Störgeräusch

Dieser soll die Selektionsfähigkeit des Probanden testen. Das Sprachmaterial für die Darbietung im Störgeräusch sollte aus Sätzen bestehen, da diese die höchste Verständlichkeitskurve aufweisen [103]. In der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie in Marburg und in dieser Studie wird der Oldenburger Satztest angewendet, bei dem 5-Wort-Sätze dargeboten werden. Zusammen mit einem Störgeräusch werden diese binaural dargeboten und sollen vom Probanden wiederholt werden. Eine ausführliche Darstellung erfolgt in Kapitel 3.2.

### Messung zum Richtungsgehör

Um die auditive Lokalisation zu prüfen, werden fünf Lautsprecher im 45°-Abstand im Halbkreis vor der Testperson aufgebaut. Aus einem der Lautsprecher ertönt ein Signal, das der Proband orten muss. Da in der Hörbahn aber Laufzeitunterschiede bis zu 3° verrechnet werden können, ist diese Methode nur orientierend und kann leichte und mittelgradige Störungen nicht erfassen.

Kontrovers diskutiert wird die Bedeutung von **nonverbalen psychoakustischen Tests**, die zeitliche Parameter eines Reizes prüfen. Z.B. ermittelt der Gap-detection-Test bis zu welcher Dauer zwischen zwei Stimuli diese noch separat wahrgenommen werden. Das ermittelte Interstimulusintervall wird als Ordnungsschwelle bezeichnet [18, 64]. In einer Abhandlung über AVWS bei Schulkindern stellen Nickisch et al. die Meinungen verschiedener Autorengruppen vor: Die eine Seite sieht diese so genannten basalen auditiven Fähigkeiten (auch: low-level-Funktionen) als Voraussetzung für das Erlernen von lautdiskriminatorischen Fähigkeiten. Ihrer Auffassung nach ist die Differenzierung von ähnlichen Lauten wie /ba/ und /pa/ oder /da/ und /ta/ nur über zeitliche Analysen möglich. Der entscheidende Unterschied bestehe in der Länge des geräuschfreien Intervalls zwischen Konsonant und Vokal und der Länge des Transienten. Eine zu geringe zeitliche Auflösung bewirke somit eine verringerte Wahrnehmungstrennschärfe. Kontrahenten hingegen hielten diese Tests für überflüssig. Da Diskriminationsleistungen auf höheren Perzeptionsebenen stattfänden, würden auch nur Tests, die Sprachmaterial

enthalten und somit anspruchsvoller sind, eine zuverlässige Diagnose liefern [64].

### **Psychometrische Tests:**

Die meisten dieser Tests wurden nicht primär für die AVWS-Diagnostik entwickelt, sondern entstammen verschiedenen Testinventaren, die zur Evaluation der kindlichen Entwicklung im Allgemeinen und der Sprachentwicklung im Besonderen eingesetzt werden.

#### Subtest Zahlenfolgengedächtnis aus PET<sup>5</sup> und Mottier-Test

Während beim Zahlenfolgegedächtnistest Zahlen in ansteigender Menge vorgetragen werden, setzt sich das Material im Mottier-Test aus Kunstsilben zusammen (Bsp. ge-bi-da-fi-no). Beide Tests erfordern das Nachsprechen des Gehörten in der richtigen Reihenfolge und fordern somit Speicherungs- und Sequenzierungsfähigkeiten des Probanden. (Für weitere Informationen zum Mottier-Test: [78])

#### Subtest Lautdifferenzierung aus H-LAD<sup>6</sup>

Dieser Test umfasst die Kategorien auditiv (gehörte Laute müssen als „gleich“ oder „unterschiedlich“ bewertet werden), kinästhetisch (der gehörte Laut wird nachgesprochen) und Analyse (Identifizierung der Position von Lauten).

#### Subtest Laute verbinden aus PET

Bekannte Wörter werden vom Testleiter in Laute aufgegliedert vorgetragen und müssen vom Probanden zusammengesetzt werden (Bsp. F-uß). Hierfür sind Synthesefähigkeiten von Nöten.

#### Subtest Wörter ergänzen aus PET

Hier werden die Wörter vom Sprecher unter Auslassung von Konsonanten aufgesagt (Bsp. Scho-olade), diese müssen vom Probanden rekonstruiert werden (Teilleistung: Ergänzung).

---

<sup>5</sup> Psycholinguistischer Entwicklungstest

<sup>6</sup> Heidelberger Lautdifferenzierungstest

Während der Durchführung der Tests gibt die Verhaltensbeobachtung der Kinder weiterhin Aufschluss über Aufmerksamkeit und Motivation. Starzacher [92] entwickelte einen Aufmerksamkeitstest (CAPT, Continuous Attention Performance Test), der zwischen auditiver und visueller Aufmerksamkeit unterscheiden und vergleichen kann. Folglich ist dieser Test in der Lage, eine Modalitätsspezifität gegenüber supramodalen Störungen abzugrenzen.

All den aufgezählten sprachaudiometrischen, psychoakustischen und psychometrischen Tests ist gemein, dass es ihnen an zuverlässigen Testgütekriterien mangelt und unzureichende altersstandardisierte Normierungen vorliegen, so dass eine vorsichtige Testinterpretation geboten ist. Erste Schritte bezüglich Normwerterhebungen und Standardisierungen sind zwar von Nickisch [64] und Wohlleben [106, 107] gegangen worden, doch es besteht weiterhin Forschungsbedarf. Die meisten Testergebnisse weisen hohe Varianzen auf, so dass nur schwer ein Cut-off-Wert zwischen gesunden und kranken Kindern festzulegen ist.

Ein weiteres Problem stellt die Validität dar. Da es sich um subjektive Messverfahren handelt, werden auch höhere zentrale Funktionen beansprucht (Vigilanz, Aufmerksamkeit, Motivation). Folglich ist nicht gewährleistet, dass der Test das misst, was er zu messen beabsichtigt (niedrige interne Validität) [35]. Außerdem fehlt ein Außenkriterium, mit dem die Validität hätte überprüft werden können [44, 107].

Abb. 2.5 zeigt, dass die aufgeführten Tests nicht nur die jeweils gewünschte Teilleistung, sondern auch andere Funktionen messen.

	Aufmerksamkeit	Lokalisation	Figur-Hintergrund	Diskrimination	Sequenz	Analyse/Synthese
PET (Zahlenfolgegedächtnis)	■				■	
Mottier-Test	■			■	■	
HSET (Sätze nachsprechen)	■				■	■
Laute verbinden	■					■
Worte ergänzen	■					■
Lautdiskrimination	■			■		
Dichotisches Hören	■					
Zeitkomp. Sprache	■			■		■
Sprache im Störschall	■		■	■		
Sprachverständlichkeit	■			■		
Ordnungsschwelle	■	■				
MMN		■		■		

Abbildung 2.5: Darstellung der mit verschiedenen Untersuchungsverfahren überprüfbaren Teilaspekte der auditiven Wahrnehmung (aus: [105], S. 282)

Aufgrund dieser Umstände ist die Untersuchung der Aussagekraft von **objektiven Testverfahren** immer wieder Bestandteil von Studien [21, 42, 48, 56]. So sollen im Rahmen von frühen akustischen Potentialen (BERA) ermittelte binaurale Differenzpotentiale die Prozesse der binauralen Interaktion objektivieren [27, 28], während die Messung später akustischer Potentiale (CERA) elektrische Aktivität im Kortex belegt. Als Teilkomponente der CERA hat insbesondere die Mismatch Negativity (MMN) an Bedeutung gewonnen. Im Gegensatz zum typischen Wellenmuster P1-N1-P2-N2-(P3) tritt diese nicht obligat auf, sondern nur dann, wenn nach einer Fülle von Standardreizen ein in Frequenz, Dauer, Intensität oder Sprachsignal abweichender Reiz (Deviant) geboten wird; die MMN ist demnach ein objektives Maß für die vorbewusste auditorische Diskriminationsfähigkeit. Vorteil dieses Parameters ist, dass er bei Kindern unabhängig vom Vigilanzniveau und vom Entwicklungsstand des auditiven Systems erhoben werden kann [21].

Die Hoffnung, mit Hilfe dieser objektiven Untersuchungen AVWS-erkrankte von gesunden Kindern zu trennen, hat sich aufgrund der starken interindividuellen Unterschiede in Bezug auf Latenzen und Amplituden (wahrscheinlich aufgrund unterschiedlicher Reifungsstadien) leider nicht aufrechterhalten können; wohl aber eignen sich diese Parameter zur Therapiekontrolle [42, 56, 66]. So haben Jirsa [42] und Mühler et al. [56] Normalisierungen des CERA-Wellenmusters

und eine Zunahme der MMN unter Training nachgewiesen. Erstere wurden anhand der Ausprägungsklassen von Esser [30] bestimmt.

Ob der Fülle von Testverfahren stellt sich in der Praxis die Frage nach einem zeit- und ressourceneffektiven, standardisierten Vorgehen. Kiese-Himmel schlägt vor, dies mit Hilfe einer minimalen obligaten Testbatterie zu erreichen [44]; andere Autoren empfehlen einen zweischrittigen Ansatz, indem nach Ausschluss der peripheren Hörstörung und einer intellektuellen Minderbegabung ein AVWS-Screening erfolgen sollte. Zum Beispiel fand Nickisch [62, 64] heraus, dass auffällige Ergebnisse im Mottier-Test, im H-LAD und in einem der Sprachverständnistests im Störgeräusch mit einer kumulierten Sensitivität von 100% das Vorliegen einer AVWS wahrscheinlich machen. Aufbauend auf diese Erkenntnisse modifizierte Nickisch o. g. Tests, normierte sie und entwickelte hieraus ein Screening-Verfahren namens MAUS (Münchener auditiver Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen) [63]. In den USA wurden entsprechende Überlegungen schon sehr viel früher angestellt. Üblich ist dort der so genannte SCAN [5, 58], der drei Tests umfasst und in der Lage ist, mögliche AVWS-erkrankte von gesunden Kindern zu trennen.

Erst hiernach sollte man die komplette Testbatterie anwenden, um – in Anlehnung an das in 2.1.4 vorgestellte Modell – die verschiedenen Teilleistungen zu eruieren, so dass für jedes betroffene Kind ein individuelles Leistungsprofil mit seinen Stärken und Schwächen entsteht [8]. Daraufhin lässt sich eine auf das Leistungsprofil abgestimmte Therapie finden, die individuell auf das Kind und seine speziellen Probleme eingeht.

### 2.2.5 Therapeutische Ansätze

Aus der Heterogenität des Krankheitsbildes AVWS lässt sich schlussfolgern, dass auch das Therapieregime sehr unterschiedlich aussehen kann. Je nach individuellen Defiziten, aber auch je nach Ressourcen des Kindes und des Umfelds lassen sich individuelle Strategien entwickeln [9].

Es besteht also kein Status quo, nicht die Erfolgsstrategie, nach der sich alle richten können. Auch gibt es bis dato nur wenige Studien, die die Effektivität der

derzeitig üblichen Therapieansätze untersuchen. Mit den bisher bekannten Ansätzen ist eine Besserung, aber keine Heilung möglich.

Sowohl in der angloamerikanischen als auch in der deutschen Literatur wird ein dreischrittiger Ansatz empfohlen [3, 5, 11, 65]:

1. Übende Verfahren
2. Kompensatorische Verfahren
3. Modifikation der Hörumgebung

Diese drei Ansätze sollen miteinander kombiniert werden.

Die auf dem Teilleistungskonzept basierenden **übenden Verfahren** dienen dem Ziel, die Defizite des Kindes zu trainieren und die betroffenen Teilleistungen zu verbessern. Zumeist handelt es sich bei den Übungseinheiten um Sprachmaterial, von denen man einen Transfereffekt erwartet, d.h. die Übung zu einer Teilleistung hat positive Auswirkungen auf die Funktion anderer Teilleistungen und wahrscheinlich auch auf die Lese-Rechtschreib-Leistung. Andere Studien haben herausgefunden, dass der Einsatz defizitorientierter Übungen erfolgreicher ist als der unspezifische Einsatz der zur Verfügung stehenden Übungen [5, 49]. Der Einsatz von sprachfreiem Material hingegen ist umstritten, da kein nennenswerter Transfereffekt nachweisbar ist [64].

Lauer [49] empfiehlt ein wöchentliches Treffen mit einem Trainer, der die Übungen erklärt, und tägliche, häusliche Übungen von ca. 15 Minuten Dauer. Supportiv können Software-Programme eingesetzt werden. Sie stellen die Übungen in spielerischer Form für PC zur Verfügung und sind im Zuge unseres medialisierten Zeitalters imstande, die Motivation des kleinen Patienten zu steigern. Der therapeutische Erfolg ist maßgeblich von der Motivation des Kindes und dem Engagement der Eltern während der häuslichen Übungen abhängig.

**Kompensatorische Verfahren** arbeiten mit den Ressourcen und Stärken, auf die ein Kind zurückgreifen kann. Es kann sich hierbei sowohl um auditive Teilleistungen handeln, die nicht beeinträchtigt sind, als auch um andere Sinnesmodalitäten und kognitive Strategien.

So können visuelle Hilfen genutzt werden, indem das Mundbild des Gegenübers beobachtet wird oder Hilfsmittel, wie z.B. Overhead-Projektor oder

Tafelbild genutzt werden. Auch können rhythmisch-motorische und kinästhetisch-taktile Elemente die Therapie unterstützen. Daneben werden metalinguistische und metakognitive Verfahren eingesetzt, deren Inhalte Chermak et al. aufführen [23].

Der dritte Ansatz umfasst die **Modifikation der Hörumgebung**, die eine verbesserte Signalqualität zum Ziel hat. Dies betrifft vor allem Veränderungen, die im Lebensraum Schule vorgenommen werden. So sollte das betroffene Kind etwa vorne seitlich im Raum platziert sein, so dass es nah am Lehrer sitzt und ihn, aber auch seine Mitschüler im Blick hat, um deren Mundbilder lesen zu können. Kleine Klassengrößen tragen zur Verbesserung der akustischen Bedingungen bei. Weiterhin sollten mögliche Geräuschquellen, hervorgerufen durch technische Geräte oder offene Türen, eliminiert werden bzw. möglichst weit weg vom betroffenen Kind sein. Der Lehrer trägt zur Verständlichkeit bei, indem er seine Aussprache möglichst gut artikuliert, zu den Kindern gewandt spricht und seinen Unterricht mit visuellen Hilfen untermauert.

Als besonders effektiv würde sich die Einhaltung gewisser baulicher Maßnahmen erweisen. Diese sind allerdings meist nicht kurzfristig zu realisieren, da planungsintensiv und kostspielig [16, 85]. Der Schulraum sollte bezüglich der Schallisierungen von Fenstern und Türen den baulichen Normen entsprechen und außerdem mit Teppichboden ausgelegt sein, es sollten Gardinen vorhanden sein und die Stühle sollten Stopper unter den Füßen haben. All diese Maßnahmen vermindern Reflexions- und Nachhalleigenschaften und tragen somit erheblich zu einem angenehmen akustischen Umfeld bei [16].

Für einige Kinder ist die Verwendung einer FM-Anlage indiziert. Mit Hilfe dieses Geräts kann der Betroffene den Lehrer besser verstehen, da der Signal-Rausch-Abstand und auch oben genannte Reflexions- und Nachhalleigenschaften verbessert sind.

Die Untersuchung der Effektivität dieser FM-Anlage ist Hauptbestandteil der vorliegenden Arbeit, weshalb ihre Funktionsweise im anschließenden Kapitel detailliert beschrieben wird.



Zur Prognose der AVWS kann derzeit noch keine Aussage gemacht werden. Erste Studien versuchen Effizienz und Wirksamkeit der Therapieansätze zu untersuchen, was auch den Kostenträgern gegenüber von Nöten ist [38, 39, 64]. Es wird postuliert, die Therapie möglichst früh zu beginnen, um die Plastizität des jungen Gehirns zu nutzen [30, 59]. Auf diese Weise sei der Therapieerfolg am größten und die Wahrscheinlichkeit für residuale Defizite und eine sich entwickelnde Lese-Rechtschreib-Störung vermindert.

### 2.3 Wirkweise und Funktion der FM-Anlage

Einen möglichen Therapiebaustein in der Behandlung der AVWS stellt also die Nutzung einer FM-Anlage dar. Es handelt sich hierbei um ein drahtloses Funksystem, welches aus einem Sendergerät mit Mikrophon und einem Empfängergerät besteht. Mittels Radiofunkwellen wird das Signal, das der Sprecher erzeugt, zum im Ohr des Kindes sitzenden Gerät gesandt. Die Distanz zum Sprecher wird hierbei überwunden und es resultieren verbesserte Signal-Rausch-Abstände und verbesserte Nachhallbedingungen.

Um die Funktionsweise der FM-Anlage zu verstehen, gilt es einen Blick in die Modulationstechnik zu werfen. Dieser Bereich der Elektrotechnik ist sehr groß und hat in den letzten zwanzig Jahren an Komplexität gewonnen. Zu den Anwendungsbereichen gehören diverse Errungenschaften der Telekommunikationstechnik, wie z.B. Handy, Telefon, Internet und Navigationssysteme (UMTS, WLAN, etc.). Diesen ist gemein, dass eine digitale Verarbeitung der Modulation stattfindet. Dabei können verschiedene Parameter einer Schwingung verändert werden, so z.B. Amplitude, Phase und Frequenz. Im herkömmlichen Radio und auch bei der FM-Anlage kommt ein analoges Verfahren zum Einsatz, bei dem die Frequenzen moduliert werden. Amplitudenmodulation spielt in diesem Kontext keine Rolle, da sie zu undynamisch und außerdem störanfälliger als die Frequenzmodulation ist. Aus diesem Grund beschränke ich mich in meinen Ausführungen darauf, die analoge Technik der Frequenzmodulation zu skizzieren. Ziel der Frequenzmodulation ist es, Informationen in Form von Daten oder Sprache zu

transportieren. Da die gesprochene Sprache aber so niederfrequent ist, dass sie in Luft nicht ohne weiteres transportiert werden kann, bedarf es eines hochfrequenten Trägers (lt. [103] 44,1 MHz, lt. [47, 51] 72-78 MHz bzw. bei Störungen alternativ 216-217 MHz). Dessen Eigenschaften ermöglichen einen verlustarmen Transport zum Empfänger. Bevor das Audiosignal seinen Zweck erfüllen kann, muss es noch demoduliert werden, d.h. es wird wieder vom Träger abgekoppelt. Breitbandfilter sorgen dafür, dass das Informationssignal möglichst vollständig vom Rauschen der Trägerfrequenz getrennt wird. Nur so kann die extrahierte Information vom Empfänger störungsfrei genutzt werden. Trägerfrequenz und die Frequenz des Audiosignals stehen immer im festen Zahlenverhältnis zueinander. Sie sind proportional und nehmen die Form von Cosinusschwingungen an. [33, 37]

Die Idee, das Prinzip der Frequenzmodulation für die Hörgerätetechnologie zu nutzen, nahm schon in den 60er Jahren Gestalt an. Seitdem arbeiten die Firmen Phonak, Siemens und andere daran, die Geräte leistungsfähiger, handlicher und bezüglich der Klangqualität besser zu gestalten. Die Herstellung erfolgte ursprünglich für Hörgeräteträger. Verschiedene Fabrikate können mit herkömmlichen Hörgeräten, in Knochen implantierten Hörgeräten (sog. bone anchored hearing aid, BAHA) und Cochlear-Implantaten gekoppelt werden und sorgen dafür, dass Betroffene auch in störräuschreicher Umgebung kommunizieren können.

Mittlerweile wird auch gesundes Klientel angeworben und eine Nutzung von FM-Anlagen in Konferenzen, bei Geschäftsessen, in der Kirche, aber auch zu Hause, z.B. beim Musik hören oder Fernsehen empfohlen [69, 82].

Der Gedanke, FM-Anlagen als Hilfestellung für verarbeitungs- und wahrnehmungsgestörte Kinder einzusetzen, ist noch nicht alt – genauso wie die Anerkennung der Krankheit selbst. Einerseits sind diese Kinder nicht hörgeschädigt im engeren Sinne, so dass einige der Anwendung von FM-Anlagen in diesem Kontext kritisch gegenüber stehen. Andererseits hat dieses Patientenkollektiv ernsthafte Probleme, im (Schul-)Alltag zu hören und zu kommunizieren, die Notwendigkeit einer FM-Anlage ist hier um einiges plausibler als bei o. g. gesunder Klientel. Solange die Existenz des Krankheitsbildes und die Indikation einer FM-Anlage angezweifelt werden,

bleibt auch die Frage nach dem Kostenträger offen. Noch wird die Indikation einer FM-Anlage bei normalhörenden Kindern eingehend geprüft und die Kosten werden nur im Einzelfall erstattet.

## 2.4 Fragestellungen

Die FM-Anlage als Baustein in der Therapie der AVWS wurde hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Effizienz bisher kaum untersucht. Durch die Überwindung der Distanz zwischen Sprecher und Hörer bewirkt der Einsatz solch eines Geräts eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes (SRA) und verkürzte Nachhallzeiten. Dies sollte zu einer Verbesserung der Hörsituation führen, weswegen sich ein positiver Therapieeffekt vermuten lässt.

In der vorliegenden Studie soll nun die Verbesserung des SRA, welche infolge der Nutzung einer FM-Anlage zu erwarten ist, quantifiziert werden.

Die zentrale Frage lautet:

1. Verbessert eine FM-Anlage den Signal-Rausch-Abstand?

Des Weiteren wird untersucht, inwieweit die Testergebnisse und der Betrag der SRA-Verbesserung altersabhängig sind und ob sich AVWS-diagnostizierte und gesunde Kinder in deren Ausprägung unterscheiden.

2. Sind die Testergebnisse und/oder die Verbesserung des SRA durch die FM-Anlage altersabhängig?
3. Besteht ein Unterschied zwischen gesunden und auffälligen Kindern in Bezug auf die Verbesserung des SRA?

## 3 Methoden

Um die Wirksamkeit einer FM-Anlage zu evaluieren, erfolgt die Testung in störgeräuschreicher Umgebung. Als Testinstrument dient der Oldenburger Satztest (OLSA), der das Sprachverständnis im Störgeräusch untersucht. Dieser Test wird einmal ohne und einmal mit FM-Anlage im Störgeräusch durchgeführt, so dass für jeden Probanden ein Wertepaar vorliegt, das einen unmittelbaren Vergleich und die Berechnung des quantitativen Nutzens ermöglicht.

Das Patientenkollektiv umfasst Kinder mit Schwierigkeiten in der Figur-Hintergrund-Wahrnehmung. Diese haben zum Teil eine diagnostizierte AVWS, andere bieten nur bezüglich dieser einen Teilleistung Auffälligkeiten. Weiterhin werden gesunde Kinder getestet, um die allgemeine Wirksamkeit der FM-Anlage zu belegen.

### 3.1 Zusammenstellung der Stichprobe

Insgesamt nahmen 66 Kinder an der Studie teil, davon 39 Jungen und 27 Mädchen. Eingeschlossen wurden Kinder von sechs bis einschließlich elf Jahren; dies entspricht im Allgemeinen dem Grundschulalter. Ausschlusskriterium bildet der Testabbruch im Sinne des OLSA-Handbuches (Erläuterung hierzu in Kapitel 3.4).

Alle Probanden gehören zum Patientenkontext der Marburger Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie. Die Eltern der Kinder wurden mittels Aufklärungsblattes über den geplanten Versuchsablauf, über Belastung und Risiko sowie über den Datenschutz unterrichtet. Sie gaben ihr Einverständnis durch Unterzeichnen einer entsprechenden Erklärung. Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte in anonymisierter Form. Im Rahmen der ärztlichen Schweigepflicht wurden die persönlichen Daten der Kinder (Name, Geburtsdatum, Anschrift) vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Für die Bildung einer Kontrollgruppe wurden Familien angesprochen, die sich mit ihrem Kind zur AVWS-Diagnostik in der Sprechstunde vorstellten. Bei diesen Kindern gab es also von Seiten des Lehrers, der Familie oder des betreuenden Kinderarztes einen Hinweis auf AVWS, woraufhin in unserer Klinik entsprechende diagnostische Schritte eingeleitet wurden. Erzielten diese Kinder im Oldenburger Satztest ein unauffälliges Testergebnis, wurden sie dieser Gruppe zugewiesen. Es wurde zusätzlich eine Messung mit FM-Anlage durchgeführt, um die allgemeine Wirksamkeit des Geräts zu ermitteln.

Weiterhin wurden alle Patienten angeschrieben, die die Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie Marburg im Jahr 2007 und Anfang 2008 zwecks AVWS-Diagnostik besuchten und ein zu den Zeitpunkten auffälliges OLSA-Ergebnis aufwies. Der Brief enthielt ein Informations- und Aufklärungsblatt über Inhalte und Zielsetzung der Studie und eine Einverständniserklärung. Die Familien wurden gebeten, letztere unterschrieben und unter Angabe der Telefonnummer im beigefügten frankierten Rückumschlag zurückzuschicken, falls Interesse an einer Teilnahme bestehe. Die Terminabsprache mit den interessierten Familien erfolgte telefonisch. Die Messungen fanden dann einmalig in funktionsdiagnostischen Räumlichkeiten der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie statt.

Abhängig vom OLSA-Testergebnis, das bei diesem Termin erhoben wurde, ergaben sich zwei Subgruppen:

Ein Teil der Probanden bot auch diesmal ein auffälliges Ergebnis; für diese Gruppe war die Untersuchung der Nutzung einer FM-Anlage besonders wichtig, da dieses Gerät für sie eine Therapieoption darstellt. Für die Familien gab es also auch ein eigenes Interesse an der Studie teilzunehmen, weil dadurch die Möglichkeit bestand, das Gerät kennen zu lernen.

Andere Kinder zeigten bei diesem Termin keine Probleme mit dem Sprachverständnis im Störgeräusch. Hier ist davon auszugehen, dass im vergangenen Zeitraum von ein bis zwei Jahren Therapieerfolge zu verzeichnen waren oder das verbesserte Ergebnis auf die allgemeine Entwicklung des Kindes zurückzuführen war. Auch bei dieser Gruppe wurde der Oldenburger Satztest anschließend mit FM-Anlage durchgeführt, um die Wirksamkeit dieses

Geräts zu testen und direkt mit den vorher erhobenen Messwerten zu vergleichen.

Alle übrigen Kinder erfüllten Ausschlusskriterien oder konnten keiner der Gruppen zugeordnet werden.

Hier die Definition der Subgruppen in der Übersicht:

Gruppe 1 OLSA einfach unauffällig

Gruppe 2a OLSA erstmals auffällig, im Re-Test unauffällig

Gruppe 2b OLSA erstmals auffällig, im Re-Test ebenfalls auffällig

Der Untersuchungen fanden im Zeitraum zwischen November 2007 und August 2008 statt.

### 3.2 Konzeption des Oldenburger Satztests (OLSA)

Der Oldenburger Satztest ist einer der neueren sprachaudiometrischen Tests [45] und zeichnet sich dadurch aus, dass er im Störgeräusch anwendbar ist. Hiermit lässt sich die Teilleistung „Selektion“ prüfen.

Infolge der Darbietung von Sätzen lässt sich die Sprachverständlichkeitsschwelle L50 messen. Diese ist definiert als der Signal-Rausch-Abstand, bei dem 50% der Wörter richtig verstanden werden.

#### 3.2.1 Das Sprachmaterial

Die Sätze bestehen aus jeweils fünf Wörtern nach dem Schema Name-Verb-Zahlwort-Adjektiv-Objekt. Für jeden Satzteil gibt es zehn Wörter zur Auswahl, so dass es 50 verschiedene Wörter und somit  $10^5$  Möglichkeiten gibt, die Sätze zu bilden [97].

<b>Name</b>	<b>Verb</b>	<b>Zahlwort</b>	<b>Adjektiv</b>	<b>Objekt</b>
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.

Tabelle 3.1: Basisliste des OLSA (mod. n. [67], S. 11)

Bei der Auswahl der Testwörter wurde darauf geachtet, die mittlere Phonemverteilung der deutschen Sprache abzubilden und häufig vorkommende Wörter zu wählen. So wurden bei der Auswahl der Vornamen die gebräuchlichsten Namen seit den 50er Jahren berücksichtigt. Außerdem sollte gewährleistet sein, dass die verwendeten Wörter auch im Wortschatz von Grundschulkindern vorkommen, so dass der Test für diese Altersgruppe anwendbar ist [99].

Gesprochen wurde das Sprachmaterial von einem ungeschulten Sprecher, was den Vorteil hat, dass die Sätze nicht überartikuliert sind, sondern natürlich wirken. Die Sprechgeschwindigkeit ist mit einer Silbenanzahl von 233/min mäßig, so dass der Test auch mit CI-Trägern durchführbar ist [99].

### 3.2.2 Das Störgeräusch

Das Störgeräusch wurde mittels zufälliger und zeitversetzter 30facher Überlagerung des bestehenden Sprachmaterials erzeugt. Dadurch entstand ein Stimmengewirr, das als Rauschen wahrgenommen wird [99].

Herkömmliche Tests verwendeten zumeist ein stationäres sprachsimulierendes Rauschen, das auch CCITT-Rauschen<sup>7</sup> genannt wird. Fastl modifizierte dieses 1987 [31], indem er die spektralen Eigenschaften übernahm, aber die zeitliche Hüllkurve veränderte, so dass das Fastl-Rauschen sich dadurch vom CCITT-Rauschen unterscheidet, dass es nicht kontinuierlich, sondern intermittierend dargeboten wird. Der Vorteil am sprachsimulierenden Rauschen ist, dass es

<sup>7</sup> Comité Consultatif International Telegraphique et Telephonique

auch Frequenzen  $< 1\text{kHz}$  einschließt, die in Umweltgeräuschen vorkommen. Geräusche werden so in ihrer gesamten möglichen Frequenzbreite abgebildet. Allerdings arbeiteten Ingold et al. [40] die Vorteile des mittlerweile häufiger verwendeten Stimmengewirrs heraus: Zum einen sei dieses Störgeräusch von den Probanden am besten akzeptiert, zum anderen verfüge es über dasselbe Langzeitspektrum wie das Sprachmaterial, so dass eine optimale Verdeckung des Sprachsignals gewährleistet sei. Infolgedessen hat das Stimmengewirr gegenüber dem CCITT- und dem Fastl-Rauschen die steilste Diskriminationsfunktion, was den Vorteil hat, dass kleinste Änderungen des Signal-Rausch-Abstandes eine große Änderung des Sprachverständnisses zur Folge haben und somit ein genaues Messergebnis zustande kommt. [40, 77]. Auch beinhaltet das Kreieren eines Stimmengewirrs die Simulation der so genannten Cocktail-Party-Situation, der man häufig ausgesetzt ist. Im OLSA werden die Sätze vom Rauschen vorher und nachher je eine halbe Sekunde überdauert. Dazwischen ist eine Pause [67]. Das auf Track 61 befindliche CCITT-Rauschen dient als Kalibrierungssignal.

#### 3.2.3 Optimierung der Testeigenschaften

Die Basisliste von insgesamt fünfzig Wörtern gewährleistet eine hohe Homogenität, d.h. dass sich die Sätze in ihrem Schwierigkeitsgrad ähneln und das erhobene Testergebnis unabhängig von der Auswahl der dargebotenen Sätze ist.

Dem gegenüber steht der Anspruch, dass der Klang der Sätze möglichst natürlich sein soll. Dies ist bei Aneinanderreihung der einzelnen Wörter nicht gegeben, denn nur unter Beachtung der Koartikulation zwischen den Wörtern (Bindung zwischen End-Phonem des einen und Start-Phonem des folgenden Wortes) entsteht der Klangeindruck fließend gesprochener Sprache. Um dies zu erreichen, wurde von Wagener et al. [99] das Koartikulationsverfahren angewandt: Anstatt der zehn Sätze, in denen jedes der fünfzig Wörter einmal vorkommt, werden vom Sprecher hundert Sätze verlesen, so dass jeder Übergang zwischen zwei Wörtern einmal vorkommt. Mit diesem Material können dann alle möglichen Wörterkombinationen zusammengesetzt werden [99].



Aus dem expandierten Sprachmaterial resultiert zwar eine niedrigere Homogenität, die aber mittels Pegelangleichungen der Wörter wieder angehoben wird. Allerdings wurden keine Änderungen  $> 2$  dB durchgeführt, weil andernfalls wieder der natürliche Klang der Sätze beeinträchtigt worden wäre. Es wurde also versucht, zwischen diesen konträren Ansprüchen einen Kompromiss zu finden und die Testlisten bezüglich ihrer Homogenität und der Natürlichkeit im Klang zu optimieren [99].

Testlisten, die den Ansprüchen nicht gerecht waren, wurden aus dem Material entfernt. Die verbliebenen Sätze wurden zu Testlisten à 30 Sätzen zusammengesetzt. Zum Schluss stehen dem Anwender zwei Audio-CDs mit je 20 Testlisten à 30 Sätzen zur Verfügung. Je zehn Sätze werden in einem Track zusammengefasst. Nach jedem Satz erfolgt eine Pause von vier Sekunden, die aber durch das Bedienen der Pausetaste verlängert werden kann.

Durch die vielen Kombinationsmöglichkeiten und den geringen Sinngehalt der zufallsgenerierten Sätze besteht die Möglichkeit, den Oldenburger Satztest mehrmals zu wiederholen, ohne dass der Proband sich an die Sätze erinnern oder nicht verstandene Wörter erraten kann (geringe Redundanz, geringe Vorhersagbarkeit).

Um die o. g. Sprachverständlichkeitsschwelle L50 zu ermitteln, bedient man sich hier des adaptiven Messverfahrens. Dieses Prinzip wurde von Brand und Kollmeier [17] erarbeitet und ermöglicht eine hohe Messgenauigkeit bei minimalem zeitlichem Aufwand.

### 3.3 Verwendete Geräte

In der vorliegenden Studie findet ein Sender-Empfänger-System von der Firma Phonak Anwendung (s. Abb. 9.1 bis 9.3 im Anhang). Als Sender dient das Gerät Campus SX, das besonders für den Einsatz in Schulen geeignet ist. Dieses ist mit mehreren Mikrophonsystemen kompatibel, z.B. dem MM8-Ansteckmikrofon oder einem Headmikrofon namens MicroBoom. Letzteres kommt in unserer Studie zum Einsatz und ist auch im Schuleinsatz zu empfehlen, da der Mund des Sprechers hierbei näher am Mikrofon ist und

Störschalleinflüsse noch besser eliminiert werden als beim MM8-Mikrofon, das an Bluse oder Hemd angesteckt wird. In unserer Studie wurde das Gerät ausschließlich über das Netzteil betrieben, um ständig eine optimale Leistung zu gewährleisten. Im Alltag gilt es natürlich, das Gerät über Nacht aufzuladen und in der Schule kabellos zu betreiben.

Das Empfängergerät heißt EduLink und ist ebenfalls speziell für den Schulunterricht konzipiert. Es wird mit einer Knopfatterie vom Typ E312 betrieben, deren Laufzeit mit einer Dauer von 40-50 Stunden angegeben wird [71]. Die Anpassung des Geräts an das Ohr des Benutzers gelingt mit Hilfe einer Schablone, an der man die Silikon-Halterung des Geräts so biegt, dass sie der Ohrgröße entspricht. Anschließend befestigt man diese Halterung am Gerät und fixiert das Gerät am Ohr. In vorliegender Studie wird immer das Gerät für das rechte Ohr gewählt. Da beim Einsatz im Alltag oft nur ein Gerät verwendet wird und nicht zwei, entschloss ich mich in dieser Studie für den entsprechenden Versuchsaufbau.

#### 3.4 Versuchsaufbau und Durchführung

Ort der Messungen ist eine schallisolierte Hörkabine in der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie in Marburg. Als Arbeitsplatz dient der sog. Maico-Kindertisch, mit dessen Hilfe audiometrische Tests im Freifeld durchführbar sind (s. Abb. 9.5 im Anhang). Das hierin integrierte Lautsprechersystem besteht aus mehreren Lautsprechern, die auf einem Tisch radiär um den Probanden angeordnet sind und einem Deckenlautsprecher, der eine diffuse Schallentstehung simuliert. Gegenüber vom Probanden befindet sich der Arbeitsplatz des Untersuchungsleiters, der mit einem handelsüblichem Personalcomputer (PC), einem Audiokeyboard und einer Schaltfläche für die Lautsprechereinstellungen ausgestattet ist. Die zugehörige Audiometrie-Software läuft auf windowsfähigen PCs und ermöglicht es, diverse audiometrische Tests durchzuführen. Am Audiokeyboard lassen sich die Schallpegeländerungen vornehmen.

In dieser Studie wird die Software auf „Sprachaudiometrie“ eingestellt und auf die CD-Rom zugegriffen, die die Sätze des OLSA beinhaltet. Die auf der

Schaltfläche roten Symbole markieren den Nutzschaall-Lautsprecher und werden auf „frontal“ eingestellt; die blauen Symbole werden auf „diffus“ gestellt, so dass der Störschall aus einem in der Decke montierten Kugellautsprecher generiert wird. Alle anderen Lautsprecher und zur Verfügung stehenden Optionen werden nicht benötigt. Sowohl der Störschall- als auch der Nutzschaallpegel werden initial auf 65 dB geregelt.

Im Verlauf des Tests wird der Störschallpegel konstant bei 65 dB gehalten, während der Nutzschaallpegel, beginnend bei jeder neuen Testliste mit 65 dB, je nach Menge der wiedergegebenen Wörter verändert wird. Aus dem Sprachverständnis des gebotenen Satzes ergibt sich also der Schallpegel, mit dem der neue Satz dargeboten wird. Versteht die Testperson den jeweiligen Satz (nahezu) vollständig, wird der Schallpegel des Nutzschaalls verringert; hat die Testperson Schwierigkeiten beim Sprachverständnis, erhöht man den Pegel des Nutzschaalls.

In den Sätzen 1-5 erfolgen größere Schallpegeländerungen, um sich möglichst zügig der gesuchten Sprachverständlichkeitsschwelle anzunähern. Ab Satz 6 werden feinere Änderungen vorgenommen. Nach dem letzten Satz (Satz 30) wird noch einmal der Schallpegel für den vermeintlich nächsten Satz ermittelt. Die detaillierte Darstellung der vorzunehmenden Schallpegeländerungen in Abhängigkeit vom Sprachverständnis ist der Tabelle 3.2 zu entnehmen.

Satz 2 bis 5		Satz 6 bis 31	
Anzahl richtiger Wörter des vorangehenden Satzes	Pegeländerung [dB]	Anzahl richtiger Wörter des vorangehenden Satzes	Pegeländerung [dB]
5	-3	5	-2
4	-2	4	-1
3	-1	3	0
2	+1	2	0
1	+2	1	+1
0	+3	0	+2

Tabelle 3.2: Adaptive Pegeländerungen in Abhängigkeit des Wortverständnisses (mod. n. [67], S. 6)

Vor der Darbietung der Sätze wird die Testperson instruiert. Dies sollte zwecks Objektivitätskriterien immer nach dem gleichen Schema erfolgen. Es wird in etwa folgender Text gesprochen:

*Du hörst jetzt gleich eine Stimme, die dir Sätze mit jeweils fünf Wörtern vorspricht. Von der Decke kommt ein Rauschen, so dass es manchmal schwierig sein wird, jedes einzelne Wort zu verstehen. Deine Aufgabe ist es, so viele Wörter wie möglich zu verstehen und nachzusprechen. Auch einzelne Wörter sind wichtig und du darfst auch raten.*

*Bitte achte darauf, nah an der Tischkante zu sitzen und dich beim Hören nicht nach vorn zu beugen oder den Kopf zu drehen.*

*Hast du noch Fragen?*

Wie auch im OLSA-Handbuch empfohlen, werden dem Kind zunächst zwanzig Übungssätze dargeboten. Dies dient zum einen der Überprüfung, ob das Kind die Aufgabenstellung verstanden hat und in der Lage ist, sie auszuführen. Zum anderen dienen die Übungssätze der Kontrolle des Lerneffekts. Wagener et al. haben diesen Effekt zwecks Optimierung des Tests untersucht [99] und fanden heraus, dass über 60 Sätze hinweg ein Lerneffekt von etwa 1-2 dB erreicht wird. Der größte Lerneffekt, nämlich 1 dB, wird während der ersten zwanzig Sätze erzielt. Nach Darbietung der Übungssätze kann sich der Versuchsleiter während des Durchlaufs der eigentlichen Testliste (30 Sätze) sicher sein, dass die beobachteten Leistungen und errechneten Ergebnisse vom Lerneffekt weitgehend unabhängig sind. Während der gesamten Testung darf dem Probanden keine Rückmeldung über die Richtigkeit der Antworten gegeben werden.

Wenn zu keinem Zeitpunkt der Übungsphase eine Herabregelung des Nutzschalls unter 65 dB erreicht wird, ist der Testabbruch geboten [67]. In solch einer Situation geht man davon aus, dass das Kind in dieser Hörsituation nicht zurechtkommt oder die Aufgabenstellung nicht verstanden hat bzw. nicht kooperiert und weitere Testungen nicht zu verwertbaren Ergebnissen führen.

Nach der Messung der Sprachverständlichkeitsschwelle L50 ohne Hilfsmittel wird dem Kind und den Eltern die FM-Anlage gezeigt und erklärt. Es erfolgt der Testaufbau für die Messung des Sprachverständnisses im Störgeräusch mit FM-Anlage. Dabei wird der Sender an das Netzteil angeschlossen und das Headset etwa in 2 cm Abstand vor dem Frontallautsprecher positioniert, aus

dem der Nutzschall kommt. Als Halterung für das Mikrofon dient eine Stoffente, die auf dem Lautsprecher positioniert ist (s. Abb. 9.4 im Anhang). Das Empfängergerät wird in das rechte Ohr des Kindes platziert. Der Lautstärkereger im EduLink wird immer ganz aufgedreht, damit interindividuell gleiche Bedingungen gewährleistet sind. Wenn alle Vorbereitungen getroffen sind, wird das Sendergerät eingeschaltet und auf Kanal 33 eingestellt. Daraufhin sollte ein leiser Summton aus dem Empfängergerät zu hören sein, der anzeigt, dass Sender und Empfänger miteinander verbunden sind. Die Aufbauphase dient dem Kind als kurze Pause, in der es kurz entspannen kann. Mit der FM-Anlage wird eine weitere vollständige Testliste durchlaufen, wieder mit konstantem Störschall von 65 dB und dem zu variierendem Nutzschallpegel, beginnend bei 65 dB.

Der gesamte Testablauf dauert etwa 35-40 Minuten.

Zur Berechnung der Sprachverständlichkeitsschwelle wird der Mittelwert der ermittelten Schalldruckpegel für Satz 12 bis 31 gebildet. Von diesem wird der Störschallpegel subtrahiert (zumeist, und auch in dieser Studie, 65 dB). Der berechnete Wert stellt dann die Sprachverständlichkeitsschwelle bei einem Wortverständnis von 50% dar. Die Maßeinheit ist dB S/N. Werte zwischen -5 und -9 dB S/N werden als Normbereich definiert [99].

Diese Rechnung wird einmal für die Testliste ohne FM-Anlage und für die Testliste mit FM-Anlage durchgeführt, so dass ein direkter Vergleich zwischen den beiden Testergebnissen angestellt werden kann.

Auf Wunsch werden die Eltern über das Testergebnis informiert.

### 3.5 Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt mit dem Programm Microsoft Excel, Version 2003, der Firma Microsoft und der Software SPSS für Windows, Version 15.0.

Die Stichprobe und die erhobenen Messwerte (OLSA ohne/mit FM-Anlage) werden zunächst auf Normalverteilung geprüft. Der Vergleich von Mittelwert

und Median und eine Darstellung im Histogramm legten die Vermutung einer Normalverteilung nahe. Zusätzlich wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt, der ebenfalls eine Normalverteilung zeigte. Laut Weiß [102] erlaubt die Größe von Stichprobe und Subgruppen die Anwendung parametrischer Testverfahren ( $n > 15$ ).

Deshalb erfolgt die deskriptive Analyse mit Hilfe der Parameter Mittelwert und Standardabweichung und für die induktive Statistik kommen parametrische Testverfahren zur Anwendung. Dementsprechend erfolgen die Testungen auf statistische Korrelationen mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Pearson und für die Testungen auf Signifikanz werden zweiseitige t-Tests angewendet. Das Signifikanzniveau  $\alpha$  wird auf  $p \leq 0,05$  festgelegt. Die Aussagen werden mit einer Sicherheit von 95% getroffen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Statistik

#### 4.1.1 Beschreibung der Stichprobe

Von den 66 Kindern, die an der Studie teilnahmen, wurden zwölf nicht in die Auswertung einbezogen. Sieben davon konnten keiner der drei Gruppen zugeordnet werden. Es handelte sich hierbei um fünf Jungen und zwei Mädchen, die im Mittel  $7;4 \pm 0;7$  Jahre alt waren. Bei zwei Kindern (ein Junge,  $7;7$  Jahre, und ein Mädchen,  $6;6$  Jahre alt) musste der Test gemäß der Empfehlungen im OLSA-Handbuch abgebrochen werden, da in den zwanzig Übungssätzen kein Nutzschaallpegel  $< 65$  dB erreicht wurde.

Drei Kinder zeigten während des Testdurchlaufs Anzeichen von Überforderung, zunehmende Ermüdungserscheinungen bzw. mangelnde Kooperativität, so dass die Messung mit FM-Anlage verfälschte Werte lieferte (zwei Jungen,  $8;9$  und  $8;4$  Jahre; ein Mädchen,  $8;3$  Jahre alt).

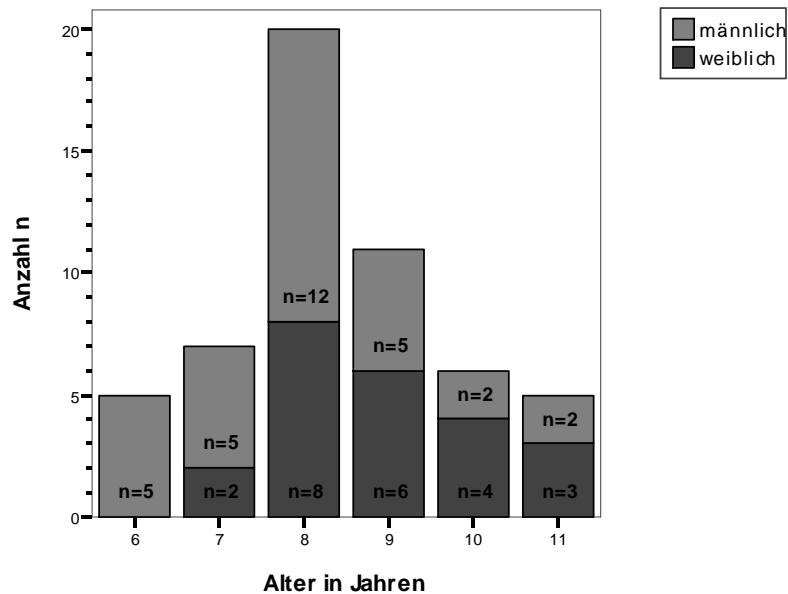
Die Ergebnisse, die im Folgenden vorgestellt werden, beziehen sich somit auf die verbleibenden 54 Datensätze, die die teilnehmenden Kinder lieferten.

Das mittlere Alter in dieser Stichprobe beträgt  $8;11 \pm 1;5$  Jahre ( $6;1-11;11$ ).

Die Kontrollgruppe (Gruppe 1) setzt sich aus 20 Kindern zusammen (12 Jungen, 8 Mädchen); sie sind im Mittel  $9;2 \pm 1;5$  Jahre alt ( $7;1-11;11$ ). In der Fallgruppe 2a befinden sich 17 Kinder (11 Jungen, 6 Mädchen); das mittlere Alter dieser Gruppe beträgt  $8;8 \pm 1;3$  Jahre ( $6;9-11;10$ ). Die Fallgruppe 2b besteht aus 17 Kinder (8 Jungen, 9 Mädchen), sie sind im Mittel  $8;11 \pm 1;6$  Jahre alt ( $6;1-11;9$ ).

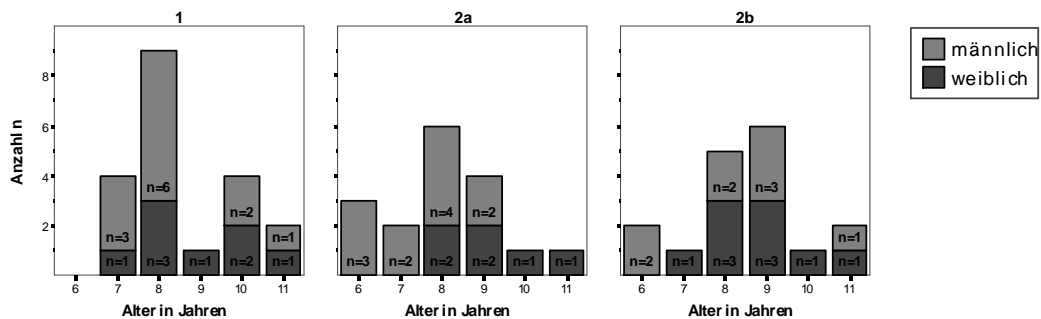
In den Abbildungen 4.1 und 4.2 sind die Geschlechter- und Altersverteilungen sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für die einzelnen Gruppen graphisch dargestellt.

### Verteilung von Alter und Geschlecht - gesamt



Graphik 4.1: Alters- und Geschlechterverteilung in der Stichprobe

### Verteilung von Alter und Geschlecht - in den jeweiligen Gruppen



Graphik 4.2: Alters- und Geschlechterverteilung in den Subgruppen

Bei keinem der Probanden wurde ein mittel- und/oder innenohrbedingter Hörverlust von mehr als 20 dB bei einer oder mehreren Hörprüffrequenzen im Bereich von 250 bis 6000 Hz gefunden.

Von den 54 Probanden haben acht Kinder eine gesicherte AVWS. Für 18 Kinder wurde eine Verdachtsdiagnose gestellt, weil sich Hinweise fanden, aber noch nicht sicher ist, ob sich eine AVWS manifestieren wird. Bei 28 Kindern wurde eine AVWS ausgeschlossen.



Diagnose	Anzahl n (%)	davon in Gruppe 1	davon in Gruppe 2a	davon in Gruppe 2b
Ausschluss einer AVWS	28 (51,9)	12	11	5
Verdacht auf AVWS	18 (33,3)	5	5	8
gesicherte AVWS	8 (14,8)	3	1	4
Summe	54 (100)	20	17	17

Tabelle 4.3: Zuordnung der verschiedenen Diagnosen zu den Subgruppen

Der Tabelle 4.3 ist zu entnehmen, wie sich die Diagnosen auf die Subgruppen verteilen: 12 der 28 Ausschlussdiagnosen betreffen die Kontrollgruppe und 11 die Gruppe 2a, also die Gruppe, die beim zweiten OLSA unauffällig war. Die restlichen fünf Ausschlussdiagnosen wurden bei Probanden aus Gruppe 2b gestellt. Vier davon waren in allen Tests bis auf den OLSA unauffällig, so dass nur eine auditive Selektionsschwäche, aber keine AVWS vorliegen kann. Ein Proband zeigte sich zwar in allen Tests auffällig, bot aber auch im CFT ein unterdurchschnittliches Ergebnis, so dass die beobachteten Schwierigkeiten eher auf intermodale und höher kognitive Störungen und nicht auf eine rein auditive Problematik zurückzuführen sind.

Bei den restlichen Kindern aus der Kontrollgruppe und der Gruppe 2a waren der Mottier-Test, Untertests aus dem H-LAD und/oder der Zahlenfolgegedächtnistest aus dem PET auffällig, so dass trotz unauffälligem OLSA die (Verdachts-)Diagnose AVWS gestellt wurde.

Vier Kinder aus Gruppe 2b waren neben dem OLSA auch in anderen Tests auffällig, so dass die AVWS als gesichert gilt. Bei acht Kindern dieser Gruppe bestehen zwar Hinweise auf eine AVWS, aber hier waren teilweise nur zwei der vielen Tests auffällig bzw. Ergebnisse im Grenzbereich erhoben worden. In diesen Fällen sind Kontrollen notwendig, um eine Entscheidung zu treffen.

Unter den Probanden sind ein Geschwisterpaar und zwei Zwillingspaare (zwei eineiige Jungen, ein zweieiiges Paar bestehend aus Junge und Mädchen).

#### 4.1.2 Beschreibung der erhobenen Parameter

Folgende Messwerte werden beim oben beschriebenen Kollektiv erhoben: Die Variable **OLSA<sub>sine</sub>** bezeichnet den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Oldenburger Satztest ohne FM-Anlage.

Der Messwert, der direkt im Anschluss mit FM-Anlage erhoben wurde, nennt sich **OLSAcum**.

Aus der Differenz zwischen diesen beiden Variablen berechnet sich die Veränderung des Signal-Rausch-Abstandes für 50%ige Sprachverständlichkeit. Dieser Parameter heißt **diffSVS**.

Im Folgenden werden für jede dieser Variablen die erhobenen Lage- und Streuungsmaße beschrieben.

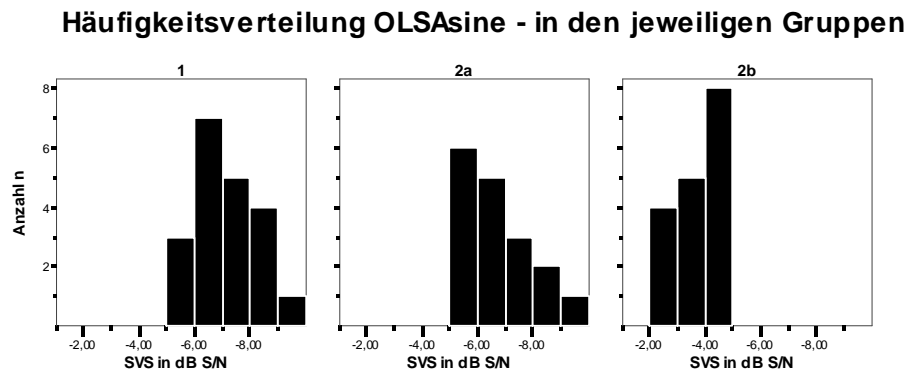
Für OLSAsine befindet sich die L50 gemäß der Definition der Gruppen in den Gruppen 1 und 2a im unauffälligen Bereich und in Gruppe 2b ist sie auffällig. Dieser Sachverhalt ist der Tabelle 4.4 und der Graphik 4.5 zu entnehmen.

N	Gültig	20
	Fehlend	0
Mittelwert		-7,1250
Median		-7,0500
Standardabweichung		1,07281
Minimum		-9,30
Maximum		-5,35

N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		-6,7029
Median		-6,3000
Standardabweichung		1,27640
Minimum		-9,75
Maximum		-5,30

N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		-3,7765
Median		-3,9000
Standardabweichung		,92282
Minimum		-4,90
Maximum		-2,00

Tabelle 4.4: Lage- und Streuungsparameter für die Variable OLSAsine in den Subgruppen



Graphik 4.5: Häufigkeitsverteilung der Variablen OLSAsine in den Subgruppen

Die Durchführung des Oldenburger Satztests im Störgeräusch mit FM-Anlage erfolgte direkt im Anschluss an die Messung ohne FM-Anlage. Die Variable OLSAcum liefert folgende Ergebnisse:

N	Gültig	54
	Fehlend	0
Mittelwert		-14,7037
Median		-14,9500
Standardabweichung		2,92694
Minimum		-21,00
Maximum		-7,50

N	Gültig	20
	Fehlend	0
Mittelwert		-15,9800
Median		-15,9500
Standardabweichung		2,44634
Minimum		-21,00
Maximum		-12,35

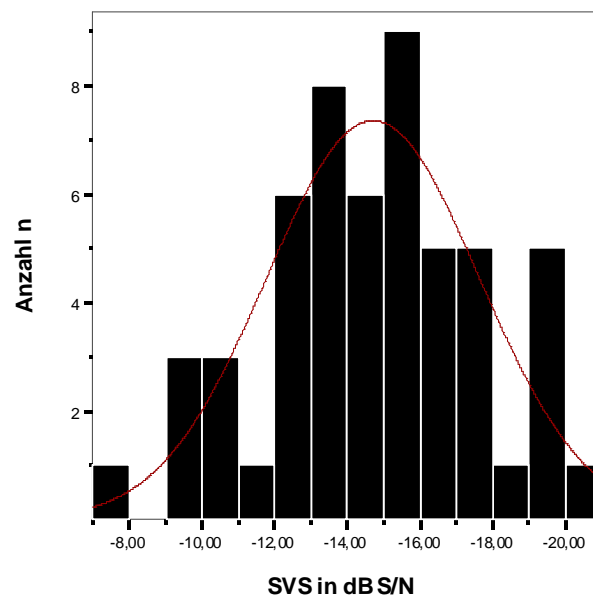
N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		-14,5971
Median		-14,9500
Standardabweichung		2,91121
Minimum		-19,15
Maximum		-9,45

N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		-13,3088
Median		-13,4000
Standardabweichung		2,94630
Minimum		-18,10
Maximum		-7,50

Tabelle 4.6: Lage- und Streuungsparameter für die Variable OLSA cum - gesamt und in den Subgruppen

Das gesamte Kollektiv erreichte mit Zuhilfenahme der FM-Anlage eine Sprachverständlichkeitsschwelle L50 von  $-14,7 \pm 2,93$  dB S/N. Aus den weiteren Tabellen geht hervor, dass die Kontrollgruppe die höchsten Werte erreicht (im Mittel  $-15,98 \pm 2,45$  dB S/N). Danach folgt die Gruppe 2a mit  $-14,60 \pm 2,91$  dB S/N. Gruppe 2b erreicht im Mittel  $-13,31 \pm 2,95$  dB S/N.

Abb. 4.7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Variablen OLSAcum.

**Häufigkeitsverteilung OLSAcum - gesamt**

Graphik 4.7: Häufigkeitsverteilung der Variablen OLSAcum

Für jedes Individuum wurde aus den gemessenen Variablen OLSAsine und OLSAcum die Differenz berechnet. Diese als diffSVS benannte Variable weist folgende Lage- und Streuungsparameter auf.

N	Gültig	54
	Fehlend	0
Mittelwert		8,7657
Median		8,9250
Standardabweichung		2,67770
Minimum		2,70
Maximum		13,85

N	Gültig	20
	Fehlend	0
Mittelwert		8,8550
Median		8,7750
Standardabweichung		2,18421
Minimum		5,85
Maximum		13,20

N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		7,8941
Median		8,6000
Standardabweichung		3,09656
Minimum		2,70
Maximum		13,85

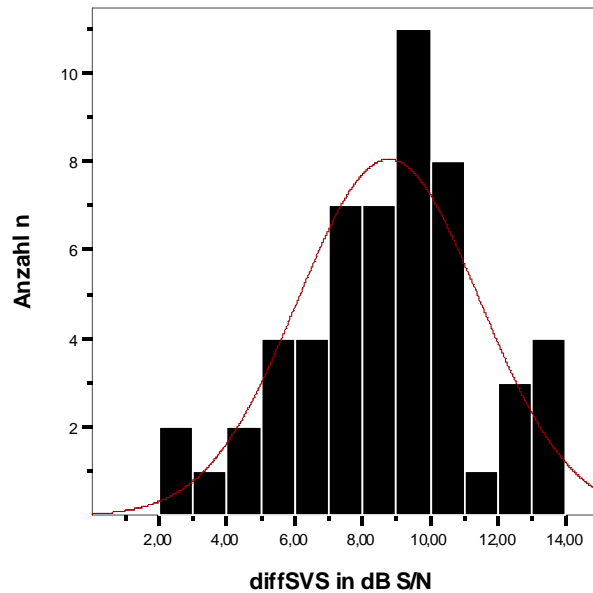
N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		9,5324
Median		10,2500
Standardabweichung		2,65618
Minimum		3,00
Maximum		13,45

Tabelle 4.8: Lage- und Streuungsparameter für die Variable diffSVS - gesamt und in den Subgruppen

Die größte Differenz zwischen dem Ergebnis ohne FM-Anlage und dem mit FM-Anlage erreichte die Gruppe 2b. Sie beträgt  $9,53 \pm 3,10$  dB S/N. Gruppe 1 erreichte eine Verbesserung von  $8,86 \pm 2,18$  dB S/N und die geringste Veränderung erzielte Gruppe 2a mit  $7,89 \pm 3,10$  dB S/N.

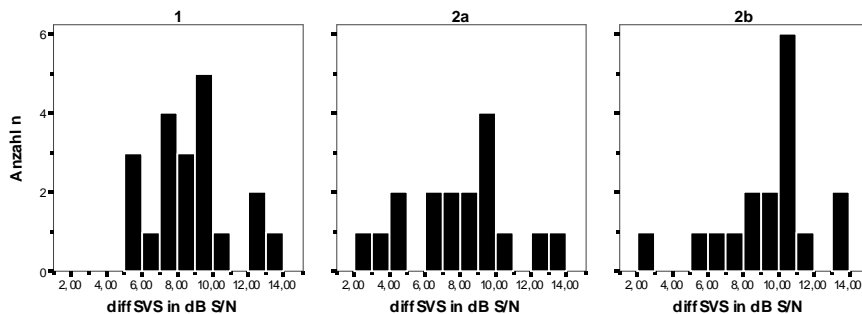
Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse ist in den Graphiken 4.9 und 4.10 zu sehen.

### Häufigkeitsverteilung diffSVS - gesamt



Graphik 4.9: Häufigkeitsverteilung der Variablen diffSVS in der Stichprobe

### Häufigkeitsverteilung diffSVS - in den jeweiligen Gruppen



Graphik 4.10: Häufigkeitsverteilung der Variablen diffSVS in den Subgruppen

Die Kinder der Gruppen 2a und 2b sind Teil eines Klientels, das den Oldenburger Satztest im Störgeräusch bereits in 2007 und Anfang 2008 im Rahmen der AVWS-Diagnostik durchführte und auffällige Ergebnisse lieferte. Diese werden im Parameter preOLSA zusammengefasst und sind im Folgenden dokumentiert.

N	Gültig	33
	Fehlend	21
Mittelwert		-3,2455
Median		-3,5000
Standardabweichung		1,30254
Minimum		-4,85
Maximum		-,45

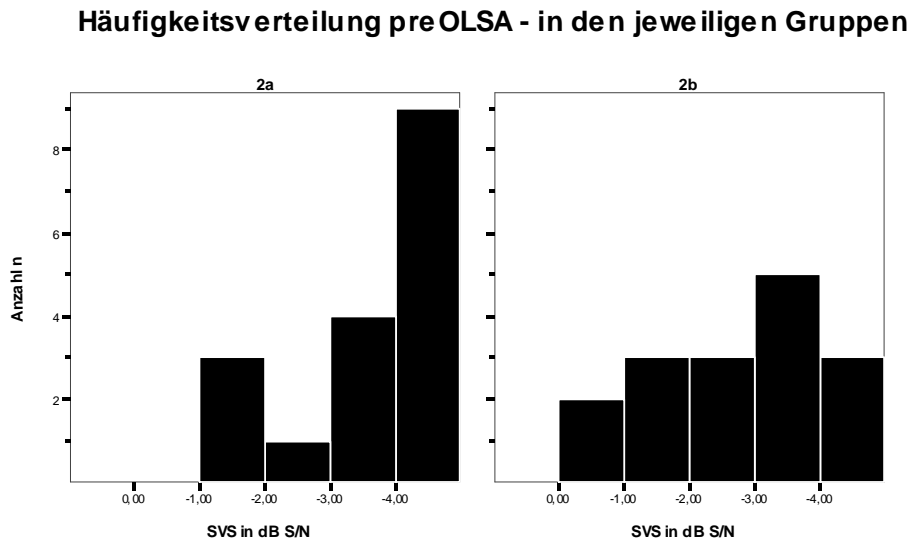
N	Gültig	17
	Fehlend	0
Mittelwert		-3,6294
Median		-4,1000
Standardabweichung		1,20313
Minimum		-4,85
Maximum		-1,45

N	Gültig	16
	Fehlend	1
Mittelwert		-2,8375
Median		-2,9750
Standardabweichung		1,31561
Minimum		-4,80
Maximum		-,45

Tabelle 4.11: Lage- und Streuungsparameter für die Variable preOLSA - gesamt und in den Subgruppen

Den Tabellen ist abzulesen, dass Gruppe 2a im Schnitt bessere Ergebnisse erzielte als Gruppe 2b ( $-3,63 \pm 1,20$  dB S/N gegenüber  $-2,84 \pm 1,32$  dB S/N). Dies verdeutlicht auch die Graphik 4.12.





Graphik 4.12: Häufigkeitsverteilung der Variablen preOLSA in den beiden Fallgruppen

## 4.2 Induktive Statistik

### 4.2.1 Verbessert eine FM-Anlage den Signal-Rausch-Abstand?

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit beschäftigt sich mit der möglichen Veränderung der im Oldenburger Satztest erhobenen Sprachverständlichkeitsschwelle bei 50%igem Wortverständnis (L50) durch die Verwendung von FM-Anlagen. Um diese Frage zu untersuchen, erfolgt eine Durchführung des zweiseitigen t-Tests für gepaarte Stichproben mit den Variablen OLSAsine und OLSAcum.

Die beiden Datensätze unterscheiden sich höchst-signifikant voneinander ( $p = 0,001$ ), sie korrelieren auf mäßigem Niveau ( $r = 0,444$ ). Der Mittelwert der Differenz beträgt  $8,77 \pm 2,68$  mit einem Vertrauensintervall von  $[8,04; 9,50]$ . Diese Angaben entsprechen der Deskription der Variablen diffSVS (siehe 4.1.2).

### 4.2.2 Sind die Testergebnisse altersabhängig?

Eine erste Darstellung in Punktwolken legt die Vermutung nahe, dass keine Korrelationen nachzuweisen sind. Dies wurde mithilfe der Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson bestätigt: Weder für die

Sprachverständlichkeitsschwelle L50 ohne und mit FM noch für die Differenz derselben findet sich eine Altersabhängigkeit. Alle Korrelationskoeffizienten  $r$  bewegten sich im Bereich von -0,234 und 0,190. Diese Ergebnisse sind in keinem der Fälle signifikant, so dass eine Altersabhängigkeit nicht sicher auszuschließen ist.

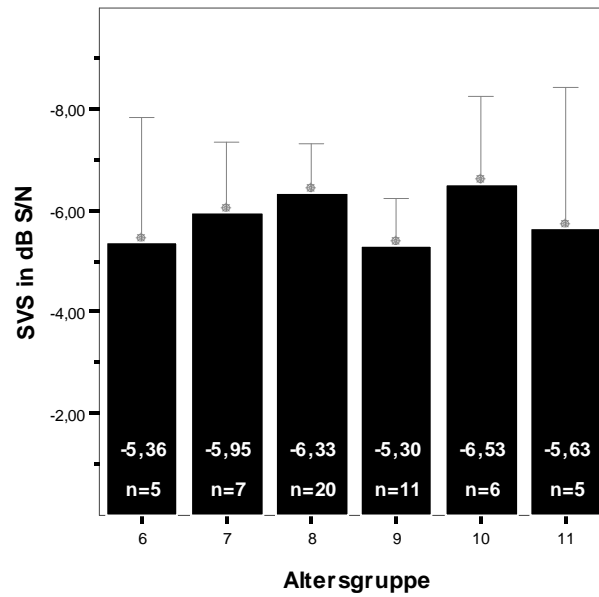
In Tabelle 4.13 sind die Korrelationen zwischen Alter und den jeweiligen Variablen in der Gesamt- und gruppenspezifischen Darstellung abzulesen.

	Parameter	Korrelationskoeffizient $r$	p-Wert
<b>gesamt</b>	OLSAsine	-0,046	0,743
	OLSAcum	-0,133	0,337
	diffSVS	0,114	0,441
<b>Gruppe 1</b>	OLSAsine	-0,147	0,535
	OLSAcum	-0,234	0,321
	diffSVS	0,190	0,423
<b>Gruppe 2a</b>	OLSAsine	-0,006	0,982
	OLSAcum	-0,044	0,867
	diffSVS	0,044	0,868
<b>Gruppe 2b</b>	OLSAsine	-0,075	0,776
	OLSAcum	-0,084	0,750
	diffSVS	0,067	0,798

Tabelle 4.13: Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen für den Zusammenhang zwischen Alter und den Parametern OLSAsine, OLSAcum und diffSVS – gesamt und in den Subgruppen

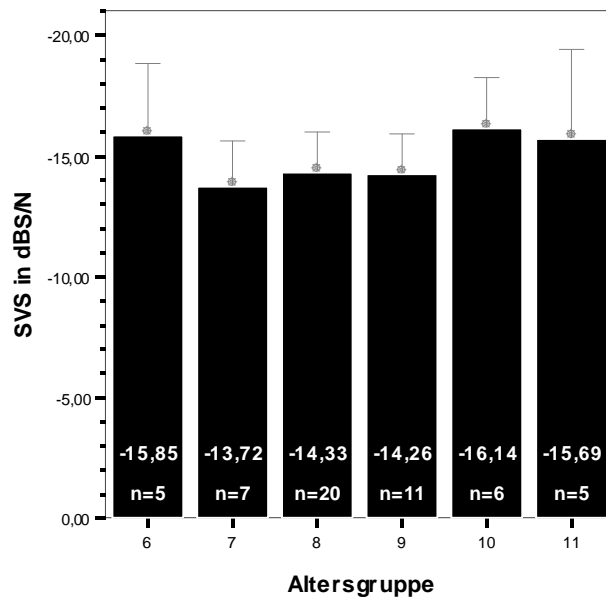
Auch die alterskorrelierte Darstellung der Variablen zeigt, dass kein Trend bezüglich des Alters zu beobachten ist (Graphiken 4.14, 4.15 und 4.16):

**Altersverteilung OLSAsine - gesamt**

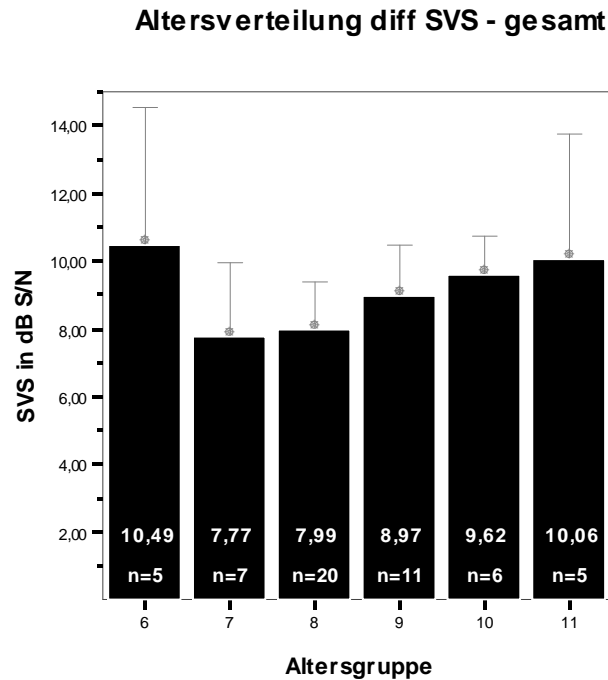


Graphik 4.14: Alterskorrelierte Darstellung der Variablen OLSAsine

**Altersverteilung OLSAcum - gesamt**



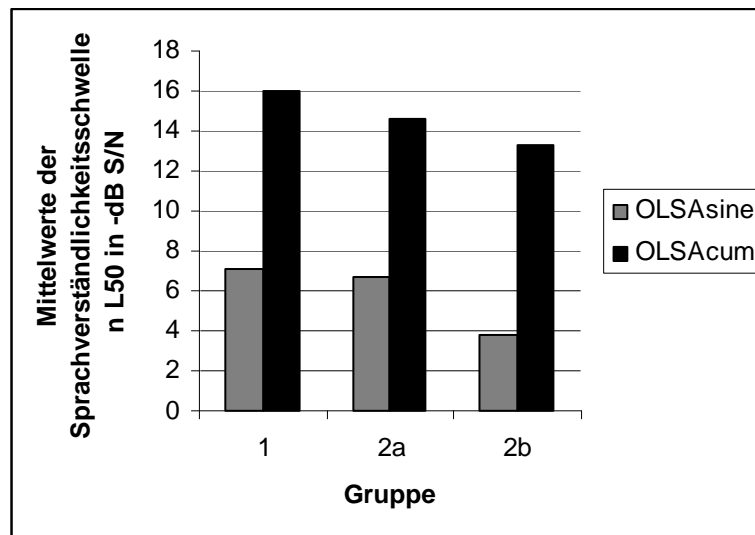
Graphik 4.15: Alterskorrelierte Darstellung der Variablen OLSAcum



Graphik 4.16: Alterskorrelierte Darstellung der Variablen diffSVS

#### 4.2.3 Besteht ein Unterschied zwischen gesunden und auffälligen Kindern in Bezug auf die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes?

Die Alternativhypothese besagt hier, dass die ermittelte Verbesserung der Sprachverständlichkeitsschwelle bei einem Wortverständnis von 50% in den verschiedenen Gruppen unterschiedlich stark ausfällt. Die angegebenen Mittelwerte für den Parameter diffSVS zeigen, dass die Gruppe 2b die stärkste Verbesserung erreicht und Gruppe 2a die geringste; die Kontrollgruppe liegt dazwischen. Graphik 4.17 verdeutlicht das Ausmaß der Verbesserung, das mit Hilfe der FM-Anlage erreicht wird. Dieses ist auch abhängig von dem Wert, der bei der Testung ohne FM-Anlage erreicht wird.



Graphik 4.17: Gegenüberstellung der Variablen OLSAsine und OLSAcum - in den jeweiligen Subgruppen

Tab. 4.18 zeigt die Ergebnisse des zweiseitigen t-Tests für unverbundene Stichproben.

	p-Wert des t-Tests
1 versus 2a	0,29
1 versus 2b	0,40
2a versus 2b	0,11

Tabelle 4.18: Signifikanzen für den Gruppenvergleich der Variablen diff SVS

Auf einem Signifikanzniveau von 0,05 zwingen die angegebenen p-Werte dazu, die H<sub>0</sub>-Hypothese beizubehalten und von nicht signifikanten Unterschieden im Gruppenvergleich auszugehen.

### 4.3 Weitere Untersuchungen

Die Ergebnisse, die die Durchführung des OLSA ohne FM-Anlage lieferte, werden mit den Daten aus Wagener et al. (2005) verglichen. Dafür wird der zweiseitige t-Test für einfache Stichproben angewendet.

Die Oldenburger Arbeitsgruppe untersuchte unauffällige Grundschul Kinder und ließ sie den Oldenburger Satztest im Störgeräusch durchführen, um alterskorrelierte Normwerte zu ermitteln. Der errechnete Mittelwert von -4,6 dB S/N und die alterskorrelierte Darstellung (1.Klasse:  $-3,7 \pm 1,2$  dB S/N; 2.Klasse:

-4,5 ± 1,3 dB S/N; 3.Klasse: -4,9 ± 1,2 dB S/N; 4.Klasse: -5,6 ± 0,9 dB S/N) führte die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass der Referenzbereich von -5 bis -9 dB S/N für Kinder nicht geeignet sei. Als Begründung wurde angeführt, dass die auditive Merkspanne noch nicht so gereift sei, als dass fünf Wörter gemerkt werden könnten.

Dies kann durch unsere Daten nicht bestätigt werden. Der Vergleich des Mittelwerts sowohl des Gesamtkollektivs als auch der Subgruppen dieser Studie mit dem Mittelwert von Wagener ergeben in jedem Falle signifikante Unterschiede.

	Mittelwert in dB S/N	p-Wert
<b>gesamt</b>	-5,94	0,000
<b>Gruppe 1</b>	-7,13	0,000
<b>Gruppe 2a</b>	-6,70	0,000
<b>Gruppe 2b</b>	-3,78	0,002

Tabelle 4.19: p-Werte für den Vergleich des Mittelwerts aus [101] mit dem unserer Subgruppen

Der alterskorrelierte Vergleich gestaltet sich schwierig, da Wagener et al. die Probanden nach Schulklassenstufe einteilen, während in der vorliegenden Arbeit das Alter erhoben wurde. Trotzdem wird eine Gegenüberstellung versucht, welche in Tabelle 4.20 dokumentiert ist.

	Alter	Mittelwert (Wagener) in dB S/N	Mittelwert (Wiehe) in dB S/N	p-Wert
<b>1. Klasse</b>	6	-3,7	-5,36	0,138
	7	-3,7	-5,95	0,007
<b>2. Klasse</b>	7	-4,5	-5,95	0,043
	8	-4,5	-6,33	0,001
<b>3. Klasse</b>	8	-4,9	-6,33	0,007
	9	-4,9	-5,30	0,369
<b>4. Klasse</b>	9	-5,6	-5,30	0,486
	10	-5,6	-6,53	0,229

Tabelle 4.20: Alterskorrelierte Gegenüberstellung der Mittelwerte der Variablen OLSAsine und der p-Werte

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Sechsjährigen keinen signifikanten Unterschied zum von Wagener et al. erhobenen Mittelwert für Erstklässler bieten, während bei den Siebenjährigen schon ein hoch-signifikanter Unterschied zu beobachten ist ( $p = 0,007$ ). Vergleicht man den Mittelwert der Siebenjährigen mit den Werten Zweitklässler, erreichen diese in der vorliegenden Studie nur mäßig signifikant bessere Werte ( $p = 0,043$ ). Die Kohorte der Achtjährigen erreicht im Vergleich mit den Mittelwerten sowohl für die zweite als auch für die dritte Klasse höchst bzw. hoch signifikant bessere Ergebnisse ( $p = 0,001$  und  $p = 0,007$ ).

Die Mittelwerte der Neun- und Zehnjährigen unterscheiden sich hingegen nicht signifikant von den Viertklässler-Werten in Wagener et al.

Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit sich Aussagen zur Reliabilität treffen lassen. Da die Kinder der Gruppen 2a und 2b ( $n=34$ ) den OLSA zweimal durchführten, wurden diese beiden Datensätze (OLSA im Rahmen der Erstdiagnostik und OLSA im Rahmen dieser Studie) miteinander verglichen.

30 von den 34 Probanden verbesserten sich, darunter (per definitionem) die 17 Probanden aus Gruppe 2a. Drei Probanden verschlechterten sich im Laufe der Zeit, ein Proband erzielte zweimal dasselbe Ergebnis.

Der Frage, ob sich die Datenreihe preOLSA signifikant von der Datenreihe OLSAsine unterscheidet, wurde mittels des zweiseitigen T-Tests für gepaarte Stichproben nachgegangen. Es zeigte sich ein Korrelationskoeffizient von  $r=0,39$  und ein  $p$ -Wert von  $0,025$ . Es besteht also ein signifikanter Unterschied zwischen dem ersten und zweiten OLSA-Ergebnis und eine Korrelation auf mäßigem Niveau.

Die Zeiträume, die zwischen der ersten und zweiten Testung vergangen sind, weisen große Unterschiede auf. Das Minimum beträgt 14 Tage, das Maximum 14 Monate. Durchschnittlich lagen 6,65 Monate zwischen den beiden Testungen.

## 5 Diskussion

### 5.1 Reflexion methodischer Aspekte

Unser Testdesign orientiert sich an amerikanischen Empfehlungen und deren Umsetzung in verschiedenen Studien. So schlägt die ASHA zur Untersuchung von Hörgeräten mit gekoppelter FM-Anlage vor [4], neben elektroakustischen Messungen sprachaudiometrische Tests im Störschall vorzunehmen. Um verschiedene FM-Empfänger bzw. FM-Mikrophone zu testen, wählten Kreisman et al. [47] und Lewis et al. [51] ähnliche Testaufbauten: Bei beiden erfolgte eine Messung im Freifeld, bei der ein Frontlautsprecher den Nutzschat generierte und vom davor positionierten Mikrophon verstärkt wurde; der Störschall kam aus zwei bis vier weiteren Lautsprechern, so dass ein diffuser Lärm im Raum simuliert wurde. Dieser Effekt wurde in vorliegender Studie über einen Deckenlautsprecher erreicht. In einigen amerikanischen Studien zur Testung von FM-Anlagen findet der „Hearing-In-Noise-Test“ Anwendung, der genau wie der OLSA, ein Sprachverständnistest im Störgeräusch ist. Auch die Anwendung der adaptiven Messmethode wird von Lewis beschrieben [51] und die Berechnung der Sprachverständlichkeitsschwelle erfolgt äquivalent zu der des OLSAs.

Mit Ausnahme von zwei Probanden konnte der Test und somit die Bestimmung der L50 bei allen Kindern problemlos durchgeführt werden. Die Ursache für den Testabbruch in diesen beiden Fällen ist nicht klar. Es kann sein, dass diese Probanden die Aufgabenstellung nicht verstanden, ebenso könnte die Anforderung, die der Test stellte, zu hoch gewesen sein oder die Kinder könnten sich verweigert haben.

Der Test stellte hohe Anforderungen an die Ausdauer der Kinder. Durch die Dauer von 40 Minuten einerseits und die Monotonie der Aufgabenstellung andererseits sind Ermüdungserscheinungen und nachlassende Aufmerksamkeit plausibel. Insgesamt hatten die Kinder 20 Übungssätze + 30 Testsätze ohne FM + 30 Testsätze mit FM, in der Summe also 80 Sätze zu verstehen und zu wiederholen. Angesichts dieses Umfangs ist es nicht verwunderlich, dass einige



Kinder im Verlauf der Testung mehrmals mittels Zuwendungen und Überredungen dazu bewegt werden mussten, Konzentration und Motivation aufrechtzuerhalten und bis zum Ende mitzumachen. Bis auf die drei Kinder, die beim Durchlauf mit FM die Mitarbeit verweigerten, waren diese Ermutigungen bei allen Kindern erfolgreich.

Man kann argumentieren, dass unter diesen Maßnahmen die Objektivität der Messung litt, da der Versuchsleiter sich den Probanden unterschiedlich intensiv zuwandte. Da es sich aber um ein subjektives Messverfahren handelt, das Aufmerksamkeit und Motivation erfordert und die Klientel sechs- bis zwölfjährige Kinder umfasst, war dies unumgänglich.

Die Wahl eines adaptiven Messverfahrens bringt es mit sich, dass der Proband, unabhängig von seinem Selektionsvermögen an eine Grenze gelangt und die dargebotenen Sätze nur unzureichend versteht. Gerade bei Kindern, die ehrgeizig und bemüht sind, resultieren hieraus verunsicherte oder frustrierte Reaktionen. Aber auch dieses Verhalten war mittels Ermutigungen und Loben zu kontrollieren, so dass es in keinem Falle zum Testabbruch führte.

Um ungenaue Messergebnisse zu verhindern, war es während der Durchführung hin und wieder erforderlich, die Körperhaltung des Kindes zu korrigieren. Zwecks Verbesserung des Sprachverständnisses neigten viele dazu, ihren Oberkörper über den Tisch zu beugen, um näher am Lautsprecher zu sein, und/oder den Kopf so zu drehen, dass das bevorzugte Ohr dem Lautsprecher näher kam. Dies kann laut Wagener et al. [99] eine Verbesserung der Sprachverständlichkeitsschwelle um 2-3 dB bewirken. Deshalb sollte dieses Verhalten unterbunden werden, so dass gleiche Bedingungen für alle gewährleistet sind [67].

Die Stichprobe wurde bewusst nicht anhand der gestellten Diagnose, sondern anhand des OLSA-Ergebnisses in der Erstdiagnostik gebildet. Ein auditiv verarbeitungs- und wahrnehmungsgestörtes Kind mit anderen Teilleistungsdefiziten als der Selektionsstörung erfährt durch eine FM-Anlage keine Hilfe, während hingegen ein Kind ohne AVWS, aber mit einer Selektionsschwäche von der Nutzung dieses Geräts profitieren könnte. Insofern ist die Wirksamkeitstestung primär für selektionsgestörte Kinder von klinischer Relevanz und nicht (nur) für AVWS-erkrankte Kinder.

Unter den sprachaudiometrischen Tests, die in Ruhe und im Störschall eingesetzt werden, erweist sich der OLSA in vielerlei Hinsicht als am besten geeignet. Wendler et al. [103] empfehlen für die Messung im Störschall Satztests, da solche die steilste Diskriminationsfunktion aufweisen. Der Freiburger Test, dessen Sprachmaterial aus einzelnen Wörtern besteht, hat eine flachere Diskriminationsfunktion und ist deshalb hier nicht geeignet. Ein Vergleich zwischen Oldenburger und Göttinger Satztest [100] zeigt, dass der Oldenburger Satztest besonders gut für wiederholende Messungen geeignet ist, da es sich, im Gegensatz zum Göttinger Satztest um „syntaktisch feste, semantisch nicht vorhersagbare Sätze“ [100] handelt (entspricht einer hohen perceptiven Äquivalenz). Außerdem ist das Sprachmaterial des Oldenburger Satztests besser für Kinder geeignet; das des Göttinger Tests enthält schwierigere Wörter, die ein Grundschulkind evtl. noch nicht kennt.

Bezüglich seiner Testgütekriterien ist der Oldenburger Satztest hinreichend untersucht. Wagener et al. arbeiteten heraus, dass die Homogenität der Sätze und die Auswahl des Störgeräuschs (das OLSA-Rauschen bietet laut Rader [77] die beste Verdeckung) eine steile Diskriminationsfunktion zur Folge hat. Diese Eigenschaft wiederum gewährleistet zuverlässige Messergebnisse. Durch die Darbietung von dreißig Sätzen lässt sich mit Hilfe des adaptiven Messverfahrens eine Genauigkeit von 0,5 dB S/N erreichen. Außerdem bestehe ein hoher j-Faktor ( $j = 4$ ), d.h. dass vier von den fünf Wörtern nicht vorhersagbar sind. Die meisten Wörter des Satzes können nicht aus dem Kontext heraus erschlossen werden, so dass eine niedrige Redundanz resultiere [99].

Die Darbietung von 20 Übungssätzen vor der Messung der Sprachverständlichkeitsschwelle L50 kontrolliert den Lerneffekt weitestgehend, was von Ebner [29] bestätigt wurde.

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

### 5.2.1 Verbessert eine FM-Anlage den Signal-Rausch-Abstand?

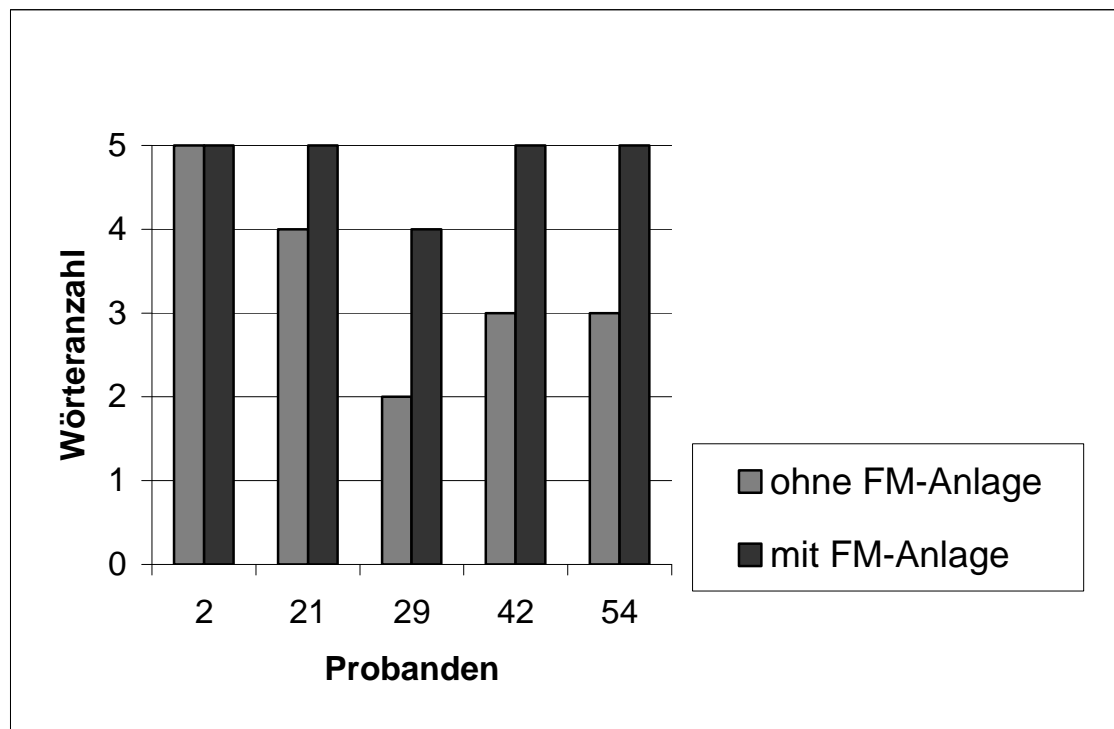
Da die beiden Datensätze OLSAsine und OLSAcum sich höchst-signifikant voneinander unterscheiden ( $p = 0,001$ ), ist eine zufallsbedingte Veränderung

der Testergebnisse im Durchlauf mit FM-Anlage unwahrscheinlich und ein Benefit durch die Nutzung einer FM-Anlage anzunehmen. Die mäßige Korrelation ( $r = 0,444$ ) könnte darauf hinweisen, dass die Verbesserung des SRA unterschiedlich hoch ausfällt und die Sprachverständlichkeitsschwelle L50 im OLSA ohne FM nicht automatisch auf das Ergebnis mit FM schließen lässt, sondern von mehreren Faktoren abhängig ist. Allerdings kann die mäßige Korrelation auch Ausdruck zu kleiner Fallzahlen sein; mit größeren Fallzahlen ließe sich die Korrelation vielleicht genauer herausarbeiten.

Laut der ASHA-Guidelines [4] ist durch die Nutzung von FM-Anlagen eine Verbesserung des SRA von 15-20 dB S/N zu erwarten, was von Lewis [51] und Nickisch [64] bestätigt wird. Kreisman et al. [47] referieren sogar einen Gewinn von bis zu 25 dB S/N, erreichen in ihrer eigenen Studie, die verschiedene FM-Empfänger mit nicht verstärkten Hörsituationen vergleicht, aber auch „nur“ Verbesserungen von 8 bis 9 dB S/N. Arweiler [1] wählte in dieser Studie ähnelndes Design und ermittelte für 20 Grundschul Kinder Verbesserungen des SRA zwischen 16 und 18 dB S/N.

Die in dieser Studie erzielten Verbesserungen von im Mittel +8,77 dB S/N sind zwar nicht so ausgeprägt wie in den Referenzstudien, gleichwohl ist aber von einer klinisch relevanten Verbesserung des Sprachverständnisses auszugehen.

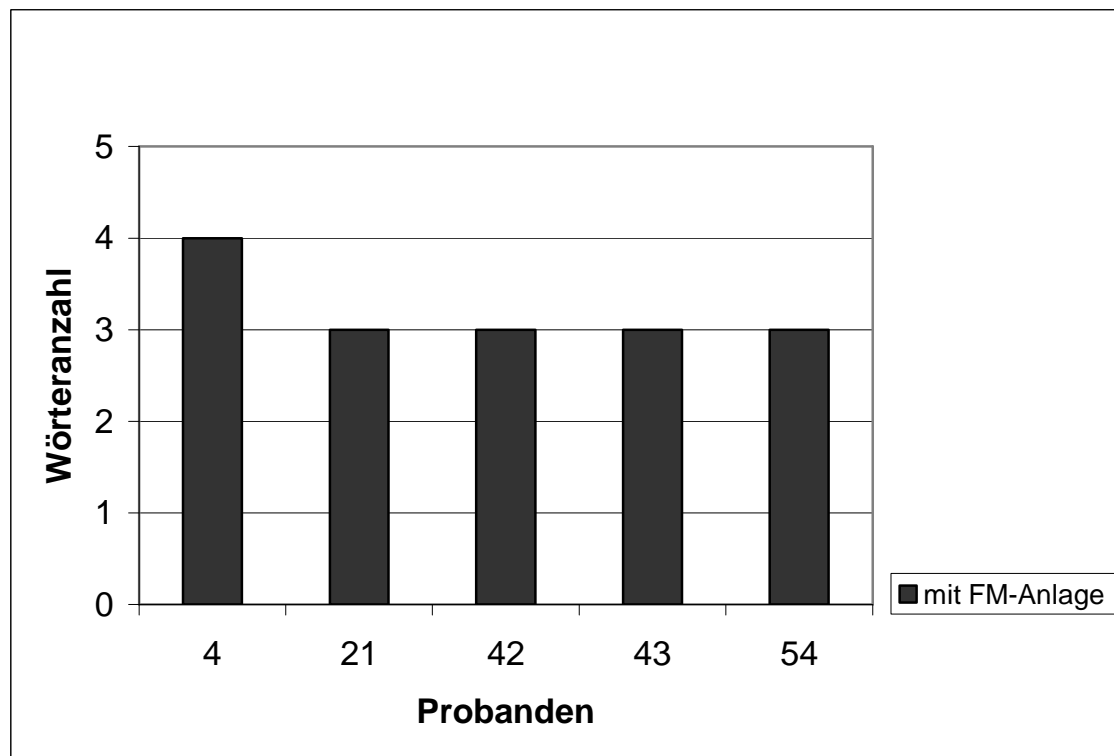
Um die Relevanz eines verbesserten Sprachverständnisses zu verdeutlichen, zählte ich beispielhaft für zehn Probanden (fünf aus Gruppe 1 und fünf aus Gruppe 3) die verstandenen Wörter pro Satz bei verschiedenen Nutzsollpegeln. Der Vergleich zwischen der Anzahl der Wörter, die ohne FM verstanden wurden, und denen, die mit FM wiedergegeben wurden, veranschaulicht die Veränderung des Sprachverständnisses.



Graphik 5.1: richtig verstandene Wörter bei 65/62 dB S/N

Die Grafik 5.1 zeigt das Wortverständnis bei einem Nutzschaall von 62 dB (der Störschaall ist konstant bei 65 dB).

Die Probanden mit der Codierung 2 und 21 gehören zur Kontrollgruppe und die Probanden mit den Nummern 29, 42, 54 zur Gruppe 2b. Bereits in dieser noch recht einfachen Hörsituation ( $SRA = -3$  dB S/N) sieht man einen Zuwachs des Wortverständnisses bei der Testung mit FM-Anlage. Dies zeigen vor allem die Probanden Nr. 29, 42, 54. Proband Nr. 2 ist ein typischer Vertreter der Kontrollgruppe: im Regelfall hat dieses Kollektiv auch ohne FM-Anlage keine Probleme in solch einer Hörsituation, so dass sich ein Nutzen durch die Verwendung einer FM-Anlage nicht detektieren lässt.

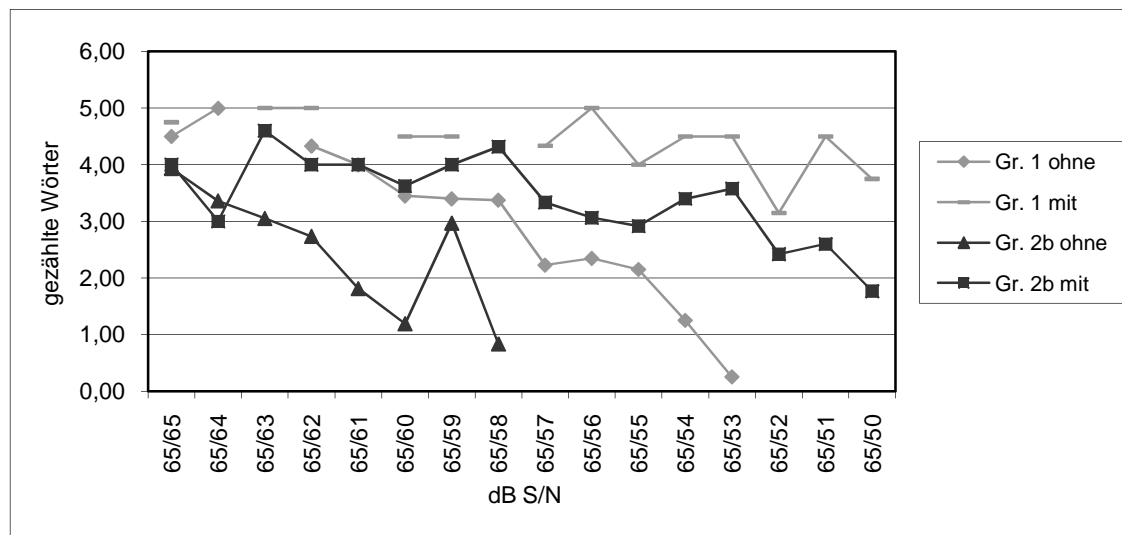


Graphik 5.2: richtig verstandene Wörter bei 65/52 dB S/N

Die Grafik 5.2 zeigt das Wortverständnis bei einem Nutzschallpegel von 52 dB. Bei gleich bleibendem Störschall resultiert ein SRA von -13 dB S/N – eine Hörsituation, in der auch gesunde Menschen kaum etwas verstehen. Da hier keiner der Beispielprobanden ein Sprachverständnis ohne FM-Anlage erreichen konnte, sind nur die Wörter dargestellt, die mit FM-Anlage verstanden wurden. Gegenüber einem Verständnis von 0 Wörtern pro Satz ließen sich mit FM-Anlage drei bis vier Wörter des Satzes verstehen (entspricht einem Wortverständnis von 60-80% bei fünf Wörtern pro Satz).

Dieser Zugewinn an Sprachverständnis ist enorm. Anstatt nichts zu verstehen kann ein Kind nun zumindest fragmentarisch verstehen und sich den Rest evtl. aus dem Kontext rekonstruieren. Auf diese Weise wird ein Informationsgewinn auch bei ungünstigen Signal-Rausch-Abständen möglich.

Wie für Proband Nr. 21 zu beobachten, profitieren in dieser schwierigen Hörsituation auch gesunde Menschen. Bei günstigeren SRA von -5 bis -10 dB können gesunde Probanden allerdings noch zurechtkommen, wohingegen selektionsschwache Kinder schon hier an ihre Grenzen kommen und Hilfe benötigen.



Graphik 5.3: Mittelwerte der richtig verstandenen Wörter für alle mögliche Nutzschaall-Störschaallverhältnisse (einbezogen wurden exemplarisch die Probanden 2, 4, 19, 21, 22, 29, 32, 42, 43, 54)

Grafik 5.3 zeigt das gemittelte Wortverständnis der zehn Probanden für alle möglichen Signal-Rausch-Verhältnisse zwischen 65 und 50 dB Nutzschaall. (Etwaige Auslassungen von Datenpunkten sind durch das adaptive Messverfahren begründet – genau dieser Nutzschaallpegel kann durch entsprechendes Wortverständnis im vorherigen Satz übersprungen worden sein.)

Der Vergleich zwischen den Kurven zeigt, dass sowohl die Kontrollgruppe (Gruppe 1) als auch die Fallgruppe (Gruppe 2b) mit FM-Anlage mehr Wörter verstehen als ohne. Der Vergleich zwischen den beiden Gruppen zeigt, dass Gruppe 1 in beiden Hörsituationen mehr Wörter versteht als Gruppe 2b.

### 5.2.2 Sind die Testergebnisse altersabhängig?

In dieser Studie konnte für keinen der untersuchten Parameter eine Altersabhängigkeit detektiert werden. Diese Ergebnisse waren nicht signifikant. Steffens fand in seiner Studie zur Normwerterhebung der Regensburger Variante des Oldenburger Kinder-Reimtests ebenfalls keine Altersabhängigkeit bezüglich des Sprachverständnisses im Störgeräusch [93]. Ebner testete den Oldenburger Kindersatztest an normalhörenden Grundschulkindern und gleichaltrigen cochlear-implantierten Kindern. Auch sie postulierte einen altersunabhängigen Schweregrad der Testlisten [29].

Wagener et al. [101] fanden während der Testung des OLSA an Schulkindern eine leichte, aber nicht signifikante Altersabhängigkeit, die sich vor allem zwischen der Klassenstufe 1 und 2 zeigte. Alle anderen Klassenstufen zeigten im Vergleich zueinander keine nennenswerte Altersabhängigkeit.

Bezüglich des Handlings der FM-Anlage zeigten sich keinerlei Schwierigkeiten bei jüngeren Kindern. Sie akzeptierten das Gerät und führten den Test adäquat durch, so dass eine nicht vorhandene Altersabhängigkeit auch für die OLSA-Ergebnisse mit FM-Anlage plausibel erscheint.

### 5.2.3 Besteht ein Unterschied zwischen gesunden und auffälligen Kindern in Bezug auf die Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes?

In absoluten Zahlen erreichte Gruppe 2b gegenüber dem OLSA-Test ohne Hilfe die größte Verbesserung mithilfe einer FM-Anlage während die Probanden der Gruppe 2a weniger starke Veränderungen erzielten und die Kontrollgruppe dazwischen liegt.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen sind nicht signifikant. Demnach scheint der Wert, der mit FM-Anlage erreicht wird, unabhängig von der Selektionsleistung ohne Hilfsmittel zu sein und folglich auch das Ausmaß der Verbesserung unabhängig davon, ob ein Kind gesund oder erkrankt ist. Es ist zu konstatieren, dass sowohl Gesunde als auch Kinder mit Selektionsschwäche mit der Zuhilfenahme einer FM-Anlage eine Verbesserung der Sprachverständlichkeitsschwelle L50 um 8-9 dB S/N erreichen.

Neben der statistischen Herangehensweise ist die Beurteilung des Nutzens nach klinischen Gesichtspunkten unabdingbar. Die gleiche SRA-Verbesserung bedeutet für die verschiedenen Gruppen einen unterschiedlichen Nutzen. Bei Kindern aus der Kontrollgruppe, die ohne FM-Anlage unauffällige Werte liefern, ist die Verbesserung in Richtung überdurchschnittlicher Werte für den Alltag irrelevant. Aufgrund der auch ohne FM-Anlage absolvierten guten Leistung, ist davon auszugehen, dass im Alltag keine Einschränkungen bestehen.

Kinder aus Gruppe 2b hingegen wandern mit derselben FM-Verbesserung vom unterdurchschnittlichen durch den Referenzbereich in den überdurchschnittlichen Bereich hinein. Dieser Unterschied ist sehr viel

beeindruckender und zudem ist von einer alltagsrelevanten Verbesserung des Sprachverständnisses auszugehen.

#### 5.2.4 Diskussion der zusätzlichen Untersuchungen

In einer Studie an 65 Grundschulkindern untersuchen Wagener et al. [101] die Frage, ob der Oldenburger Satztest auch für Kinder geeignet sei. Ein Vergleich der von dieser Arbeitsgruppe erhobenen Werte an normalhörenden Kindern mit den unsrigen Werten ohne FM-Anlage zeigte signifikante Unterschiede. Obwohl in vorliegender Studie auch an AVWS erkrankte Kinder teilnahmen, ist das Gesamtergebnis signifikant besser als der der unauffälligen Kinder aus der Oldenburger Studie. Diese Diskrepanz ist vor allem bei den Sieben- und Achtjährigen zu beobachten. Hierfür sind unterschiedliche Begründungen denkbar. Kinder aus vorliegender Stichprobe haben den OLSA bereits zum zweiten Mal durchgeführt, so dass ein Lerneffekt denkbar ist, der aber von den Entwicklern des OLSA als minimal eingeschätzt wird (s. Testgütekriterien in 3.2). Andererseits ist dem Artikel von Wagener et al. nicht zu entnehmen, inwieweit auffällige Grundschul Kinder aus der Stichprobe ausgeschlossen wurden. Deshalb ist es denkbar, dass unter den vermeintlich gesunden Grundschulkindern durchaus Kinder mit AVWS-ähnlichen Symptomen oder verwandten Störungen wie Dyslexie, Sprachentwicklungsverzögerung, ADHS etc. sind, die im OLSA schlechter abschneiden als andere und demzufolge der erhobene „Normwert“ schlechter ist als er eigentlich sein könnte.

Ein Vergleich der hier definierten jeweiligen Gruppen mit dem Mittelwert aus Wagener et al. zeigte für alle einen signifikanten Unterschied. Dabei erwies sich die Kontrollgruppe und die Gruppe 2a als signifikant besser, die Gruppe 2b (zweifach auffälliges Testergebnis) als signifikant schlechter als die von Wagener getestete Stichprobe. Dies überrascht nicht, wenn man sich die Zusammensetzung der jeweiligen Gruppen vor Augen führt.

In ihrer Studie kamen Wagener et al. zu dem Schluss, dass der OLSA ab der 2. Klassenstufe angewendet werden kann, für Erstklässler und jüngere Kinder allerdings nur bedingt geeignet sei. Limitierend sei die noch unvollständig ausgebildete Hörmerkspanne der Sechsjährigen, was die Entwicklung eines Kinder-Satztests erforderlich mache.



Laut Lauer [49] entwickelt sich die Fähigkeit zur Figur-Hintergrund-Wahrnehmung ab dem fünften Lebensjahr auf der Basis von Diskrimination und selektiver Aufmerksamkeit. Das Merken von 5 Items, so wie es der OLSA erfordert, soll ab dem sechsten, umfassend erst ab dem siebten Lebensjahr möglich sein. Diese sich in der Entwicklung befindenden Speicherungs- und Sequenzierungsfähigkeiten bilden bei der Durchführung des OLSA also tatsächlich den limitierenden Faktor, so wie es Wagener et al. vermuten. Um Gewissheit darüber zu erhalten, was nun die Erklärung für ein schlechtes Abschneiden von jüngeren Kindern im OLSA ist, empfiehlt es sich, andere die Merkfähigkeit betreffende Tests zu analysieren. Zeigt der Patient auch im Mottier-Test und im Zahlenfolgegedächtnistest aus dem PET Auffälligkeiten, ist dies ein Indiz für die unvollständig ausgebildete Merkfähigkeit bzw. ein Pathologikum in dieser Funktion. Sind diese Tests hingegen normal, sollte der auffällige OLSA an eine Selektionsschwäche denken lassen. Dieses Beispiel zeigt, dass erst die Zusammenschau aller Tests ein authentisches Bild abgibt und Einzeltests nur unzureichende Aussagen liefern.

Auch die homogene Altersstruktur in den verschiedenen Subgruppen spricht dafür, dass der OLSA auch bei jüngeren Kindern durchführbar ist. So gibt es durchaus einige 6-jährige, die den OLSA mühelos durchführen und auf der anderen Seite einige 10- und 11-jährige Kinder, bei denen sich aufgrund manifester Schwächen auffällige Werte ergeben. Der Referenzbereich, der bei einer Sprachverständlichkeitsschwelle L50 von -5 dB S/N beginnt, scheint für die 6-jährigen also nicht zu streng ausgewählt und durchaus erreichbar zu sein. Ebner [29] führte den von Wagener et al. entwickelten Oldenburger Kindersatztest (OLKiSa) mit 40 gesunden Erstklässlern durch und erreichte bessere, aber nicht signifikant unterschiedliche Ergebnisse, als die Arbeitsgruppe um Wagener (-5,9 dB S/N vs. -5,6 dB S/N). Es könnte also tatsächlich sein, dass Wagener et al. einen zu niedrigen Referenzbereich für die Testergebnisse bei Kinder annehmen.

Nichtsdestotrotz sind weitere Studien mit möglichst großen Fallzahlen erforderlich, um den Referenzbereich sowohl für den OLSA als auch den OLKiSa zuverlässig zu ermitteln.

Neben den vergleichenden Untersuchungen der OLSA-Ergebnisse ohne FM wurde versucht, Aussagen über die Reliabilität des OLSA zu treffen. Die Wertepaare der 34 Probanden, die den OLSA zweimal durchliefen, wurden dahingehend untersucht. Aufgrund der großen Zeitabstände und ihrer Streuung lassen sich jedoch keine zusätzlichen Aussagen zur Reliabilität des Tests machen. Die signifikante Verbesserung des OLSA-Ergebnisses vom ersten zum zweiten Testdurchlauf lässt sich aufgrund der großen Zeitabständen von mehreren Monaten am ehesten mit der Entwicklung des Probanden begründen, nicht etwa mit einer mangelnden Retest-Reliabilität des Tests selber.

Ein Vergleich der Gruppen 2a und 2b gibt Anlass zur Spekulation bezüglich der anzunehmenden Schweregrade der auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. Während die Patienten der Gruppe 2b auch im Retest ein auffälliges Ergebnis erzielten und somit eine manifeste AVWS mit nicht kompensierbaren Defiziten wahrscheinlich ist, haben sich die Kinder der Gruppe 2a im Laufe der Zeit verbessert und weisen nun unauffällige Werte auf. Bei letzteren ist also wahrscheinlich, dass die in der ersten Testung beobachteten Defizite einen nicht so hohen Schweregrad aufwiesen, wie die der Patienten von Gruppe 2b. Den Kindern aus Gruppe 2a schienen es möglich zu sein, die Störung zu kompensieren, so dass keine langfristigen Einschränkungen zu erwarten sind.

Diese Beobachtungen zeigen, dass der OLSA evtl. imstande ist, AVWS-erkrankte, therapiebedürftige Kinder von nur leicht betroffenen zu trennen, wenn nach einiger Zeit (z.B. nach einem halben Jahr) Kontrollmessungen durchgeführt werden.

### 5.3 Limitationen

In der vorliegenden Studie wurde versucht, das schulakustische Setting möglichst realistisch nachzustellen. Nebengeräusche entstehen im schulischen Umfeld überwiegend durch Gespräche der Mitschüler im gesamten Raum. Diese Situation wird am besten durch mehrfache Überlagerung des Sprachmaterials (Stimmengewirr) und durch eine diffuse Generierung des

Störgeräuschs nachgebildet. Das FM-Mikrofon, das der Lehrer mitsamt Sender trägt, wurde ein paar Zentimeter vor der Nutzschallquelle aufgebaut, da es im realen Einsatz denselben Abstand vom Mund des Sprechers haben sollte.

Die Simulation dieser Hörsituation wird durch einige Faktoren limitiert. Zwecks Elimination von Störfaktoren fanden die Messungen in einer schallisolierten Hörkabine statt, in der kürzere Nachhallzeiten als in realistischen Settings, wie z.B. im Klassenraum, zu messen sind. Die Stimme aus dem Lautsprecher unterscheidet sich in Prosodie und Artikulation von einer realen Menschenstimme. Der Versuch, die Realität abzubilden, ist also nicht umfassend möglich, wurde aber innerhalb der Möglichkeiten angestrebt.

Die Übertragung der Ergebnisse auf andere Populationen sollte mit Vorsicht geschehen. Vorliegende Ergebnisse lassen sich nur auf Populationen mit gleicher Altersstruktur und gleichem Krankheitsprofil übertragen. Auch ist nicht sicher, ob die Vorteile durch FM, die hier nachgewiesen wurden, auch mit anderen FM-Modellen zu erreichen sind.

Diese Studie ist keine Therapiestudie im engeren Sinne. Um langfristige Therapieeffekte zu untersuchen, hätte die FM-Anlage in einem Längsschnittdesign in der Schule eingesetzt werden müssen. In regelmäßigen Abständen hätten subjektive Testungen und Verhaltensbeobachtungen stattfinden müssen, um einen möglichen Effekt zu eruieren (dieses Design kam bei Palmer [68] zur Testung von Soundfield-Systemen in Schulen zum Einsatz). Um Placebo-Effekte auszuschließen, hätte man ein verblindetes Design anstreben können. Eine Gruppe würde eine funktionstüchtige FM-Anlage benutzen und eine Kontrollgruppe würde im selben Testaufbau eine nicht angeschaltete FM-Anlage angelegt bekommen. Allerdings war nicht zu beobachten, dass ein Kind sich aufgrund der Annahme, das Gerät helfe ihm, besonders Mühe gab. Die adaptive Herangehensweise trägt dazu bei, den Placebo-Effekt zu kontrollieren: Wie schon zuvor im Rahmen der kindlichen Reaktionen auf den Test erwähnt, findet sich das Kind, unabhängig von seiner Leistung oder von der Nutzung einer FM-Anlage, in der Situation wieder, dass es einen Satz nicht versteht und nicht oder nur partiell wiedergeben kann. Ob

dieser Satz nun bei 52 oder 62 dB dargeboten wurde und das schlechte Verständnis folglich als unauffällig oder besorgniserregend zu interpretieren ist, kann das Kind nicht beurteilen. Durch die Nutzung einer FM-Anlage empfindet das Kind also gerade nicht, dass der Test viel besser läuft und dieses Gerät hilft. Stattdessen ist es in seinem Urteil eingeschränkt, da es die Testsituation nicht versteht. Angenommen, die FM-Anlage ist gar nicht wirksam, kann das Sprachverständnis im Störgeräusch sich also eher nicht durch Placebo-Wirkung verbessern, da das Kind ständig das Gefühl hat, dass der dargebotene Satz schwierig war.

Für die angesprochenen Designs fehlten in diesem Rahmen die personellen und finanziellen Kapazitäten. Überdies kam das Längsschnittdesign ohnehin nicht in Frage, da in dieser Studie der Nutzen durch einmaligen Gebrauch der FM-Anlage gegenüber dem Ergebnis ohne FM-Anlage quantifiziert werden sollte.

### 5.4 Klinische Perspektiven

Für die Einschätzung der Hörsituation an Schulen und die mögliche Versorgung mit FM-Anlagen, stellt sich die Frage, welcher SRA angestrebt werden sollte, damit eine erfolgreiche Teilhabe am Unterricht möglich wird. Ebner deklariert für Normalhörende einen Signal-Rausch-Abstand von mind. -2,5 dB S/N als notwendig [29], um eine mittlere Verständlichkeit zu erreichen. Nickisch [64] vermutet ab einem SRA von +6 dB S/N ein problemloses Sprachverständnis. Bei einem SRA von +5 dB S/N postuliert Lauer [49] für 5- bis 6-jährige ein Sprachverständnis von nicht mehr als 70%. Im Rahmen der Testungen mit Hilfe des Oldenburger Kinder-Reimtests (OIKi) ermittelte Steffens bei einem SRA von 0 dB S/N ein Sprachverständnis von 91%. Um ein umfassendes Sprachverständnis zu garantieren, sollte der Signal-Rausch-Abstand laut Spreng [89] +10 dB S/N betragen, für den Fremdsprachenunterricht sogar +20 dB S/N. Auch AVWS-erkrankte Kinder benötigen günstige SRA von +20 dB S/N, um eine Chance zu haben, dem Unterricht zu folgen [1].

Wegen der hohen Störschallpegel, zu langer Nachhallzeiten und schlechter Reflexionseigenschaften sind solch günstige Signal-Rausch-Abstände für Schulräume nicht zu erwarten. Die enorme Anstrengung, die aufgebracht werden muss, um dem Unterricht zu folgen, resultiert in leichter Ermüdbarkeit, Ablenkbarkeit und ggf. in der Entwicklung störender Verhaltensweisen [5, 81].

Insofern steht außer Diskussion, dass FM-Anlagen jedem Schüler dienlich und imstande sind, seine Schulkarriere positiv zu beeinflussen, was sich besonders im Fremdsprachen- und naturwissenschaftlichen Unterricht und für Schüler mit Migrationshintergrund bemerkbar macht [89]. Der Benefit durch FM-Nutzung im Allgemeinen wird in dieser Studie durch die Ergebnisse der Kontrollgruppe veranschaulicht. Neben den Verbesserungen des Wortverständnisses postulieren Friederichs und Friederichs [32] sogar einen Einfluss von längerfristigem FM-Gebrauch auf die Neuroplastizität des Gehirns. Dies wird durch den Nachweis von veränderten CERA-Wellenmustern unter FM-Benutzung objektiviert.

Am meisten sind natürlich Schüler mit manifesten Schwächen von einer Verbesserung der Hörsituation abhängig; dazu gehören sprachentwicklungsverzögerte, lese-/rechtschreibschwache, aufmerksamkeitsgestörte, lernbehinderte und auditiv verarbeitungs- und wahrnehmungsgestörte Kinder.

Der umfassende Einsatz von Verstärkungsmaßnahmen ist auch mittels Soundfield-Systemen möglich. Auch hier wird die Stimme des Lehrers mit Hilfe eines Mikrophons verstärkt, der Empfänger besteht jedoch aus einer Anzahl von Lautsprechern, die im Klassenraum verteilt sind (meist 3-4). Mehrere amerikanische Studien belegen einen positiven Einfluss auf das Arbeitsverhalten der Schüler und auf die stimmliche Belastung des Lehrers bis hin zu reduzierten Fehltagen bei kontinuierlichem Einsatz [68, 83].

Da es ökonomisch nicht realisierbar ist, einen großflächigen Einsatz von Soundfield-Anlagen zu fordern und selbst nicht alle AVWS-erkrankten Kinder eine FM-Anlage brauchen, stellt sich die Frage nach einer angemessenen Indikationsstellung. Hierzu erscheint es sinnvoll, diejenigen Kinder zu eruieren, die gefährdet sind, aufgrund von zentral auditiven Schwächen in ihrer Schulkarriere beeinträchtigt zu sein, z.B. eine Lese-/Rechtschreibstörung zu entwickeln. Kinder, auf die diese Befürchtungen nicht zutreffen, sollten nicht mit

akustisch verstärkten Anlagen ausgerüstet werden, da deren Nutzung auch Nachteile mit sich bringt. So befürchten die ASHA und die Arbeitsgruppe des deutschen Konsensus-Statements [4, 65], dass FM-Anlagen imstande sind, das Neuroepithel des Innenohrs zu schädigen und somit Schallempfindungsstörungen hervorzurufen.

Auch ist abzuwägen, inwieweit der Schüler von einer FM-Nutzung beeinträchtigt ist. So sind Stigmatisierungen von Seiten der Klassenkameraden möglich und es ist nicht in allen Kommunikationssituationen ein verbessertes Verständnis zu erwarten (Gruppenarbeiten, Wortbeiträge anderer Kinder werden nicht verstärkt). All diese Faktoren können das Wohlbefinden des Kindes und in der Folge die Compliance beeinträchtigen.

Rosenberg nennt in ihren Empfehlungen nur bestimmte AVWS-Profile, für die die Indikationsstellung einer FM-Anlage in Frage kommt [81]. Diese Profile umfassen im Wesentlichen Patienten mit Schwierigkeiten beim dichotischen Hören, beim Hören von redundanz-geminderter (zeitkomprimierter, störschallbesetzter, tiefpassgefilterter) Sprache und solche mit eingeschränkter Hör-Merkspanne und Diskriminationsdefiziten.

Wenn die Verschreibung einer FM-Anlage in Erwägung gezogen wird, soll laut Nickisch [64] zunächst das Sprachverständnis im Störgeräusch und der Nutzen durch FM quantifiziert werden (entspricht der Untersuchung, die im Rahmen dieser Studie durchgeführt wurde). An diese Untersuchung sollte sich eine Probephase anschließen, in der das Kind mit dem Gerät im Alltag vertraut werden soll. Erst dann wird über die Verschreibung einer FM-Anlage entschieden.

Rosenberg weist darauf hin, dass eine FM-Anlage nie als alleinige Therapiemaßnahme bei AVWS eingesetzt werden, sondern immer im Zusammenhang mit übenden und kompensatorischen Verfahren stehen soll. Vor der Anpassung einer FM-Anlage muss die Hörumgebung evaluiert und so gut es geht modifiziert werden. Erst wenn alle Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sei die Nutzung einer FM-Anlage in Erwägung zu ziehen [81]. Ferner muss überlegt werden, ob die Anlage ganztägig oder nur in bestimmten Situationen zum Einsatz kommen soll. Durch den kontinuierlichen Einsatz von übenden und

kompensatorischen Verfahren sollte die FM-Nutzung langfristig wieder reduziert und die neu erworbenen Kompetenzen angewandt werden.

Von herausragender Bedeutung für den Therapieerfolg sind vorherige Beratung, Aufklärung und Einweisung des Patienten und der Eltern. Der Patient muss das Gerät regelmäßig warten, indem er es pflegt, seine Funktion testet und den Sender täglich auflädt. Die Anforderungen an die Compliance des jungen Patienten sind hoch, da er sich in der Schule selbständig darum kümmern muss, den FM-Sender mitsamt Mikrophon dem jeweiligen Lehrer auszuhändigen und am Ende der Unterrichtsstunde wieder an sich zu nehmen.

Mehrere Arbeitsgruppen [32, 47, 94] erfragten, wie gut Lehrer und Schüler mit dem Gerät zurechtkommen und ob es von Mitschülern akzeptiert ist. Dabei ergaben sich durchweg positive Resonanzen, was sicher auch damit zusammenhängt, dass ständige Weiterentwicklung die Geräte immer unscheinbarer und optisch ansprechender erscheinen lässt. Auch in dieser Studie zeigten sich die meisten Kinder dem Gerät gegenüber interessiert und aufgeschlossen. Einige äußerten aber während der Testung, dass sie es peinlich fänden, solch ein Gerät in der Schule zu tragen.

Zur Nutzung von FM-Anlagen im Rahmen von auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung existieren bisher wenige Studien. Die meisten Studien untersuchen Aspekte die Kopplung von FM-Anlagen an Hörgeräte betreffend oder aber den Einsatz von Soundfield-Systemen in Schulen. Insofern scheint weitere Forschung die Nutzung von FM-Anlagen betreffend, besonders für die Klientel der an AVWS erkrankten Kinder, notwendig. Gerade der Langzeiteinsatz in der Schule sollte erprobt werden. Nach sechs Wochen können sich erste Erfolge abzeichnen, die mittels erneuter Testbatterie bzw. Verhaltensbeobachtung messbar werden; nach einem Jahr verbessern sich ggf. die Schulnoten [32].

Eine sorgfältige Indikationsstellung vorausgesetzt, profitieren auditiv verarbeitungs- und wahrnehmungsgestörte und andere Kindern erheblich von

der Nutzung einer FM-Anlage, weshalb Therapeuten sowie Pädagogen und Eltern diese zur Verfügung stehende Option bedenken sollten.

.



## 6 Zusammenfassung

Die auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS) ist durch normale periphere Hörleistungen und Funktionsbeeinträchtigungen auf zentraler Ebene charakterisiert. Häufig ist die binaurale Hörverarbeitung beeinträchtigt, was sich durch vermindertes Sprachverständnis in nebengeräuschreichen Situationen äußert. Im Umfeld Schule finden sich häufig schlechte akustische Verhältnisse, die durch Störgeräusche, lange Nachhallzeiten und ungünstige Reflexionseigenschaften zustande kommen und in der Folge zu niedrige Signal-Rausch-Abständen (SRA, Verhältnis zwischen Nutzschall und Störschall) aufweisen. AVWS-erkrankte Kinder können solche Situationen besonders schlecht kompensieren, so dass sie in der Sprachentwicklung und in weiteren Lernprozessen benachteiligt sind, was sich negativ auf die Schulkarriere auswirken kann. Neben den üblichen kompensatorischen und übenden Verfahren kommt der FM-Anlage in der Therapie der AVWS eine zunehmend bedeutende Rolle zu.

In dieser Studie sollte die Wirksamkeit einer FM-Anlage anhand einer Vergleichsmessung mittels des Oldenburger Satztests untersucht werden. Dabei wurde dieser zunächst ohne und, im direkten Anschluss, mit FM-Anlage durchgeführt und so die Verbesserung der Sprachverständlichkeitsschwelle L50 (SRA bei 50% Sprachverständnis) detektiert. 20 Kinder (mittleres Alter  $9,13 \pm 1,44$  Jahre), die zur Erstdiagnostik in die Abteilung kamen, aber ein unauffälliges OLSA-Ergebnis aufwiesen, dienten als Kontrollgruppe (Gruppe 1). Weitere 34 Kinder derselben Altersspanne durchliefen den OLSA bereits im Vorjahr im Rahmen der Erstdiagnostik und erzielten ein auffälliges Testergebnis; der im Rahmen dieser Studie stattfindende Retest war bei der Hälfte dieser Gruppe unauffällig (Gruppe 2a, mittleres Alter  $8,67 \pm 1,33$  Jahre) und bei der anderen Hälfte abermals auffällig (Gruppe 2b, mittleres Alter  $8,95 \pm 1,54$  Jahre).

Die Wertepaare OLSA ohne FM und OLSA mit FM unterschieden sich höchstsignifikant voneinander ( $p=0,001$ ). Im Mittel verbesserte sich die Sprachverständlichkeitsschwelle L50 im Gesamtkollektiv ( $n=54$ ) um  $8,77 \pm 2,68$

dB S/N (Gruppe 1:  $8,86 \pm 2,18$  dB S/N; Gruppe 2a:  $7,89 \pm 3,10$  dB S/N; Gruppe 2b:  $9,53 \pm 2,66$  dB S/N). Auf einem Signifikanzniveau von 0,05 ließen sich keine signifikanten Altersabhängigkeiten detektieren – weder für den OLSA ohne Hilfsmittel noch für das Ergebnis mit FM-Anlage noch für die Verbesserung durch FM. Die o. g. Unterschiede zwischen den Gruppen sind ebenfalls nicht signifikant, so dass man durch Nutzung einer FM-Anlage von einer Verbesserung der Sprachverständlichkeitsschwelle L50 von 8-9 dB ausgehen kann, die unabhängig vom erreichten Wert ohne Hilfsmittel ist.

Erreicht wird diese Verbesserung durch die Überwindung der Distanz zum Sprecher und die Verstärkung seiner Stimme. Es resultiert ein verbessertes Sprachverständnis und eine Erleichterung der Kommunikation. Dies ist besonders für die Kinder der Gruppe 2b und darüber hinaus für sämtliche AVWS-erkrankte Kinder mit Selektionsschwäche klinisch relevant, so dass die Anschaffung einer FM-Anlage für sie zu erwägen ist.

In Folge dieser Beobachtungen lässt sich ein positiver Einfluss der FM-Anlage auf das (Kommunikations-)Verhalten des betroffenen Kindes im Schulunterricht und auf seine schulischen Erfolge vermuten. Einige Studien scheinen diese Annahme zu belegen. Gleichwohl sind aber gerade Langzeitstudien notwendig, um die Veränderung von Verhalten und schulischen Leistungen durch FM-Nutzung zu untersuchen.

## 6 Summary

The term “central auditory processing disorder”, (CAPD), is characterized by a normal peripheral hearing ability with a deficit in neural processing. Affected people have difficulties listening in a situation with moderate background noise as well as following oral instructions and understanding rapid or degraded speech. Poor conditions concerning reverberation and disturbing noises are found in classrooms in school, leading to poor signal to noise ratios (SNR). Children suffering from CAPD are not able to manage the distraction in these situations which results in learning disabilities especially in the development of speech. In consequence these children are in danger of achieving a lower academic niveau.

In addition to auditory training and linguistic and cognitive strategies there is the possibility of using signal enhancement strategies to improve the signal to noise ratio. One of these possibilities could be an FM device.

The purpose of the present investigation is to prove the efficacy of a personal FM system by performing the Adaptive Oldenbourg Sentence Test (AOST) with and without a personal FM system. The difference exhibits the speech reception threshold (SRT) for a word reception of 50 percent.

54 subjects participated the study. All of them were recruited in the Centre for Phonology and Pedaudiology in Marburg. 20 children (mean age  $9,13 \pm 1,44$  years) came to our clinic with suspicion of CAPD and performed the AOST by achieving a normal test result. They serve as controls. Another 34 children performed the AOST in previous years and achieved a poor test result. Most of them were diagnosed as having CAPD. Retesting in this investigation emerged for the half of them a normal test result (group 2a, mean age  $8,67 \pm 1,33$  years). Half of them again obtained a poor test result (group 2b, mean age  $8,95 \pm 1,54$  years).

The results of the AOST without and with an FM device differ highly significant ( $p = 0,001$ ). The mean improvement of the SRT amount to  $8,77 \pm 2,68$  dB S/N for the whole sample (group 1:  $8,86 \pm 2,18$  dB S/N; group 2a:  $7,89 \pm 3,10$  dB S/N; group 2b:  $9,53 \pm 2,66$  dB S/N).

We found no significant correlation to age – neither for the result without FM device nor for the result with FM. Differences between the three groups are also not significant. For these reasons we assume an improvement of the SRT with FM device in the amount of 8-9 dB – regardless of the result without any devices.

The above-mentioned improved speech perception is caused by the FM device's effect of overcoming the distance to the speaker and amplifying his voice. Hence better speech perception and relieved communication can be accomplished. Especially for children participating in group 2b and other CAPD-affected children, this advantage makes a substantial difference. According to these results and observations children with CAPD will benefit from using an FM device while having an improved school performance and changing their behaviour. Some investigations seem to prove these assumptions. Nevertheless further, especially long-termed, studies are necessary to verify an improvement in school performance by using a personal FM system.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Arweiler, I: EduLink and its effect on understanding speech in classroom situations. Diplomarbeit an der Universität Zürich. In: Phonak Field Study News, January 2005.
2. ASHA: Amplification as a Remediation Technique for Children with Normal Peripheral Hearing. In: <http://www.asha.org/docs/pdf/TR1991-00235.pdf> (1991). Letzter Zugriff am 11.08.2010
3. ASHA: Central Auditory Processing: Current Status of Research and Implications for Clinical Practice In: American Journal of Audiology, Vol. 5 (1996), S. 41-54.
4. ASHA: Guidelines for Fitting and Monitoring FM Systems. In: <http://www.asha.org/docs/pdf/GL2002-00010.pdf> (2002). Letzter Zugriff am 11.08.2010
5. ASHA: (Central) Auditory Processing Disorders - Technical Report. In: <http://www.asha.org/docs/pdf/TR2005-00043.pdf> (2005). Letzter Zugriff am 11.08.2010
6. ASHA: (Central) Auditory Processing Disorders - The Role of the Audiologist [position statement]. In: <http://www.asha.org/docs/pdf/PS2005-00114.pdf> (2005). Letzter Zugriff am 11.08.2010
7. Bamiou, DE; Musiek, FE & Luxon, LM: Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders - a review. In: Archives of Disease in Childhood, Vol. 85 (2001), S. 361-365.
8. Bellis, TJ & Ferre, JM: Multidimensional Approach to the Differential Diagnosis of Central Auditory Processing Disorders in Children. In: Journal of the American Academy of Audiology, Vol. 10 (1999), S. 319-328.

9. Bellis, TJ: Developing Deficit-Specific Intervention Plans for Individuals with Auditory Processing Disorders. In: Seminars in Hearing, Vol. 23(4) (2002), S. 287-295.
10. Berger, R; Demirakca, T: Vergleich zwischen dem alten und neuen Auswertemodus im dichotischen Diskriminationstest. In: HNO, Vol. 48 (2000), S. 390-393.
11. Berger, R: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS). In: Zeitschrift für Allgemeinmedizin, Vol. 83 (2007), S. 113-117.
12. Bishop, DVM; Bishop, SJ et al.: Different Origin of Auditory and Phonological Processing Problems in Children with Language Impairment: Evidence from a Twin Study. In: Journal of Speech, Language, and Hearing Research, Vol. 42 (1999), S. 155-168.
13. Blake, R; Field, B et al.: Effects of FM auditory trainers on attending behaviors of learning-disabled children. In: Language, Speech and Hearing Services in Schools, Vol. 22 (1991), S.111-114.
14. Böhme, G: Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen. Urban & Fischer, München/Jena (2003), S. 303-330.
15. Boenninghaus, HG & Lenarz, T: HNO. Springer Berlin/Heidelberg (2007), S. 72-119.
16. Bormann, V; Fuder, G & Heinecke-Schmitt, R: Hörminderung und Sprachverständlichkeit bei Schülern in unterrichtstypischen Situationen. In: Ergebnisse des neunten Oldenburger Symposiums zur psychologischen Akustik: Hören in Schulen (2003), S. 149-189.
17. Brand, T; Kollmeier, B: Efficient adaptive procedures for threshold and concurrent slope estimates for psychophysics and speech intelligibility

- tests. In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 111(6) (2002), S. 2801-2810.
18. Brem, A: Evaluation von Testverfahren zur Diagnostik auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) mit Schwerpunkt auf der zeitlichen Diskriminationsfähigkeit auditiver Reize. Dissertation an der Universität München (2003).
19. Brunner, M & Hornberger, C: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) - Drei Thesen zur Diagnosestellung und Therapie. In: HNO, Vol. 55 (2007), S. 331-332.
20. Cacace, AT & McFarland, DJ: The Importance of Modality Specificity in Diagnosing Central Auditory Processing Disorder. In: American Journal of Audiology, Vol. 14 (2005), S. 112-123.
21. Cheour, M; Leppänen, PHT & Kraus N: Mismatch negativity (MMN) as a tool for investigating auditory discrimination and sensory memory in infants and children. In: Clinical Neurophysiology, Vol. 111 (2000), S. 4-16.
22. Chermak, GD; Somers, EK & Seikel, JA: Behavioral Signs of Central Auditory Processing Disorder and Attention Deficit Hyperactivity Disorder. In: Journal of the American Academy of Audiology, Vol. 9 (1998), S. 78-84.
23. Chermak, GD: Managing Central Auditory Processing Disorders. In: Seminars in Hearing, Vol. 19(4) (1998), S. 379-392.
24. Chermak, GD; Hall, JW & Musiek, FE: Differential Diagnosis and Management of Central Auditory Processing Disorder and Attention Deficit Hyperactivity Disorder. In: Journal of the American Academy of Audiology, Vol. 10 (1999), S. 289-303.

25. Chermak, GD & Musiek, FE: Auditory Training: Principles and Approaches for Remediating and Managing Auditory Processing Disorders. In: Seminars in Hearing, Vol. 23(4) (2002), S. 297-308.
26. Chisolm, TH; Noe, CM et al.: Evidence for the Use of Hearing Assistive Technology by Adults: The Role of the FM System. In: Trends in Amplification, Vol. 11 (2007), S. 73-89.
27. Delb, W; Strauss, DJ et al.: Objektive Diagnostik der zentralen auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS) mit Hilfe der binauralen Differenzpotentiale früher auditorisch evozierter Potentiale. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 10 (2002/03), S. 313-317.
28. Delb, W: Objektive Diagnostik der zentralen auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS). In: HNO, Vol. 51(2) (2003), S. 99-103.
29. Ebner, K; Steffens, T & Hellbrück, J: Sprachverstehen in Ruhe und im Störgeräusch und Lerneffekte bei normalhörenden sowie unilateral und sequentiell bilateral cochlea-implantierten Kindern. In: Zeitschrift für Audiologie, Vol. 47(3) (2008), S. 100-110.
30. Esser, G; Anderski, C et al.: Auditive Wahrnehmungsstörungen und Fehlhörigkeit bei Kindern im Schulalter. In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 11 (1987), S. 10-16.
31. Fastl, H. Ein Störgeräusch für die Sprachaudiometrie. In: Audiologische Akustik, Vol. 26 (1987), S.2-13.
32. Friederichs, E & Friederichs, P: Clinical and auditory findings after one year application of a personal ear-level FM-device in children with symptoms of an auditory processing disorder: Challenge of a possible new perspective? In: Journal of Educational Audiology, Vol. 12 (2005), S. 31-36.



33. Greulich, W (Hrsg.): Lexikon der Physik, Bd. 2. Spektrum, Heidelberg (1999), S. 419.
34. Gross, M; Nubel, K & Wohlleben, B: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS): Komplexe Störungsbilder. Urban & Fischer, München/Jena (2006), S. 252-276.
35. Günther, H & Günther, W: Diagnose auditiver Störungen bei Sprachauffälligkeiten und Lese-Rechtschreibschwierigkeiten im Primärbereich. In: Die Sprachheilarbeit, Vol. 37 (1992), S. 5-19.
36. Günther, H: Zur Relevanz zentraler Funktionen der auditiven Perzeption hinsichtlich der Sprachwahrnehmung. In: Die Sprachheilarbeit, Vol. 39 (1994), S. 352-362.
37. Häberle, G; Häberle, H et al.: Fachkunde Radio-, Fernseh- und Funkelektronik. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer, Haan-Gruiten (1992), S. 302f; 335ff.
38. Hesse, G; Nelting, M et al.: Benefit-, Effektivitäts- und Effizienznachweis therapeutischer Verfahren bei zentral-auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 22 (1998), S. 194-198.
39. Hesse, G; Nelting, M et al.: Die stationäre Intensivtherapie bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen im Kindesalter. In: HNO, Vol. 49 (2001), S. 636-641.
40. Ingold, L & Tschopp, K: Ein Vorschlag zur Eichung und Wahl von Störgeräuschen für die Sprachaudiometrie. In: Laryngo-Rhino-Otologie 71 (1992), S. 315-318.
41. Jerger, J & Musiek, F: Report of the Consensus Conference on the Diagnosis of Auditory Processing Disorders in School-Aged Children. In:

- Journal of the American Academy of Audiology, Vol. 11 (2000), S. 467-474.
42. Jirsa, RE: Clinical Efficacy of Electrophysiologic Measures in APD Management Programs. In: Seminars in Hearing, Vol. 4 (2002), S. 349-355.
43. Joseph, A; Jahn, K & Zwirner, P: Psychische Auffälligkeiten bei Kindern mit auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 11 (2003/04), S. 319-322.
44. Kiese-Himmel, C: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen im Kindesalter: eine Schimäre - oder fehlen uns klinisch nützliche Verfahren zur Diagnosesicherung? In: Laryngo-Rhino-Otologie, Vol. 87(11) (2008), S. 791-795.
45. Kießling, J: Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. In: Laryngo-Rhino-Otologie, Vol. 79 (2000), S. 633-635.
46. Klinke, R & Silbernagl, S: Lehrbuch der Physiologie. Thieme, Stuttgart (2003).
47. Kreisman, BM & Crandell, CC: Frequency Modulation (FM) Systems for Children with Normal Hearing. In: [http://www.audiologyonline.com/articles/article\\_detail.asp?article\\_id=358](http://www.audiologyonline.com/articles/article_detail.asp?article_id=358) (2002). Letzter Zugriff am 11.08.2010
48. Lange, K: Untersuchung der Phonemdiskrimination bei normalentwickelten Schulkindern mit ereigniskorrelierten Potentialen, Dissertation an der Freien Universität Berlin (2002).
49. Lauer, N: Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter. Thieme, Stuttgart (2006).

50. Lewis, MS; Crandell, CC et al.: Improving Speech Perception in Noise with Directional Microphones and Frequency Modulation (FM) Technology. In: [http://www.audiologyonline.com/articles/article\\_detail.asp?article\\_id=367](http://www.audiologyonline.com/articles/article_detail.asp?article_id=367) (2002). Letzter Zugriff am 11.08.2010
51. Lewis, MS, Crandell CC & Kreisman, NV: Effects of Frequency Modulation (FM) Transmitter Microphone Directivity on Speech Perception in Noise. In: American Journal of Audiology, Vol. 13 (2004), S. 16-22.
52. de Maddalena, H: Zur Validität der auditiven Wahrnehmungsdiagnostik bei Kindern. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 8 (2000/01), S. 269-274.
53. Massinger, C; Nickisch, A et al.: Bestehen Zusammenhänge zwischen den Angaben im AVWS-Anamnesebogen der DGPP und den Ergebnissen des Heidelberger Lautdifferenzierungstests? In: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2004/04dgpp57.shtml> (2004). Letzter Zugriff am 11.08.2010
54. Matschke, RG; Stenzel, C et al.: Maturational Aspects of the Human Auditory Pathway: Anatomical and Electrophysiological Findings. In: ORL, Vol. 56 (1994), S. 68-72.
55. Matulat, P; Bersenbrügge, H & Lamprecht-Dinnesen, A: Diagnose zentraler Hörverarbeitungsstörungen und auditiver Wahrnehmungsstörungen – Eine retrospektive Erhebung. In: Zeitschrift für Audiologie, Vol. 38 (1999), S. 112S-114S.
56. Mühler, C & Gräbel, S: Bedeutung der CERA zur Diagnostik auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen im Schulalter. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 10 (2002/03), S. 309-312.

57. Musiek, FE; Gollegly, KM & Baran, JA: Myelination of the corpus callosum and auditory processing problems in children: theoretical and clinical correlates. In: Seminars in Hearing, Vol. 5 (1984), S. 231-241.
58. Musiek, FE; Gollegly, KM et al.: Selected Issues in Screening for Central Auditory Processing Dysfunction. In: Seminars in Hearing, Vol. 11(4) (1990), S. 372-384.
59. Musiek, FE; Shinn, J & Hare, C: Plasticity, Auditory Training, and Auditory Processing Disorders. In: Seminars in Hearing, Vol. 23(4) (2002), S.263-275.
60. Nickisch, A & Biesalski, P: Ein Hörtest mit zeitkomprimierter Sprache für Kinder. In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 8 (1984), S. 31-34.
61. Nickisch, A: Diagnostik zentraler Hörstörungen im Kindesalter. In: Laryngo-Rhino-Otologie, Vol. 67 (1988), S. 312-315.
62. Nickisch, A & Oberle, D: Analyse von Testprofilen bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 10 (2002/03), S. 327-331.
63. Nickisch, A; Heuckmann, C & Massinger, C: Münchner Auditiver Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (MAUS). In: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2004/04dgpp55.shtml> (2004).  
Letzter Zugriff am 11.08.2010
64. Nickisch, A; Heber, D & Burger-Gartner, J: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) bei Schulkindern. verlag modernes lernen, Dortmund (2005).
65. Nickisch, A; Gross, M et al.: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen - Konsensus-Statement der DGPP. In: HNO, Vol. 5 (2007), S. 61-72.

66. Nubel, K; Lange, K et al.: Untersuchung der auditiven Wahrnehmung bei normalentwickelten Schulkindern mit ereigniskorrelierten Potentialen. In: Aktuelle phoniatisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 8 (2000/01), S. 296-299.
67. Oldenburger Satztest - Handbuch und Hintergrundwissen, Hörtech gGmbH, Oldenburg 2000.
68. Palmer, CV: Quantification of the Ecobehavioral Impact of a Soundfield Loudspeaker System in Elementary Classrooms. In: Journal of Speech, Language and Hearing Research, Vol. 41(4) (1998), S. 819-833.
69. Phonak: Anwendungen von Funksystemen. In: <http://www.phonak.com/de/b2c/de/products/fm.html> Letzter Zugriff am 11.08.2010
70. Phonak: Produktinformation Campus SX. Technische Daten und Gebrauchsanweisung. In: [http://www.phonak.de/ccde/professional/productsp/fm/transmitters\\_new/com\\_campus-sx.htm](http://www.phonak.de/ccde/professional/productsp/fm/transmitters_new/com_campus-sx.htm). Letzter Zugriff am 14.02.2009
71. Phonak: Produktinformation EduLink. Technische Daten und Gebrauchsanweisung. In: [http://www.phonak.de/ccde/professional/productsp/fm/receivers\\_new/edulink-1.htm](http://www.phonak.de/ccde/professional/productsp/fm/receivers_new/edulink-1.htm). Letzter Zugriff am 14.02.2009
72. Preclik, M; Rosanowski, F et al.: Anamnesebogen für auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen - Psychometrische Korrelate im Vorschulalter. In: HNO, Vol. 56(6) (2008), S. 638-644.
73. Pschyrembel - Klinisches Wörterbuch. Walter de Gruyter, Berlin (2002), S. 1779.
74. Ptok, M & Ptok, A: Die Entwicklung des Hörens. In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 20 (1996), S. 1-5.

75. Ptok, M.: Das schwerhörige Kind. In: Deutsches Ärzteblatt, Vol. 94 (1997), S. A-1932-1937.
76. Ptok, M: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS): Grundlagen einer störungsspezifischen Therapie. Urban & Fischer, München/Jena (2006), S. 242-251.
77. Rader, T; Schmiegelow, C et al.: Oldenburger Satztest im "Multi-Source Noise Field" mit unterschiedlichen Modulationscharakteristika. DAGA-Jahrestagung, Dresden (2008).
78. Risse, T & Kiese-Himmel, C: Der Mottier-Test: Teststatistische Überprüfung an 4- bis 6-jährigen Kindern. In: HNO, Vol. 56 (2008), S. 1-6.
79. Roberts, JE; Burchinal, MR et al.: Otitis Media in Early Childhood and Cognitive, Academic, and Classroom Performance of School-Aged Child. In: Pediatrics, Vol. 83 (1989), S. 477-485.
80. Roberts, JE; Burchinal, MR & Zeisel, SA: Otitis Media in Early Childhood in Relation to Children's School-Age Language and Academic Skills. In: Pediatrics, Vol. 110 (2002), S. 696-706.
81. Rosenberg, GG: Classroom Acoustics and Personal FM Technology in Management of Auditory Processing Disorder. In: Seminars in Hearing, Vol. 23(4) (2002), S. 309-317.
82. Ross, M: Listening with a "Third Ear" – FM Systems. In: [http://www.audiologyonline.com/articles/article\\_detail.asp?article\\_id=561](http://www.audiologyonline.com/articles/article_detail.asp?article_id=561) (2004). Letzter Zugriff am 11.08.2010
83. Sapienza, CM; Crandell, CC & Curtis, B: Effects of Sound-Field Frequency Modulation Amplification on Reducing Teachers' Sound

- Pressure Level in the Classroom. In: Journal of Voice, Vol. 13(3) (1999), S. 375-381.
84. Schick, A; Klatte, M & Meis, M: Die Lärmbelastung von Lehrern und Schülern – ein Forschungsstandbericht. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Vol. 46 (1999), S.77-87.
85. Schick, A; Klatte, M & Meis, M: Noise stress in classrooms. In: Contributions to the Psychological Acoustics, Results of the 8th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics 2000, S. 533-569.
86. Schiebler, TH & Schmidt, W: Anatomie. Springer, Berlin/Heidelberg (2002).
87. Schoenweiler, R: "APD" neu definiert - ein Vorbild für "AVWS"? In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 30 (2006), S. 36-37.
88. Schottke, H: Normung im Bereich der Klassenraumakustik (2003). In: Ergebnisse des neunten Oldenburger Symposiums zur psychologischen Akustik: Hören in Schulen (2003), S. 49-64.
89. Spreng, M: Die Wirkung von Lärm und unerwünschten Geräuschen auf die Sprachentwicklung bei Kindern (2003). In: Ergebnisse des neunten Oldenburger Symposiums zur psychologischen Akustik: Hören in Schulen (2003), S.117-147.
90. Stach, B; Loisel, LH et al.: Clinical experience with personal FM assistive listening devices. In: The Hearing Journal 40 (1987), S. 24-30.
91. Stach, BA; Loisel, LH & Jerger, JF: Special Hearing Aid Considerations in Elderly Patients with Auditory Processing Disorders. In: Ear and Hearing, Vol. 12(6) (1991), S. 131S-138S.

92. Starzacher, E; Nubel, K et al.: Untersuchung modalitätsspezifischer Aufmerksamkeit bei Kindern mit auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung mittels des Continuous Attention Performance Tests (CAPT). In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 10 (2002/03), S. 353-357.
93. Steffens, T: Oldenburger Kinderreimtest (OLKI) im sprachsimulierenden Störgeräusch. In: HNO, Vol. 12 (2003), S. 1012-1018.
94. Tchorz, J: EduLink: Improves speech understanding in noisy classrooms. In: Phonak Field Study News, May 2004.
95. Tibussek, D; Meister, H et al.: Hearing loss in early infancy affects maturation of the auditory pathway. In: Developmental Medicine and Child Neurology, Vol. 44 (2002), S. 123-129.
96. Trepel, M: Neuroanatomie - Struktur und Funktion. Urban & Fischer, München/Jena (2004).
97. Uttenweiler, V: Dichotischer Diskriminationstest für Kinder. In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 4 (1980), S. 107-111.
98. Uttenweiler, V: Diagnostik zentraler Hörstörungen, auditiver Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen. In: Sprache Stimme Gehör, Vol. 20 (1996), S. 80-90.
99. Wagener, K; Kühnel, V & Kollmeier, Birger: Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache - I-III: Design, Optimierung und Evaluation des Oldenburger Satztests. In: Zeitschrift für Audiologie, Vol. 38(1-3) (1999), S. 4-15, 44-56, 86-95.
100. Wagener, KC & Kollmeier, B: Göttinger und Oldenburger Satztest. In: Zeitschrift für Audiologie, Vol. 43(3) (2004), S. 134-141.



101. Wagener, KC & Kollmeier, B: Evaluation des Oldenburger Satztests mit Kindern und Oldenburger Kinder-Satztest. In: Zeitschrift für Audiologie, Vol. 44(3) (2005), S. 134-143.
102. Weiß, C: Basiswissen Medizinische Statistik. Springer, Heidelberg/Berlin (2005).
103. Wendler, J; Seidner, W & Eysholdt, U: Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie. Thieme, Stuttgart (2005).
104. Wittkämper, VI; Lindner, S et al.: Zur Bewertung anamnestischer Angaben bei Verdacht auf auditive Wahrnehmungsstörungen. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 8 (2000/01), S. 277-281.
105. Wohlleben, B; Nubel, K et al.: Psychometrische Untersuchungsmethoden der auditiven Wahrnehmung bei normalentwickelten Schulkindern. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 8 (2000/01), S. 281-283.
106. Wohlleben, B; Nubel, K & Gross, M: Sensitivitäts- und Spezifitätsanalyse von 14 Testverfahren zur Untersuchung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung. In: Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Vol. 11 (2003/04), S. 300-303.
107. Wohlleben, B; Rosenfeld, J & Gross, M: Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) - Erste Normwerte zur standardisierten Diagnostik bei Schulkindern. In: HNO, Vol. 55 (2007), S. 403-410.
108. Zeng, FG; Kong, YY et al.: Perceptual Consequences of Disrupted Auditory Nerve Activity. In: Journal of Neurophysiology, Vol. 93 (2005), S. 3050-3063.

## 8 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Berger für die Überlassung des Themas, die Anleitung zum selbständigen Arbeiten sowie die bereichernden Gespräche. Die prompte Beantwortung aller E-Mails und die Bereitschaft zu verschiedenen Treffen haben mir das Schreiben an dieser Arbeit sehr erleichtert.

Allen Mitarbeitern der Abteilung danke ich für die freundliche, herzliche Atmosphäre und das gute Arbeitsklima, besonders jedoch Herrn Dr. Holger Hanschmann, Frau Kirsten Lorsbach, Herrn Jochen Müller, Herrn Steffen Schwarz und Frau Traudel Zitawi für zahlreiche Hilfestellungen und Ratschläge.

Aus dem biometrischen Zentrum der Philipps-Universität hat mich Dr. Hans-Helge Müller statistisch beraten und Herr Tilmann Görg in das Programm SPSS eingeführt. Dafür möchte ich ihnen danken.

Danken möchte ich meiner Patentante Ute und meiner Studienkollegin Katrin für das Korrekturlesen dieser Arbeit und die detaillierten Anregungen.

Von ganzem Herzen danke ich meinen Eltern und meinem Ehemann für immer wiederkehrende Ermutigungen und ihre Unterstützung. Ohne sie wäre diese Arbeit und nicht zuletzt mein Studium nicht möglich gewesen. Besonders bedanke ich mich bei meiner Mutter für ihre bibliothekarisch fachlichen Tipps bezüglich der Literaturrecherchen.

Vielen Dank an alle teilnehmenden Kinder und ihre Eltern, die mit ihrer Zuverlässigkeit und ihrem Eifer diese Studie unterstützt haben.

Im Namen der Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie Marburg bedanke ich mich bei der Firma Phonak für die freundliche Überlassung der FM-Anlage.

## 9 Anhang

Informationsblatt

Einverständniserklärung

Formular Oldenburger Satztest

Bilder des Versuchsaufbaus

Philipps-Universität, Fachbereich Medizin, 35033 Marburg

Fachbereich Medizin

Klinik für Phoniatrie und  
Pädaudiologie

**Prof. Dr. med. Roswitha Berger**

Tel.: (0 64 21) 28 6-64 39

Fax: (0 64 21) 28 6-28 24

E-Mail: [bergerr@med.uni-marburg.de](mailto:bergerr@med.uni-marburg.de)

Anschrift: Deutschhausstr. 3  
35037 Marburg

Web: [www.uni-marburg.de/phoniatrie](http://www.uni-marburg.de/phoniatrie)

Az.: Prof. Berger

Marburg, 12.10.2007

## **Untersuchung zum Sprachverständnis im Störgeräusch mit dem Oldenburger Satztest (OLSA) mit und ohne FM- Anlage**

Sehr geehrte Eltern,

Schallreize werden über das Ohr aufgenommen und im Gehirn verarbeitet.

Die Verarbeitung bzw. Interpretation der akustischen Signale unterliegt einer Entwicklung, die bereits im Säuglingsalter beginnt und für die Sprachentwicklung maßgeblich verantwortlich ist.

Das Hörsystem verfügt über die Fähigkeit leise Geräusche zu verstärken, aber auch sogenannten „Störschall“ zu minimieren, damit wir auch in akustisch ungünstigen Situationen alles verstehen können. Allerdings können schon geringe Funktionsstörungen in der Hörverarbeitung die Sprachverständlichkeit vermindern und damit den Spracherwerb und die sprachliche Kommunikation beeinträchtigen.

Einigen Kindern gelingt es nicht, sprachliche Informationen ausreichend differenziert wahrzunehmen, obwohl sie über ein normales peripheres Hörvermögen verfügen, d.h., dass ihr Ohr gesund ist und sie auch leise Schallereignisse gut hören können. Spürbare Folgen können Sprachentwicklungsstörungen, eine ungenügende Merkfähigkeit, Konzentrationsmangel und Lese-Rechtschreib-Schwierigkeiten sein.

Derartige Auffälligkeiten können als Zeichen einer auditiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörung (AVWS) gewertet werden.

Die Diagnosestellung einer auditiven Wahrnehmungsstörung erfordert eine Reihe von audiologischen und nicht audiologischen Tests, um die einzelnen auditiven Verarbeitungsleistungen beurteilen zu können. Ein wesentlicher Bestandteil der Diagnostik ist ein audiologischer Test, der das Sprachverstehen im Störschall überprüfen kann.

Wir nutzen dafür den **Oldenburger Satztest im Störgeräusch**.

Bei diesem Test wird der Signal-Rausch-Abstand für 50 % Sprachverstehen bestimmt. Dazu müssen jeweils 50 Fünf-Wort-Sätze, beginnend mit 65 dB Nutzschaall und 65 dB Störschall nachgesprochen werden. Wenn 100% der Sätze verstanden werden, wird der Sprachschallpegel um 2 dB verringert. Das 50 %ige Sprachverstehen bei Erwachsenen liegt bei einem Signal-Rausch-Abstand von - 5 dB bis -9 dB.

FM-Anlagen werden genutzt, um den Signal-Rausch-Abstand zwischen Nutzschaall und Störschall zu optimieren und damit die Sprachverständlichkeit verbessern zu können.

Gegenstand dieser Studie ist es, das Sprachverständnis mit dem **Oldenburger Satztest im Störgeräusch mit und ohne FM-Anlage** zu überprüfen. Wir erhoffen uns Aussagen darüber treffen zu können, ob der Einsatz einer FM- Anlage bei Kindern mit auditiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen das Sprachverstehen unter akustisch ungünstigen Situationen verbessern kann.

Wir würden uns freuen, wenn Sie uns bei der Beantwortung dieser Fragestellung unterstützen, in dem Sie der Teilnahme Ihres Kindes zur dieser Untersuchung zustimmen.

- 2 -

Wir haben während der Diagnostik zur AVWS bei Ihrem Kind mit dem OLSA Test ein „schlechtes“ Sprachverstehen im Störschall ermittelt.

Wir möchten den gleichen Test mit und ohne FM-Anlage wiederholen.

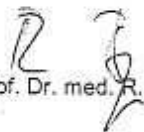
Diese Überprüfung dauert ca. 45 min. Weitere belastende Aufgaben kommen nicht auf Ihr Kind zu.

Um Vergleichswerte zu erhalten, ist es notwendig, diese Prüfung auch bei Kindern ohne eine bekannte AVWS durchzuführen.

Selbstverständlich ist die Teilnahme freiwillig und kann ohne Angabe von Gründen zurückgezogen werden, ohne dass Nachteile für Ihr Kind bestehen.

Die gewonnenen Daten werden anonym verarbeitet und in einer eigenen Datenbank gespeichert und nach Beendigung der Studie gelöscht.

Wir bedanken uns für Ihr Interesse und würden uns über Ihre Zustimmung zur Teilnahme freuen.

  
Univ. Prof. Dr. med. R. Berger

## Einverständniserklärung

### **Untersuchung zum Sprachverständnis im Störgeräusch mit dem Oldenburger Satztest (OLSA) mit und ohne FM- Anlage**

Liebe Eltern,  
sollten Sie nach Lesen unseres Einladungsbriefes mit der Teilnahme Ihres Kindes an unserer Studie einverstanden sein, so geben Sie uns bitte diese Einverständniserklärung als Bestätigung mit Ihrer Unterschrift versehen zurück.

Bitte teilen Sie uns Ihre Telefonnummer mit, damit wir mit Ihnen einen Termin vereinbaren können, der Ihnen und Ihrem Kind gut passt. Selbstverständlich können die Termine so gelegt werden, dass Ihrem Kind kein Schulausfall entsteht. Für offen gebliebene Fragen stehen wir Ihnen jederzeit sowie persönlich als auch telefonisch zur Verfügung.

Der Test wird auf freiwilliger Basis durchgeführt und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden, ohne dass Ihnen oder Ihrem Kind daraus Nachteile entstehen.

Die Untersuchung wird von Frau Sarah Wiehe durchgeführt.

Ich (Wir) erkläre(n) mich (uns) mit der Teilnahme unseres Kindes an der o.g. Studie einverstanden. Das Informationsblatt habe(n) ich (wir) erhalten.

**Name, Vorname:**

**Vorname des Kindes:**

**Anschrift:**

**Telefonnr.**

**Am besten zu erreichen in der Zeit:**

**Datum:**

**Unterschrift:**



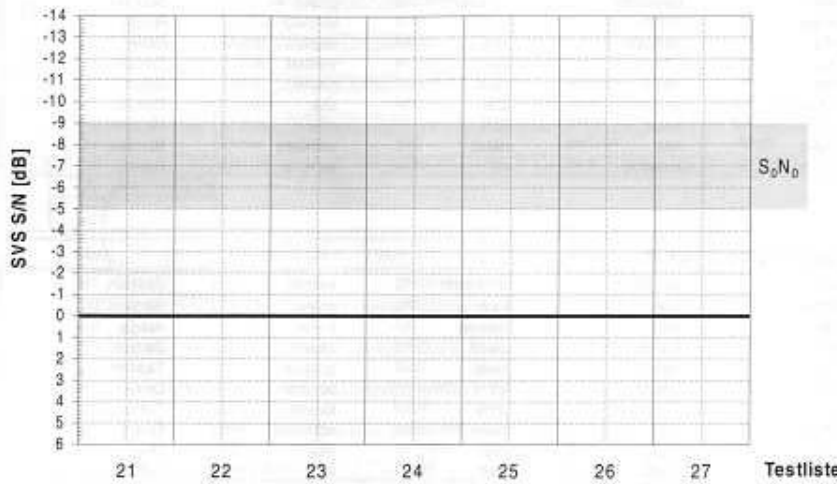
# Oldenburger Satztest – Formular F4

CD 2 / Testliste 21 - 27



Name: ..... Geboren am : .....

Datum/Uhrzeit: ..... Durchgeführt von: .....



ILD: \_\_\_\_\_ dB

BILD: \_\_\_\_\_ dB

**Bemerkung:**

21	Art der Messung:		R / L	<input type="checkbox"/> $S_0N_0$	<input type="checkbox"/> $S_0N_{90}$	R/L	<input type="checkbox"/> $S_0N_{180}$	Rauschpegel(N): _____ dB (SPL)
	<b>Satz</b>	<b>Pegel</b>	<b>Testliste 21: Track 1-2</b>					
	1		Nina	bekommt	drei	kleine	Bilder.	
	2		Wolfgang	sieht	neun	weisse	Sessel.	
	3		Doris	mailt	acht	teure	Dosen.	
	4		Tanja	gibt	vier	schwere	Steine.	
	5		Kerstin	verleiht	elf	grüne	Autos.	
	6		Ulrich	gewann	zwölf	rote	Messer.	
	7		Peter	kauft	achtzehn	nasse	Schuhe.	
	8		Thomas	hat	zwei	grosse	Blumen.	
	9		Britta	schenkt	fünf	alte	Ringe.	
	10		Stefan	nahm	sieben	schöne	Tassen.	
	11		Ulrich	schenkt	sieben	alte	Messer.	
← Mittelung	12		Britta	hat	acht	weisse	Bilder.	
	13		Doris	kauft	drei	grosse	Ringe.	
	14		Thomas	nahm	zwölf	nasse	Sessel.	
	15		Tanja	mailt	achtzehn	schwere	Dosen.	
	16		Peter	gewann	elf	schöne	Blumen.	
	17		Kerstin	bekommt	zwei	rote	Tassen.	
	18		Nina	verleiht	neun	teure	Autos.	
	19		Stefan	gibt	fünf	grüne	Steine.	
	20		Wolfgang	sieht	vier	kleine	Schuhe.	
	21							
	∅							
	<b>Satz</b>	<b>Pegel</b>	<b>Testliste 21x: Track 3</b>					
← Mittelung	21		Nina	kauft	zwei	alte	Ringe.	
	22		Britta	gewann	neun	schöne	Bilder.	
	23		Ulrich	schenkt	elf	weisse	Dosen.	
	24		Stefan	verleiht	fünf	grüne	Sessel.	
	25		Thomas	bekommt	achtzehn	teure	Autos.	
	26		Kerstin	nahm	acht	schwere	Steine.	
	27		Doris	hat	zwölf	grosse	Blumen.	
	28		Wolfgang	sieht	vier	nasse	Schuhe.	
	29		Peter	mailt	sieben	kleine	Messer.	
	30		Tanja	gibt	drei	rote	Tassen.	
31								
	∅							

22 Art der Messung: R / L <input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>0</sub> <input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>90</sub> R/L <input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>1,90</sub> Rauschpegel(N): ____ dB (SPL)							
	Satz	Pegel	Testliste 22: Track 4-5				
	1		Thomas	bekommt	fünf	teure	Sessel.
	2		Peter	gibt	zwei	schöne	Messer.
	3		Tanja	malt	acht	weisse	Dosen.
	4		Nina	sieht	vier	grüne	Tassen.
	5		Britta	nahm	zwölf	nasse	Autos.
	6		Wolfgang	kauft	elf	rote	Steine.
	7		Stefan	hat	neun	alte	Schuhe.
	8		Doris	gewann	achtzehn	kleine	Bilder.
	9		Kerstin	schenkt	drei	schwere	Blumen.
	10		Ulrich	verleiht	sieben	grosse	Ringe.
	11		Nina	malt	acht	grosse	Steine.
← Mittelung	12		Ulrich	bekommt	achtzehn	grüne	Schuhe.
	13		Stefan	nahm	zwölf	kleine	Ringe.
	14		Doris	gewann	sieben	teure	Bilder.
	15		Peter	gibt	vier	weisse	Tassen.
	16		Britta	sieht	zwei	nasse	Dosen.
	17		Wolfgang	verleiht	drei	alte	Sessel.
	18		Tanja	kauft	fünf	rote	Messer.
	19		Kerstin	hat	neun	schwere	Blumen.
	20		Thomas	schenkt	elf	schöne	Autos.
	21						
	∅						
22x: Track 6							
	Satz	Pegel	Testliste 22x: Track 6				
← Mittelung	21		Nina	bekommt	achtzehn	weisse	Blumen.
	22		Stefan	hat	fünf	grüne	Bilder.
	23		Peter	gibt	sieben	teure	Autos.
	24		Britta	nahm	zwölf	nasse	Sessel.
	25		Ulrich	sieht	zwei	grosse	Tassen.
	26		Thomas	gewann	elf	schöne	Dosen.
	27		Tanja	schenkt	acht	kleine	Steine.
	28		Kerstin	verleiht	neun	schwere	Ringe.
	29		Wolfgang	malt	drei	alle	Messer.
	30		Doris	kauft	vier	rote	Schuhe.
31							
	∅						
23 Art der Messung: R / L <input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>0</sub> <input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>90</sub> R/L <input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>1,90</sub> Rauschpegel(N): ____ dB (SPL)							
	Satz	Pegel	Testliste 23: Track 7-8				
	1		Peter	nahm	neun	teure	Steine.
	2		Thomas	bekommt	sieben	rote	Schuhe.
	3		Britta	verleiht	elf	alte	Bilder.
	4		Kerstin	sieht	achtzehn	grüne	Sessel.
	5		Tanja	kauft	acht	nasse	Messer.
	6		Stefan	malt	drei	grosse	Ringe.
	7		Doris	gewann	vier	schöne	Blumen.
	8		Wolfgang	schenkt	zwölf	schwere	Tassen.
	9		Nina	gibt	zwei	weisse	Autos.
	10		Ulrich	hat	fünf	kleine	Dosen.
	11		Nina	schenkt	drei	teure	Schuhe.
← Mittelung	12		Ulrich	malt	elf	weisse	Dosen.
	13		Peter	verleiht	vier	kleine	Bilder.
	14		Britta	gibt	sieben	rote	Sessel.
	15		Tanja	hat	zwei	alle	Messer.
	16		Kerstin	nahm	fünf	grosse	Autos.
	17		Wolfgang	sieht	achtzehn	schöne	Ringe.
	18		Doris	bekommt	acht	nasse	Steine.
	19		Stefan	gewann	zwölf	grüne	Blumen.
	20		Thomas	kauft	neun	schwere	Tassen.
	21						
	∅						
23x: Track 9							
	Satz	Pegel	Testliste 23x: Track 9				
← Mittelung	21		Wolfgang	sieht	vier	kleine	Schuhe.
	22		Ulrich	schenkt	sieben	alte	Messer.
	23		Peter	gewann	elf	schöne	Blumen.
	24		Doris	kauft	drei	grosse	Ringe.
	25		Thomas	nahm	zwölf	nasse	Sessel.
	26		Stefan	gibt	fünf	grüne	Steine.
	27		Britta	hat	acht	weisse	Bilder.
	28		Tanja	malt	achtzehn	schwere	Dosen.
	29		Kerstin	bekommt	zwei	rote	Tassen.
	30		Nina	verleiht	neun	teure	Autos.
31							
	∅						



24		Art der Messung:		R / L	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>10</sub>	R/L	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>50</sub>	Rauschpegel(N):	___ dB (SPL)		
		Satz	Pegel	Testliste 24: Track 10-11								
		1		Stefan	verleiht	fünf		grüne	Sessel.			
		2		Tanja	gibt	drei		rote	Tassen.			
		3		Peter	malt	sieben		kleine	Messer.			
		4		Doris	hat	zwölf		grosse	Blumen.			
		5		Kerstin	nahm	acht		schwere	Steine.			
		6		Ulrich	schenkt	elf		weisse	Dosen.			
		7		Thomas	bekommt	achtzehn		teure	Autos.			
		8		Nina	kauft	zwei		alte	Ring.			
		9		Wolfgang	sieht	vier		nasse	Schuhe.			
		10		Britta	gewann	neun		schöne	Bilder.			
		11		Kerstin	verleiht	neun		schwere	Ring.			
← Mittelung		12		Thomas	gewann	elf		schöne	Dosen.			
		13		Wolfgang	malt	drei		alte	Messer.			
		14		Doris	kauft	vier		rote	Schuhe.			
		15		Tanja	schenkt	acht		kleine	Steine.			
		16		Nina	bekommt	achtzehn		weisse	Blumen.			
		17		Stefan	hat	fünf		grüne	Bilder.			
		18		Britta	nahm	zwölf		nasse	Sessel.			
		19		Peter	gibt	sieben		teure	Autos.			
		20		Ulrich	sieht	zwei		grosse	Tassen.			
		21										
		∅										
		Satz	Pegel	Testliste 24x: Track 12								
← Mittelung		21		Britta	gewann	drei		schwere	Steine.			
		22		Ulrich	gibt	elf		rote	Blumen.			
		23		Thomas	hat	zwölf		grosse	Autos.			
		24		Stefan	sieht	achtzehn		weisse	Bilder.			
		25		Doris	malt	neun		nasse	Sessel.			
		26		Tanja	schenkt	zwei		alte	Tassen.			
		27		Wolfgang	kauft	sieben		schöne	Schuhe.			
		28		Peter	bekommt	vier		grüne	Messer.			
		29		Nina	verleiht	fünf		teure	Ring.			
		30		Kerstin	nahm	acht		kleine	Dosen.			
	31											
		∅										
		Satz	Pegel	Testliste 25: Track 13-14								
← Mittelung		1		Ulrich	gewann	zwölf		rote	Messer.			
		2		Britta	schenkt	fünf		alte	Ring.			
		3		Kerstin	verleiht	elf		grüne	Autos.			
		4		Doris	malt	acht		teure	Dosen.			
		5		Thomas	hat	zwei		grosse	Blumen.			
		6		Nina	bekommt	drei		kleine	Bilder.			
		7		Peter	kauft	achtzehn		nasse	Schuhe.			
		8		Stefan	nahm	sieben		schöne	Tassen.			
		9		Wolfgang	sieht	neun		weisse	Sessel.			
		10		Tanja	gibt	vier		schwere	Steine.			
		11		Thomas	bekommt	fünf		teure	Sessel.			
	12		Ulrich	verleiht	sieben		grosse	Ring.				
	13		Kerstin	schenkt	drei		schwere	Blumen.				
	14		Tanja	malt	acht		weisse	Dosen.				
	15		Stefan	hat	neun		alte	Schuhe.				
	16		Doris	gewann	achtzehn		kleine	Bilder.				
	17		Peter	gibt	zwei		schöne	Messer.				
	18		Wolfgang	kauft	elf		rote	Steine.				
	19		Nina	sieht	vier		grüne	Tassen.				
	20		Britta	nahm	zwölf		nasse	Autos.				
	21											
		∅										
		Satz	Pegel	Testliste 25x: Track 15								
← Mittelung		21		Wolfgang	verleiht	drei		alte	Sessel.			
		22		Stefan	nahm	zwölf		kleine	Ring.			
		23		Nina	malt	acht		grosse	Steine.			
		24		Britta	sieht	zwei		nasse	Dosen.			
		25		Tanja	kauft	fünf		rote	Messer.			
		26		Thomas	schenkt	elf		schöne	Autos.			
		27		Doris	gewann	sieben		teure	Bilder.			
		28		Kerstin	hat	neun		schwere	Blumen.			
		29		Ulrich	bekommt	achtzehn		grüne	Schuhe.			
		30		Peter	gibt	vier		weisse	Tassen.			
	31											
		∅										

26		Art der Messung:		R / L	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>90</sub>	R/L	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>90</sub>	Rauschpegel(N): ____ dB (SPL)		
		<b>Satz</b>	<b>Pegel</b>	<b>Testliste 26: Track 16-17</b>							
		1		Tanja	hat	zwei	alte	Messer.			
		2		Stefan	gewann	zwölf	grüne	Blumen.			
		3		Doris	bekommt	acht	nasse	Steine.			
		4		Peter	verleiht	vier	kleine	Bilder.			
		5		Britta	gibt	sieben	rote	Sessel.			
		6		Ulrich	malt	elf	weisse	Dosen.			
		7		Nina	schenkt	drei	teure	Schuhe.			
		8		Wolfgang	sieht	achtzehn	schöne	Ringe.			
		9		Thomas	kauft	neun	schwere	Tassen.			
		10		Kerstin	nahm	fünf	grosse	Autos.			
		11		Nina	kauft	zwei	alte	Ringe.			
← Mittelung		12		Doris	hat	zwölf	grosse	Blumen.			
		13		Stefan	verleiht	fünf	grüne	Sessel.			
		14		Tanja	gibt	drei	rote	Tassen.			
		15		Ulrich	schenkt	elf	weisse	Dosen.			
		16		Wolfgang	sieht	vier	nasse	Schuhe.			
		17		Thomas	bekommt	achtzehn	teure	Autos.			
		18		Peter	malt	sieben	kleine	Messer.			
		19		Britta	gewann	neun	schöne	Bilder.			
		20		Kerstin	nahm	acht	schwere	Steine.			
		21									
		∅									
		<b>Satz</b>	<b>Pegel</b>	<b>Testliste 26x: Track 18</b>							
← Mittelung		21		Stefan	hat	fünf	grüne	Bilder.			
		22		Wolfgang	malt	drei	alte	Messer.			
		23		Nina	bekommt	achtzehn	weisse	Blumen.			
		24		Ulrich	sieht	zwei	grosse	Tassen.			
		25		Tanja	schenkt	acht	kleine	Steine.			
		26		Kerstin	verleiht	neun	schwere	Ringe.			
		27		Britta	nahm	zwölf	nasse	Sessel.			
		28		Doris	kauft	vier	rote	Schuhe.			
		29		Thomas	gewann	elf	schöne	Dosen.			
		30		Peter	gibt	sieben	teure	Autos.			
		31									
		∅									
		27		Art der Messung:		R / L	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>0</sub>	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>90</sub>	R/L	<input type="checkbox"/> S <sub>0</sub> N <sub>90</sub>	Rauschpegel(N): ____ dB (SPL)
		<b>Satz</b>	<b>Pegel</b>	<b>Testliste 27: Track 19-20</b>							
		1		Stefan	malt	drei	grosse	Ringe.			
		2		Peter	nahm	neun	teure	Steine.			
		3		Tanja	kauft	acht	nasse	Messer.			
		4		Wolfgang	schenkt	zwölf	schwere	Tassen.			
		5		Thomas	bekommt	sieben	rote	Schuhe.			
		6		Ulrich	hat	fünf	kleine	Dosen.			
		7		Nina	gibt	zwei	weisse	Autos.			
		8		Kerstin	sieht	achtzehn	grüne	Sessel.			
		9		Britta	verleiht	elf	alte	Bilder.			
		10		Doris	gewann	vier	schöne	Blumen.			
		11		Stefan	nahm	zwölf	kleine	Ringe.			
← Mittelung		12		Peter	gibt	vier	weisse	Tassen.			
		13		Thomas	schenkt	elf	schöne	Autos.			
		14		Britta	sieht	zwei	nasse	Dosen.			
		15		Doris	gewann	sieben	teure	Bilder.			
		16		Nina	malt	acht	grosse	Steine.			
		17		Wolfgang	verleiht	drei	alte	Sessel.			
		18		Tanja	kauft	fünf	rote	Messer.			
		19		Kerstin	hat	neun	schwere	Blumen.			
		20		Ulrich	bekommt	achtzehn	grüne	Schuhe.			
		21									
		∅									
		<b>Satz</b>	<b>Pegel</b>	<b>Testliste 27x: Track 21</b>							
← Mittelung		21		Thomas	nahm	zwölf	nasse	Sessel.			
		22		Stefan	gibt	fünf	grüne	Steine.			
		23		Wolfgang	sieht	vier	kleine	Schuhe.			
		24		Ulrich	schenkt	sieben	alte	Messer.			
		25		Kerstin	bekommt	zwei	rote	Tassen.			
		26		Tanja	malt	achtzehn	schwere	Dosen.			
		27		Britta	hat	acht	weisse	Bilder.			
		28		Doris	kauft	drei	grosse	Ringe.			
		29		Nina	verleiht	neun	teure	Autos.			
		30		Peter	gewann	elf	schöne	Blumen.			
		31									
		∅									



Abbildung 9.1: Empfängergerät Phonak EduLink [aus: [http://www.phonak.de/ccde/professional/productsp/fm/receivers\\_new/edulink-1.htm](http://www.phonak.de/ccde/professional/productsp/fm/receivers_new/edulink-1.htm)]



Abbildung 9.2: EduLink im rechten Ohr eines Probanden



Abbildung 9.3: Sendergerät Phonak Campus SX [aus: [http://www.phonak.de/ccde/professional/products/fm/transmitters\\_new/com\\_campus-sx.htm](http://www.phonak.de/ccde/professional/products/fm/transmitters_new/com_campus-sx.htm)]

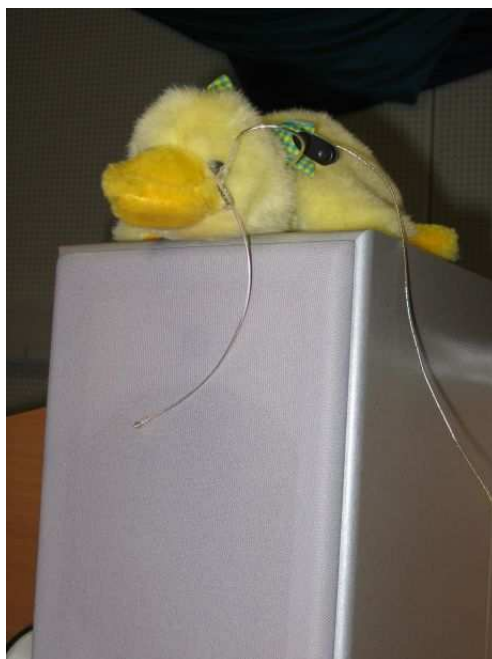


Abbildung 9.4: Befestigung des Headmikrophons MicroBoom vor dem Frontlautsprecher



Abbildung 9.5: Der Versuchsaufbau - Hörkabine und Maico-Kindertisch