

Aus der  
Medizinischen Psychologie  
der Medizinischen Hochschule Hannover

**Veränderungen der Low-Level-Funktionen im Erwachsenenalter und  
deren Zusammenhänge mit der peripheren auditiven Wahrnehmung und  
verschiedenen kognitiven Funktionen**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
in der Medizinischen Hochschule Hannover

vorgelegt von Djaudet Katerji

aus Aleppo/Syrien

Hannover 2005

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2. Theoretische Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1. Neurophysiologische und neuroanatomische Grundlagen	6
2.2. Die basalen Funktionen des Gehirns	9
2.3. Zentrale auditive Verarbeitungsstörung	15
<b>3. Material und Methodik</b>	<b>20</b>
3.1. Datenerhebung	20
3.2. Durchführung und Aufgaben	22
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>28</b>
4.1 Deskriptive Statistiken	28
4.2 Der Einfluss soziodemographischer Merkmale auf die Ergebnisse	35
4.3 Zusammenhänge mit anderen kognitiven und auditiven Merkmalen	42
<b>5. Diskussion</b>	<b>48</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>54</b>
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	<b>56</b>
<b>8. Danksagung</b>	<b>66</b>
<b>9. Lebenslauf</b>	<b>67</b>
<b>10. Erklärung nach § 2 Abs. 2 Nrn. 5 und 6</b>	<b>69</b>

## 1. Einleitung

In der vorliegenden Arbeit werden Veränderungen von peripheren und oder zentralen auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen im höheren Lebensalter sowie ihre Zusammenhänge miteinander und ihre Beziehungen zu höheren kognitiven Fähigkeiten, welche im Zusammenhang mit der Sprachverarbeitung stehen, untersucht.

Die hier vorgestellte Untersuchung bezieht sich auf eine in der Literatur häufig diskutierte Annahme, wonach die auditive Verarbeitung und Wahrnehmung hierarchisch gegliedert ist (s. hierzu u.a. Fujisaki und Kawashima, 1970; Sawusch, 1977; Sussman, 1993; Sawusch und Gagnon, 1995).

In Anlehnung an ein Konzept von Ptok (2000) entwickeln sich demnach alle sensorischen Funktionen und Fertigkeiten in einem hierarchischen Stufenmodell von unten nach oben. Ein Defizit auf der untersten Ebene, somit eine Low-Level-Funktionsstörung, führt zu einer Beeinträchtigung der darüber angesiedelten Funktion (Buller und Ptok, 2001).

In der vorliegenden Arbeit werden die Wechselwirkungen zwischen Low-Level-Defiziten, peripherem Hörschaden und kognitiven Fähigkeiten untersucht.

Gleichzeitig sollen die systematischen Veränderungen der 7 getesteten Low-Level-Funktionen in Abhängigkeit vom Geschlecht und Alter untersucht werden.

Durch zusätzliche Erfassung weiterer anamnestischer Daten sollten mögliche weitere Einflussmöglichkeiten auf die Low-Level-Funktionen geprüft werden.

In der Literatur finden sich bereits Untersuchungen zu den Auswirkungen von Defiziten in der Verarbeitung akustischer Signale auf die Sprachentwicklung und andere kognitive Merkmale.

Sie sind in Tabelle 1 (nach Jerger und Musiek, 2000 bzw. Bamiou et al., 2001) aufgelistet.

Tabelle 1: Auditorische Defizite und resultierende Symptome und Verhaltensweisen

Auditorische Defizite	Resultierende Symptome und Verhaltensweisen
Geräuschlokalisierung auditorische Mustererkennung auditorische Diskrimination temporale Verarbeitung Verarbeitung degradierter auditorischer Signale Verarbeitung von auditorischen Signalen, die im Störgeräusch eingebettet sind	Schlechte Leistungen in Umgebungen mit Störsignalen Schwierigkeiten, sämtlichen Anweisungen zu folgen Sprachentwicklungsstörungen, Leseschwierigkeiten, Schreibschwierigkeiten Schwierigkeiten mit schnellen oder degradierten Sprachsignalen und mit dem auditorischen Gestaltschluss Schwierigkeiten bei Hintergrundgeräuschen Unaufmerksamkeit Ablenkbarkeit Schulschwierigkeiten

Weiterhin zeigen andere Untersuchungen, dass ein frühkindlicher Schaden des Gehörs, wie er z.B. durch wiederkehrende Entzündungen des Mittelohres verursacht werden kann, eine Störung der auditiven Kompetenz hervorrufen kann (Gravel, Wallace und Ruben, 1996; Campbell, Hugo, Uys, Hanekom und Millard, 1995).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine Untersuchung von Mülle (2003) an 382 normalhörenden Kindern im Vor- und Grundschulalter, in der ein Zusammenhang zwischen dem Geburtsgewicht, der Geburtsgröße und dem Spielen eines Musikinstrumentes auf die sieben basale Fähigkeiten der zentralen Seh- und Hörverarbeitung nachgewiesen werden konnte.

Einen Schritt weiter gehen die Untersuchungen von Michalski und Tewes (2001) sowie Tewes et al. (2003) in der nicht nur Einflussfaktoren auf die Low-Level-Funktionen gefunden wurden, sondern aufgezeigt werden konnte, dass durch ein Training von Low-Level-Defiziten eine Verbesserung der sprachlichen Kompetenz erreicht werden konnte.

Zu demselben Ergebnis kommt eine Untersuchung von Kujala et al. (2001), in der ebenfalls eine Verbesserung der sprachlichen Kompetenz durch audiovisuelles Training nachgewiesen werden konnte. Darüber hinaus fand man zusätzlich durch elektrophysiologische Messungen eine Veränderung der Hirnaktivität.

---

Solcherlei Veränderungen der Hirnaktivität nach audiovisuellem Training konnten durch eine Untersuchung von Jäncke et al. (2001) mittels eines bildgebenden Verfahrens (fMRI) sichtbar nachgewiesen werden.

Offensichtlich scheint es demnach verschiedenste Einflussmöglichkeiten und Wechselwirkungen zwischen der Verarbeitung akustischer Signale und der sprachlichen Kompetenz zu geben.

Vor diesem Hintergrund wurde die Zielsetzung dieser Untersuchung dahingehend formuliert, durch standardisierte Messungen eine Reihe von Daten zu erheben, um durch statistische Verfahren nach Einflussmöglichkeiten und Wechselwirkungen zwischen Low-Level-Defiziten, der zentralen Hörverarbeitung, peripherem Hörschaden und kognitiven Fähigkeiten zu suchen.

## 2. Theoretische Grundlagen

Die durch den Schall vermittelte Sprache ist das wichtigste Kommunikationsmittel des Menschen. Sprache wiederum ist eine Variation dynamischer Veränderungen des Schalls in Amplitude, Frequenz und Zeit.

Die Hauptaufgabe unseres Hörsystems besteht laut Uttenweiler (1996) darin, bei mittleren Lautstärken dynamische Veränderungen in Amplitude, Frequenz und Zeit zu verarbeiten und als Sprache zu erkennen.

Voraussetzung für das Erkennen des Schalls als Sprache ist eine intakte Hörwahrnehmung und Hörverarbeitung.

Die Hörwahrnehmung erfolgt im peripheren und zentralen Anteil der Hörbahn. Die Hörverarbeitung erfolgt im Gehirn selbst.

Hierbei muss, wie bei allen neurophysiologischen Prozessen, eine Umwandlung des peripheren Reizes, hier der Schall, in ein für das Gehirn zu verarbeitenden Reiz, also biochemische Prozesse mittels spezifischer Transmitter und sich verändernder Membranpotentiale mit folgenden elektrischen Impulsen, erfolgen. Diese Umwandlung eines mechanischen Signals in ein elektrisches Signal wird als Transduktion bezeichnet. Die Nomenklatur folgt diesem Vorgang und bezeichnet alle physikalischen Beschreibungen des Schalls als Akustik und alle anatomischen, biochemischen und physiologischen Vorgänge beim Hören als auditorisch oder auditiv.

Voraussetzung für das Verständnis der Hörwahrnehmung ist eine Kenntnis der neurophysiologischen und neuroanatomischen Prozesse.

Voraussetzung für das Verständnis der dann folgenden Hörverarbeitung ist eine Kenntnis der basalen Funktionen des Gehirns.

Die Hörwahrnehmung erfolgt in einem peripheren und zentralen Anteil des auditorischen Systems, welcher in der Folge beschrieben wird.

## **2.1. Neurophysiologische und neuroanatomische Grundlagen der peripheren und zentralen Hörbahn, welche für die Hörwahrnehmung von Bedeutung sind.**

Die periphere Hörbahn setzt sich aus dem Gehörgang, dem Mittelohr und dem Innenohr mitsamt der Cochlea zusammen.

Die zentrale Hörbahn erstreckt sich von der Pars cochlearis des Nervus vestibulocochlearis bis zum Cortex.

Schallwellen sind winzige Druckschwankungen der Luft, die vom Ohr wahrgenommen werden können und durch den äußeren Gehörgang zum Trommelfell gelangen. Zusammen mit den drei Gehörknöchelchen führt das Trommelfell eine Impedanzanpassung zwischen Luft und Flüssigkeit durch, wodurch das Schallsignal in das flüssigkeitsgefüllte Innenohr eintritt.

Diese Impedanzanpassung erfolgt, indem die Dichteschwankungen der Luft das Trommelfell in Schwingung versetzt, wodurch wiederum die Gehörknöchelchen in Schwingung geraten und die Fläche der Steigbügelfußplatte am ovalen Fenster eine Welle in der Flüssigkeit der Cochlea erzeugt.

Im Innenohr erzeugt die Welle Schwingungen an der cochlearen Trennwand, in der sich die Haarsinneszellen des Ohres befinden.

Diese werden durch die Verschiebewebewegungen der cochlearen Trennwand ausgelenkt.

Über spezifische Kalium - Ionen Kanäle führt die Auslenkung der Sinneshärchen zum Auslösen eines Sensorpotentials, welcher den Transduktionsprozeß einleitet (Kelly, 1991).

Interessanterweise werden frequenz - und somit wellenspezifisch nur bestimmte Haarsinneszellen entlang der cochlearen Trennwand aktiviert, sodass hier bereits entlang der Trennwand ein Schallereignis aufgespreizt wird (Frequenzdispersion) (Bekessy und Lempert, 1959).

Die Folge ist, dass eine einzelne Frequenz nur an einem bestimmten Ort einige wenige Haarsinneszellen reizt. Man spricht vom Ortsprinzip (Tonotopie) (Culler et al., 1943). Dabei gilt: Je höher der Ton, desto näher am Steigbügel befindet sich der Ort der Maximalerregung (Kelly, 1991).

Die Transmitterfreisetzung von Haarsinneszellen führt zu einer Kette neuronaler Erregungen über den Hörnerven, den Hirnstamm und die Hörbahn bis zum auditorischen Cortex im Temporallappen.

Die transduzierten Informationen des Schallsignals werden dadurch über mindestens 5 bis 6 hintereinander geschaltete Neuronen zum auditorischen Cortex weitergeleitet. Die Assoziationsgebiete der beiden Hemisphären sind über das Corpus callosum miteinander verbunden (Uttenweiler, 1995).

Die Nervenfasern des N. cochlearis sind die ersten Neuronen. In ihnen wird der Schallreiz durch die Entladungsrate, die Zeitdauer der Aktivierung sowie durch ihren Anschluss an frequenzspezifische Haarsinneszellen kodiert (Rose et al., 1967; Abeles und Goldstein, 1970).

90 % der afferenten Nervenfasern haben eine Synapse mit nur einer einzigen Haarsinneszelle. Da jede Haarsinneszelle nach dem Ortsprinzip für eine bestimmte Tonhöhe zuständig ist, wird diese Nervenfasern bevorzugt. Auf diese Weise werden die Informationen der Tonhöhe kodiert.

Die Länge des Schallreizes wird durch die Dauer der Aktivierung der Nervenfasern verschlüsselt.

Der Schalldruckpegel, also die Lautstärke, wird durch die Entladungsrate der erregten Neuronen verschlüsselt (Rose et al., 1967; Palmer und Evans, 1979; Liebermann, 1978).

Für das räumliche Hören besitzt das Gehirn hochspezialisierte Neurone, die auf Laufzeitunterscheide und Intensitätsunterschiede zwischen der Reizung des rechten und des linken Ohres reagieren und somit für das Richtungshören wichtig sind (Brugge und Merzenich, 1973; Hall, 1965).

Die afferenten Fasern des N. cochlearis teilen sich im Hirnstamm und ziehen zum Nucleus cochlearis ventralis und zum Nucleus cochlearis dorsalis. Dort erfolgt eine Umschaltung auf das 2. Neuron. Hier erfolgt eine Kreuzung zu Gegenseite und die Fasern steigen im Lemniscus lateralis zum unteren Zweihügel (Colliculus inferior) empor.

Eine beträchtliche Anzahl von Fasern läuft jedoch nicht direkt zum Zweihügel sondern wird auf tertiäre Fasern umgeschaltet, welche zu den Olivenkernen laufen.



Sowohl in Höhe der Olivenkerne als auch in Höhe der unteren Zueihügel sind für die Hörbahn verschiedene Kommissurensysteme, die einen Faserwechsel ermöglichen, nachgewiesen. Sie lassen somit beiden Hörarealen der linken und rechten Hirnhälfte Informationen zukommen, was ebenfalls für das Richtungshören von Bedeutung ist.

Ein intaktes Gehör vorausgesetzt (binaurales Hören) ist somit bereits ab dem 2. Neuron ein Vergleich der auf beiden Ohren eintreffenden Schallsignale möglich.

Sowohl für die Olivenkerne als auch für die Zueihügel ist ebenso eine tonotopische Gliederung nachgewiesen (Culler et al., 1943; Jacobson, 1994).

Vom unteren Zueihügel aus zieht die Hörbahn zum Corpus geniculatum mediale und von hier aus zur Hörrinde.

Elektrische Ableitungen vom Cortex verschiedener Versuchstiere zeigen auch hier eine tonotopische Gliederung der Hörrinde (Abeles und Goldstein, 1970).

Während demnach im 1. und im 2. Neuron überwiegend eine Kodierung der Schallinformationen erfolgte, sind die höher gelegenen Neuronen zunehmend auf komplexe Schallmuster (Phoneme der Sprache) spezialisiert (Whitfield und Evans, 1965).

Anders ausgedrückt: Während zunächst Unterschiede identifiziert werden müssen, werden nun zunehmend Zusammenhänge identifiziert.

Es wird die dem Schall innewohnende Information verarbeitet und für die Auswertung in der Hörrinde vorbereitet. Im Ergebnis wird nur ein kleiner Teil der Informationen bis zur Hörrinde transferiert und somit eine Trennung in Nutzschaall (Sprache, Musik) und Störschaall erzeugt.

Dabei spielen Lernprozesse (Sprache muss zuvor als Nutzschaall erlernt werden) als auch der Wille des Hörenden (im Sinne einer selektiven Aufmerksamkeit) eine entscheidende Rolle.

## **2.2. Die basalen Funktionen des Gehirns, welche für die Hörverarbeitung von Bedeutung sind.**

Man kann somit davon ausgehen, dass für die Umwandlung von Schall in Nutzschaall und Störschaall zunächst in einem ersten Schritt eine intakte Aufspreizung des Schalls in verschiedene Modalitäten wie Tonhöhen (Frequenzen), Tonlängen, Laufzeitunterschiede, Lautstärkenunterschiede etc. erfolgt und in einem nächsten Schritt diese quasi ungeordneten Informationen in eine für das Gehirn zu verarbeitende Information geordnet werden.

Die entscheidende Voraussetzung zur Trennung von Wesentlichem und Unwesentlichem ist somit zunächst die Identifikation von Unterschieden.

Diese wird als Diskriminationsvermögen bezeichnet, und jedes Sinnesorgan kann dies auf unterschiedliche Art und Weise.

Anders ausgedrückt, erlaubt das Diskriminationsvermögen eine Aussage darüber zu treffen, ob ein oder zwei Reize wahrgenommen werden.

Will man nun aber eine Aussage darüber treffen, welcher Reiz der erste und welcher Reiz der zweite gewesen ist, so muss in einem nächsten Schritt eine (zeitliche) Ordnung der Sinnesreize erfolgen.

Diese Fähigkeit, zwei identifizierte (oder auch diskriminierte) Sinnesreize in eine Ordnung zu bringen, wird durch den Begriff der Ordnungsschwelle am besten beschrieben.

Gemäß Warnke (1999) bezeichnet die Ordnungsschwelle „diejenige Zeitspanne, die zwischen zwei Sinnesreizen mindestens verstreichen muss, damit diese von einem Menschen getrennt wahrgenommen **und** in eine zeitliche Reihenfolge, also in eine Ordnung gebracht werden kann“ (S.21).

Pöppel (1985) definierte die Ordnungsschwelle als das Interstimulusintervall, bei dem die zwei Reize zu 80% in die korrekte Ordnung gebracht werden konnten. In seinen Untersuchungen stellte er bei Gesunden eine typische visuelle Ordnungsschwelle von 30-40 Millisekunden (ms) fest.

Das Verständnis der Ordnungsschwelle basiert auf der Hypothese, dass Wahrnehmungsreize vom Gehirn nicht kontinuierlich verarbeitet werden (Nickisch, 1999; Pöppel, 1985; Pöppel et al. 1990; Ilmberger, 1986). Demnach werden

Umwelteintrucke vom menschlichen Nervensystem in diskontinuierlichen Zeitfenstern, die in einem Rhythmus von 30-40 ms ablaufen, aufgenommen und verarbeitet (Nickisch, 1999).

In seinen Untersuchungen fand Pöppel (1985) bei Gesunden, entsprechend dem Wert der visuellen Ordnungsschwelle, eine typische laterale auditive Ordnungsschwelle von 30-40 ms. Aphasiker erzielten schlechtere Werte.

Die Ordnungsschwelle ist somit von Bedeutung für die zentral-auditive Verarbeitung bei sprachgestorten Patienten.

Eine Messung der visuellen und auditiven Ordnungsschwelle erlaubt daher eine Aussage über die basale Funktionsfähigkeit (Low-Level-Funktion) des auditiven Systems.

Da der Schall, wie bereits erwähnt, in verschiedenen Modalitäten auftreten kann gehört zu den weiteren Low-Level-Funktionen nicht nur die exakte Identifikation und Einordnung eines Tones (vielmehr eines Klickgerausches) sondern auch die Identifikation und Einordnung verschiedener Tonhöhen, verschiedener Tonlangen, verschiedener Tonabfolgen und des Richtungshörens.

Diese Funktionen werden in der vorliegenden Arbeit mithilfe eines hierfür entwickelten Testgerates überprüft und im Folgenden detailliert dargestellt.

Zusätzlich erfolgte die Messung der Reaktionszeit (Choice-Reaction-Time) auf einen unterschiedlich lokalisierten Ton, da Untersuchungen von Ilmberger (1986) signifikante Korrelation der gefundenen Werte mit den individuellen Ordnungsschwellen ergaben.

### **Die visuelle Ordnungsschwelle**

Das visuelle Kurzzeitgedächtnis, die Geschwindigkeit der visuellen Wahrnehmung und die visuelle Diskrimination zählen nach Busch und Waugh (1971) zu den identifizierten Teilleistungsschwächen.

Wahrnehmungsstörungen wie die auditive Verarbeitungsstörung werden häufig als Teilleistungsschwächen verstanden. Daher ermöglicht die Messung der visuellen Ordnungsschwelle die Überprüfung der Fertigkeiten eines Probanden in Teilleistungsbereichen (Baldauf und Göpfert, 1998).

Praktisch erfolgt die Messung der visuellen Ordnungsschwelle, indem der Proband auf zwei Leuchtdioden schaut, die kurz nacheinander aufblitzen. Die Aufgabe besteht darin, zu erkennen, auf welcher Seite die Diode zuerst aufleuchtete.

### **Die auditive Ordnungsschwelle**

Ebenso ist die auditive Ordnungsschwelle ein Maß für die Fertigkeiten in einem Teilleistungsbereich (Baldauf und Göpfert, 1998), denn eine Störung der auditiven Diskrimination, des auditiven Kurzzeitgedächtnisses und der Geschwindigkeit bei auditiver Wahrnehmung wird als Teilleistungsschwäche verstanden (Busch und Waugh, 1971).

Es besteht die Möglichkeit, die auditive Ordnungsschwelle sowohl lateral als auch seriell zu bestimmen.

Die in dieser Arbeit geprüfte laterale Ordnungsschwelle wird bestimmt, indem die Probanden Reize von rechts und links unterscheiden und ordnen.

Bei der Prüfung der seriellen Ordnungsschwelle dagegen hören die Probanden einseitig zwei Reize unterschiedlicher Qualität.

### **Richtungshören**

Außer der Lokalisation einer Schallquelle ermöglicht das Richtungshören ebenso die Separation von Nutz- und Störschall (Uttenweiler, 1996).

Ein intaktes Richtungsgehör ermöglicht in einer Situation mit mehreren Schallquellen, sich auf z.B. einen Sprecher zu konzentrieren und ihn zu verstehen (Schönweiler und Ptok, 2000). Dieses Phänomen wird als Party-Effekt bezeichnet.

Auch das Richtungshören kann man auf verschiedene Weise bestimmen. So ist sowohl eine vertikale als auch eine horizontale Lokalisation auditiver Reize möglich.

Fritze et al. (1973) belegen anhand verschiedener Quellen, dass dem Richtungshören in der Horizontal- und Vertikalebene unterschiedliche physiologische Mechanismen zu Grunde liegen. Für das Richtungshören in der Horizontalebene gelten demnach vor allem die Faktorengruppe Laufzeitdifferenz, Phasen- und Intensitätsunterschied, während für die Vertikalebene vor allem die von der Ohrmuschel bewirkte Klangfarbenänderung zusammen mit einem Gedächtnisfaktor maßgebend ist (Fritze et al. 1973; Gardner und Gardner, 1973).

Ermöglicht wird die Schalllokalisation durch geringfügige Zeitdifferenzen, mit denen ein Reiz die beiden Ohren erreicht (Matzker und Welker, 1959). Unter Verwendung einer elektrischen Verzögerung ist es möglich das Richtungshören zu testen.

In einer Methode nach Matzker und Welker werden den beiden Ohren zwei gleich hohe, kurze Töne kurz hintereinander dargeboten.

Die Schalllokalisation wird vorwiegend durch die geringen Zeitdifferenzen ermöglicht (interaurale Zeitdifferenz), mit denen ein Reiz die beiden Ohren erreicht, sofern er nicht genau aus der Richtung der Medianebene auftrifft (Matzker und Welker, 1959). Hierbei sind Unterschiede bei der Ankunftszeit von 10 mys erkennbar (Durlach und Colburn, 1978). Daher ist es möglich, durch „Verwendung einer elektrischen Verzögerungskette“, das Richtungshören in der Unterscheidung zwischen rechts und links zu testen. (Matzker und Springborn, 1958).

Die Zeitdifferenzen sind dabei so kurz gewählt, dass sie unterhalb der Fusionsschwelle liegen und das menschliche Ohr beide Töne nicht getrennt voneinander wahrnehmen kann.

Es wird nur ein Ton gehört, und zwar aus der Richtung, aus der der erste Ton angeboten wurde. Je kleiner dabei das Interstimulusintervall gewählt wird, umso mehr entsteht beim Normalhörigen der Eindruck, die Schallquelle sei von der Seite zur Medianebene verschoben (Leicher, 1982).

Bei größeren Interstimulusintervallen kann also eine Richtung angegeben werden, aus der der Schallreiz wahrgenommen wird, bei kleineren Interstimulusintervallen entsteht der Eindruck, der Reiz käme aus der Medianebene.

### **Tonhöhendiskrimination**

Für die Sprachwahrnehmung ist die Fähigkeit der korrekten Tonhöhenunterscheidung eine wesentliche Voraussetzung, da sie grammatikalische Zusammenhänge und emotionale Inhalte sowie die Diskrimination ähnlicher Vokale und Konsonanten ermöglicht (Thompson et al., 1999).

Ein Beispiel hierfür ist die Beherrschung der Prosodie. Darunter versteht man neben der Sprechlautstärke, dem Sprechrhythmus und der Sprechgeschwindigkeit vor allem die Sprechmelodie mit ihrer Wirkung auf die Satz - und Wortbetonung der

Sprache eines Menschen. Wichtigste Voraussetzung für eine funktionierende Prosodie ist die Fähigkeit, kleine Tonhöhen zu unterscheiden und wahrzunehmen, da diese einen wesentlichen Einfluss auf das „Gemeinte“ des Gesagten haben.

Eine gestörte Tonhöhendiskrimination wird von Warnke (1995) als mögliches Frühwarnsystem einer zentralen Fehlhörigkeit genannt. Guthörende Menschen können Tonhöhenunterschiede von 1% wahrnehmen. In einer Studie von Meyer (1979) von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt Braunschweig weist sogar eine Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit von 0,4% bei 67% der getesteten Musiker eines Streichinstrumentes nach.

Die Prüfung erfolgt durch Darbietung von zwei aufeinander folgenden, verschieden hohen Tönen wobei bestimmt werden soll ob der erste Ton der höhere oder der tiefere war.

### **Duration-Pattern-Test (Tonlängenunterscheidung)**

Bei der Untersuchung der Sprachwahrnehmung ist es zweckmäßig, sprachliche Laute in Einheiten zu zerlegen, die für Analysezwecke klein genug sind. Hierbei bezieht sich ein Großteil der Forschung auf die Phoneme. Diese sind die kürzeste lautliche Einheit, die die Bedeutung eines Wortes verändert (z.B. „Fall“ und „Ball“).

Im Deutschen sind 17 - 19 Phoneme als Vokale und 21 Phoneme als Konsonanten bekannt. Die Tatsache, dass es mehr als 5 (a, e, i, o, u) vokalische Phoneme gibt, ergibt sich hieraus, dass die Vokale in verschiedenen Wörtern unterschiedlich ausgesprochen werden. Ein Beispiel hierfür ist das i in „Schiff“ oder „schiefe“.

Entscheidend ist hierbei offensichtlich die Länge der Aussprache des Vokales. Eine exakte Wahrnehmung ist demnach bedeutsam für die Sprachwahrnehmung.

In der Sprachwissenschaft wird das Sprachverständnis durch Darbietung von gleitenden Übergängen zwischen zwei Konsonanten, die von einem Vokal gefolgt werden und sich nur durch ihre Dauer voneinander unterscheiden, geprüft. Ein Beispiel hierfür ist der Übergang der Silbe „ta“ zu „da“, dessen Unterscheidung nur durch eine exakte Tonlängenunterscheidung möglich ist.

Von Musiek (1994) stammt der Duration-Pattern-Test, in dem ein Proband in einer Folge von drei Tönen identischer Frequenz denjenigen abweichenden Ton bestimmen und in der Reihenfolge einordnen soll, welcher länger ist als die anderen

beiden. Musiek fand heraus, dass die Ergebnisse dieses Tests im engen Zusammenhang mit der sprachlichen Kompetenz stehen.

### **Choice-Reaction-Time**

Dieser Versuchsteil basiert auf umfänglichen Untersuchungen von Nicolson und Fawcett (1993), welche in Versuchsreihen nachgewiesen haben, dass die sprachliche Kompetenz eng mit der Fähigkeit verknüpft ist, sich zwischen zwei oder mehr Wahlmöglichkeiten rasch zu entscheiden.

Sie beschrieben eine Untersuchung an unauffälligen und an legasthenen Kindern, deren einfache Reaktionszeit, die Choice-Reaction-Time und die Reaktionszeit, bei Wortunterscheidung getestet wurden. Die Leistungen der legasthenen Kinder wurden dabei zum einen mit einer parallelisierten Kontrollgruppe Gleichaltriger, zum anderen mit einer Kontrollgruppe von jüngeren Kindern mit entsprechender Lesefähigkeit verglichen. Es zeigte sich, dass die einfache Reaktionszeit der legasthenen Kinder auf reine Töne mit der der Gleichaltrigen vergleichbar und signifikant schneller als die der Jüngeren war.

Betrachtet man aber die Leistungen der Legastheniker in dem Choice-Reaction-Time - Versuch, welcher eine komplexere Wahlmöglichkeitenentscheidung beinhaltet als die „normale“ Reaktionszeit, so erreichten sie lediglich das Niveau der jüngeren Kontrollgruppe. Die gleichaltrigen Nicht - Legastheniker erreichten signifikant bessere Ergebnisse. Im Wortunterscheidungstest schließlich zeigten sich bei den Legasthenikern selbst im Vergleich mit den Jüngeren signifikante Schwächen.

Die Prüfung der Choice-Reaction-Time erfolgte, indem der Proband dicht nacheinander auf dem rechten und linken Ohr zwei verschieden hohe Töne hörte und sich so schnell wie möglich entscheiden musste auf welcher Seite er den tiefen Ton gehört hat.

### **Frequency-Pattern-Test (Tonfolge)**

Beim Frequency-Pattern-Test hört der Proband eine Folge von drei Tönen, wobei zwei identisch sind und einer von der Tonhöhe abweicht. Der Proband soll nun bestimmen, an welcher Stelle (vorn, mittig, hinten) er den abweichenden Ton gehört hat. Sechs verschiedene Muster sind also möglich: hoch-hoch-tief, tief-tief-hoch, hoch-tief-hoch, tief-hoch-tief, tief-hoch-hoch und hoch-tief-tief.

Dieser Versuch basiert auf ein Verfahren nach Musiek und Pinheiro (1987), mit dem sich Reihung, Tonhöhendiskrimination und zeitliches Auflösungsvermögen zugleich überprüfen lassen.

Der Frequency-Pattern-Test ist ein diagnostisches Verfahren, mit dem der Teil der zentralen Hörbahn überprüft werden kann, der die höchste Wahrnehmungsleistung, nämlich das Erfassen des Sinnes einer Botschaft, ermöglicht (Uttenweiler, 1996).

Nach Simkens und van Velzen (1994) wird dabei die gesamte Funktion des auditiven Systems in Anspruch genommen, besonders aber das Kodierungs-/Dekodierungssystem, das auditiv sequentielle Gedächtnis und die links/rechts-Interaktion der Hemisphären (u.a. die Gestalt-Wahrnehmung).

## **2.3. Zentrale auditive Verarbeitungsstörung**

Während die Diagnose einer peripheren auditiven Störung anhand von Grenzwerten recht einheitlich ist (z.B. die später verwendete Einteilung nach der American Speech-Language-Hearing Association) und mit einem Audiometer einheitlich gemessen werden kann, ist die Diagnose einer zentralen auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS) uneinheitlich.

In der Literatur findet man dann auch eine Reihe von Testmethoden, welche vorgeschlagen werden und in der folgenden Tabelle 2 dargestellt sind. (s. hierzu u.a. Arnold, 1951; Greiner und Conreaux, 1977; Katz et al., 1992; Schorn und Stecker, 1994; Bess und Humes, 1995; Bellis, 1996; Chermak und Musiek, 1997; Lauer, 1999).



Diese Testverfahren umfassen insbesondere so genannte basisaudiometrische Untersuchungen, verhaltensaudiometrische Untersuchungen und elektrophysiologische Untersuchungen.

Tabelle 2: Testbatterie für AVWS

Audiometrische Basisuntersuchungen	Reintonaudiogramm, Tympanogramm, otoakustische Emissionen
Verhaltensaudiometrische Tests:	Monaurale Tests mit geringer Redundanz, z.B. Tests mit gefilterten Worten, Figurhintergrundtests Dichotische Tests bzw. binaurale Interaktionstests (z.B. der dichotischen Darbietung von Zahlen oder verschiedenen Sätzen) Temporale Tests (z.B. Frequenzmustertests, zeitliche Lückenerkennung)
Elektrophysiologische Tests:	Hirnstammaudiometrie, Bestimmung der mittellatenten Potentiale, P 300, Mismatchnegativität

Ausgehend vom o.g. Modell von Ptok (2000) erfolgte in der vorliegenden Arbeit die Diagnose einer zentralen auditiven Störung durch Testung der basalen Funktionen des zentralen Hörens, zu denen die Geräuschlokalisierung und -lateralisation, die auditorische Diskrimination, die auditorische Mustererkennung, zeitliche Aspekte des Hörens und schließlich die zeitliche Auflösung und die zeitliche Abfolgeerkennung gehören (Chermak et al., 1997).

Dies erfolgte mit einem von der Firma Meditech entwickelten Testgeräts, dem Brain - Boy - Universal.

Die Diagnose einer peripheren auditiven Störung erfolgte mithilfe einer Hörschwellenaudiometrie, die Testung höherer kognitiver Fähigkeiten, welche mit der Sprachverarbeitung im Zusammenhang stehen, mittels psychologischer Testverfahren.

Basierend auf dem bereits erwähnten Stufenmodell in Anlehnung an Ptok lassen sich Defizite der Informationsverarbeitung in Bezug auf die Sprachverarbeitung wie folgt definieren:

Low-Level-Defizite (Extraktion akustischer Merkmale wie der Zeit und Frequenzauflösung)

phonetische Defizite (Extraktion phonetischer Merkmale)

phonologische Defizite (Phonemidentifikation, -diskrimination)

lexikalisch - semantische Defizite (Wort- und Bedeutungserkennung)

morphologisch - syntaktische Defizite

Defizite der verschiedenen metalinguistischen Bewusstheiten

Produktionsdefizite (ggf. einschließlich artikulomotorischer und graphomotorischer Defizite).

Dieses Modell postuliert eine vorbewusste, gleichwertige Verarbeitung sprachlicher und nicht-sprachlicher Signale (ohrspezifisch und binaural), bei der Frequenz, Zeit, Intensität und Phase des akustischen Signals als Erstes erkannt werden.

Dies geschieht im Bereich der Cochlea und den zentralen Bahnen im Hirnstamm bis zum Corpus geniculatum.

Im Anschluss erfolgt eine Analyse durch höhere (kognitive) Funktionen (Wahrnehmung), welche durch Aufmerksamkeit und Gedächtnis einen deutlichen Einfluss erfahren, im Gegensatz zu den vorbewusstlichen Verarbeitungsschritten. Schließlich findet eine Analyse phonetischer oder nicht-sprachlicher Signale statt.

Vereinfacht ausgedrückt kann man die auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsprozesse in drei Stufen aufteilen:

Antworten auf Stimuli, mögliches Testverfahren stellt die Audiometrie dar

Organisation der Stimuli, mögliches Testverfahren stellt die Messung der Low-Level-Funktionen mit dem Brain - Boy dar

Erfassen des Sinnes einer Botschaft, mögliches Testverfahren stellt die Messung der Low-Level-Funktionen mit dem Brain - Boy und kognitive Tests dar.

Die geschätzte Prävalenz solchermaßen diagnostizierter auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen beträgt 2 - 3 % aller Kinder und bis zu 20 % aller älteren Erwachsenen (Chermak et al., 1997). Sicher ist, dass AVWS isoliert oder in

Kombination mit anderen Störungen auftreten können (siehe DAMP - Symptomkomplex nach Hellgren et al., 1994).

Hierbei wird mit dem Begriff der Wahrnehmungsstörung keine Krankheit, sondern ein Symptom gestörter neurologischer oder psychischer Funktionen gekennzeichnet. Wahrnehmungsstörungen werden häufig als Teilleistungsschwächen verstanden. Sie können aber auch Begleitsymptome schwerwiegender psychoorganischer Erkrankungen und tiefgreifender Entwicklungsstörungen sein (vgl. Deutsche Gesellschaft für Kinder und Jugendmedizin, 2001).

Eine Einteilung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmungsstörungen kann auch anatomisch nach Lenhardt (Lenhardt und Laszig, 2000) erfolgen, und zwar in Störungen, die vom Ganglion cochleare bis zum unteren Vierhügel lokalisiert sind, und solche, die rindennahe Abschnitte betreffen.

Bei regelgerechter Umwandlung der Schallsignale in Nervenimpulse bezeichnet man erstgenannte Störungen, die vor der primären Hörrinde lokalisiert sind, als zentral auditive Verarbeitungsstörungen, jene, die die Großhirnrinde einschließlich des Sprachzentrums betreffen, als Wahrnehmungsstörungen.

Ptok et al. (2000) definieren auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen, AVWS, als Störungen der zentralen Prozesse des Hörens, die gemäß ICD 10 folgendermaßen kodiert werden: F 88 (andere Entwicklungsstörungen), H 91.8 (sonstiger nicht näher bezeichneter Hörverlust), H 93.2 (sonstige abnorme Hörempfindung), H 90.5 (Hörverlust durch Schallempfindungsstörung, nicht näher bezeichnet).

Demnach kann folgende Einteilung erfolgen:

- Störungen des zentralen Hörens (AVWS)
- Zentrale Fehlhörigkeit
- Zentrale Schwerhörigkeit

Klinisch gebräuchlich ist auch eine Einteilung, nach der die AVWS als Oberbegriff der Störungen des zentralen Hörens verstanden wird, der die zentrale Fehlhörigkeit und die zentrale Schwerhörigkeit untergeordnet sind (Ptok und Ptok, 1996; Ptok, 1997; Hesse et al., 1998).

Die zentrale Schwerhörigkeit wird von Esser (1994) definiert als eine starke Beeinträchtigung der gesamten auditiven Funktion, aus der eine auffällige Schwerhörigkeit resultiert.

Handelt es sich dagegen um eine zentrale Fehlhörigkeit, so liegen die Hörschwellenwerte für einfache Schallsignale zwar im Normbereich, aber Lautstärken-, Tonhöhenänderungen oder zeitliche Abläufe akustischer Signale werden nicht regelrecht differenziert. Hierdurch können kurze Signale und schnelle Signalabläufe nicht fehlerfrei erkannt werden, was sich erheblich auf das Sprachverständnis auswirkt (Hesse et al., 2001; Esser, 1994).

In der angloamerikanischen Literatur wird der Begriff „auditory processing Disorder“ (APD) verwendet. Darunter werden Defizite bei einem oder mehreren zentralen auditorischen Prozessen verstanden, die verantwortlich sind für die Generierung auditorisch evozierter Potentiale sowie für die folgenden Verhaltensweisen: Geräuschlokalisierung und -lateralisation; auditorische Diskrimination; auditorische Mustererkennung; zeitliche Aspekte des Hörens einschließlich der zeitlichen Auflösung, der zeitlichen Maskierung und der zeitlichen Abfolgeerkennung; der auditorischen Performanz mit verstümmelten akustischen Signalen (Chermak et al., 1997).

Letztlich sei erwähnt, dass die Bedeutung eines Low-Level-Defizits sehr unterschiedlich betrachtet wird und insbesondere ein Defizit der Werte noch nicht zwangsläufig gleichzusetzen ist mit einer AVWS im Sinne einer klinischen Krankheit, da hierfür bisher zu wenig Untersuchungen vorliegen.

Betrachtet man die Vielzahl der vorgeschlagenen Diagnosemöglichkeiten einer AVWS sowie die Vielzahl der vorgeschlagenen Definitionen, so ist diese Tatsache nicht verwunderlich.

Umso mehr soll in dieser Untersuchung der Versuch unternommen werden, weitere Zusammenhänge aufzudecken.

## 3. Material und Methodik

### 3.1. Datenerhebung

Die Untersuchung erfolgte an 100 Probanden, je 50 männlich und 50 weibliche Personen im Alter zwischen 20 und 70 Jahren. Sie gliederte sich in mehrere Abschnitte:

- Erfassung biographischer Merkmale mit einem Fragebogen
- Hörtestung mit einem Audiometer für die Luftleitung
- Erfassung kognitiver Merkmale mittels psychologischer Testverfahren
- Erfassung der zentralen Wahrnehmungsverarbeitung mit dem Brain - Boy - Universal

Zum Teil handelt es sich um Patienten einer Allgemeinmedizinischen Praxis, zum Teil erfolgte die Untersuchung an Bekannten und Freunden. Bei der Auswahl wurde auf eine gleichmäßige Berücksichtigung der Geschlechter und der Altersgruppen geachtet. Weiterhin wurde anamnestisch eine medikamentöse Therapie mit zentral wirksamen Medikamenten ausgeschlossen.

Die Versuche fanden in einem abgedunkelten Raum nach den Sprechzeiten der Praxis statt, sodass für eine ruhige Atmosphäre gesorgt werden konnte.

Der Proband und der Untersucher saßen sich gegenüber, wobei die Geräte so aufgestellt waren, dass der Proband die Aufzeichnungen des Untersuchers nicht einsehen konnte.

Vor der Datenerhebung wurden mittels eines Fragebogens folgende Parameter zusätzlich erfasst:

- Datum der Messung
- Name des Probanden
- Geschlecht des Probanden
- Geburtsdatum des Probanden
- Alter des Probanden in Jahr und Monat
- Schulbildung (Hauptschule, Realschule, Gymnasium, Studium)
- Leserechtschreibprobleme als Kind

- Hörgeräteversorgung seit ... in Jahr und Monaten
- Koordinationsprobleme wie Schwindel, Stürze, Gangunsicherheiten die länger als 1 Woche andauerten in den letzten 6 Monaten
- Händigkeit

Die Hörtestung erfolgte mit einem Audiometer der Firma Maico mit dem **Audiometertyp Maico ST - 20** mit der Seriennummer 3670418.

Zuvor erfolgte eine Eichung des Gerätes bei der Firma Audio - Ton in Hamburg, wobei keine Mängel festgestellt wurden (Schein Nr.: 002476)

Bei dem verwendeten Kopfhörer handelt es sich um eine Spezialanfertigung für das Gerät. Auch dieser wurde als einwandfrei geprüft.

Das Gerät erzeugt einen stufenlosen Schalldruck von 0 bis 100 dB und kann für die Frequenzen 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 eingestellt werden.

**Folgende Testverfahren** wurden durchgeführt:

- Zahlen - Symbol - Test
- Wörter trennen
- Zahlen nachsprechen vorwärts und rückwärts
- Symbolsuche

Die Erfassung der zentralen Wahrnehmungsverarbeitung erfolgte mit einem hierfür entwickelten Testgerät bestehend aus folgenden Komponenten:

#### **Sennheiser Audiometrie Hörer**

HDA 200

Sennheiser-Art.-Nr.:02994

Fabr.-Nr.:12828

Um auszuschließen, dass eventuelle Störgeräusche den Probanden während eines Hörtests irritieren, wurde dieser Kopfhörer mit einer hohen passiven Schalldämpfung und ohrumschließenden Ohrpolstern gewählt. Er gewährleistet eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

#### **Brain - Boy - Universal**

Fabr.-Nr.: 127649

Bei dem verwendeten Testgerät handelt es sich um eine professionelle Weiterentwicklung des Brain - Boy - Universal. Es erlaubt die Erhebung von sieben Low-Level-Funktionen, von denen sechs nach einem Stepladder - Ablauf

gemessen werden. Grundsätzlich wird bei allen Testungen mit dem geringsten Schwierigkeitsgrad begonnen:

- Visuelle Ordnungsschwelle = Hirntakt visuell
- Auditive Ordnungsschwelle = Hirntakt auditiv
- Richtungshören = Richtung
- Tonhöhenunterscheidung = Tonhöhe
- Duration-Pattern-Test = Tonlänge
- Choice-Reaction-Time = Reaktion
- Frequency-Pattern-Test = Tonfolge

### 3.2. Durchführung und Aufgaben

Zunächst erfolgte die Erfassung oben genannter anamnestischer Parameter mittels des folgenden Fragebogens:

Datum der Messung	
Name des Probanden	
Geschlecht des Probanden ( M / W )	
Geburtsdatum des Probanden	
Alter des Probanden ( Jahr; Monat )	
Schulbildung (HS / RS / Gym / Studium)	
Leserechtschreibprobleme als Kind?	
Hörgeräteversorgung seit (Jahre; Monate)	
Koordinationsschwierigkeiten in den letzten 6 Monaten	
Händigkeit	

Im Anschluss wurde eine Hörtestung mit dem Audiometer durchgeführt. Hierbei erfolgte eine seitengetrennte Messung des linken und rechten Ohres. Dem Probanden wurde beginnend mit einer Frequenz von 0.25 kHz bis 8 kHz je ein Ton dargeboten, welcher über einen Regler stufenlos in seinem Schallpegel von 0 bis 100 dB erhöht werden konnte. Wenn der Ton wahrgenommen wurde, sollte der Proband die Hand heben. Dieses wurde mit allen Frequenzen in dieser Weise durchgeführt und vermerkt. Gab es unstimmmige Messwerte, so erfolgte eine zufällige Frequenz- und Ohrmessung zur Verifizierung der Daten.

Danach erfolgte die Erfassung der kognitiven Parameter mittels psychologischer Testverfahren.

Hierbei wurden folgende psychologische Tests verwendet:

### Wörter trennen:

Wörter trennen:

Beispiel:  
D I E | E N T E N | S C H W I M M E N | A U F | D E M | S E E

Auf das Zeichen zum Anfangen warten!

VORUNSEREMHAUSWARDERGEHWEG  
GEFRORENSCHNELLMACHTENWIREINE  
LANGEUNDSPIEGELGLATTERUTSCHBAHN  
WIRSCHLITTERNVONEINEMENDE  
ZUMANDERENPLOTZLICHSTANDMUTTER  
MITTEINEMEIMERVOLLSSANDVORUNS  
ICHWILLEUCHHELFFENSAGTESIESOLL  
SICHHIERVIELLEICHTJEMANDEIN  
BEINBRECHENDANNSTREUTESIESAND  
OBERDIEGLATTEBAHN  
EINWANDERERHATTESICHEINMALIM  
WALDEVERIRRTUNDKAMBEINACHTAN  
DIEHÖTTEEINESARMENARBEITERS  
DERWARBERSELBSTNICHTZUHAUSE  
UNDDIEFRAUKANNTEDENHERRN NICHT  
DOCHNAHSIEHNWOHLAUFSAGTEIHM  
ABERGLEICHVORAUSDASSESMITDEM  
ESSENSCHLECHTAUSSEHEDENNSIE  
HATTENICHTSALS KARTOFFELNUND  
SELBERKEINBETTERMOSSEALSOIM  
HEUSCHLAFENWEILABERDERHERRHUNG-  
RIGUNDMODEWARSCHMECKTENIHM DIE  
KARTOFFELNSOGUTWIEEINBRATENUND  
INSEINERWEICHENBETTZUHAUSE  
HATTEERSELTENBESSERGE SCHLAFEN  
ALSHIERAUFDEMHEUALSERAMMORGEN  
ERWACHTEBEDANKTEERSICHERZLICH  
BEIDERBAUERSFRAUERFRAGTESIEOB  
ERIHRETWASSCHULDIGWAREDOCHSIE  
WEHRTELACHENDABUNDMONSCHTEIHM  
WEITERHINEINEGUTEMANDERUNG

Ein Test aus der „Testbatterie grammatische Kompetenz“ von Tewes und Thurner (1976). Es handelt sich bei diesem Untertest um eine Testskala, bei der es um die visuelle Worterkennung geht. Hier sind Texte durchgängig ohne Zwischenräume, zwischen den einzelnen Wörtern geschrieben und nur in Großbuchstaben, so dass die Groß-Klein-Schreibung keine Orientierungshilfe gibt. Die Probanden sollen dann den Text unter Zeitdruck (120sek) lesen und hinter jedem richtig identifiziertem Wort einen senkrechten Trennstrich einfügen.

Es wird also im Wesentlichen eine visuelle Worterkennung erfasst.

Gewertet werden alle richtig erkannten Worte.

### Zahlen-Symbol-Test:

Digit Symbol—Coding

1	2	3	4	5	6	7	8	9
—	⊥	⊓	⊔	⊕	⊖	⊗	⊘	⊙

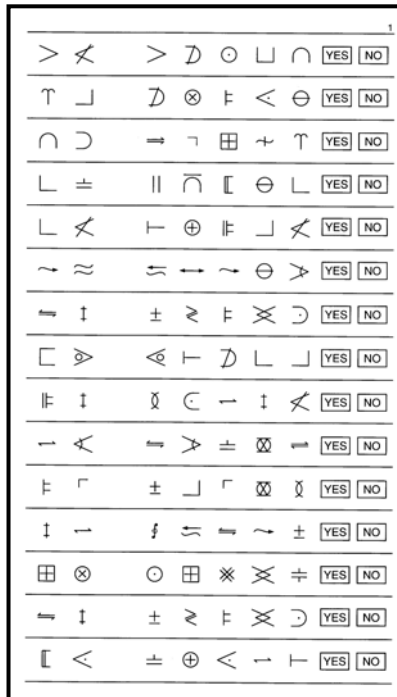
Sample Items

2	1	3	7	2	4	8	2	1	3	2	1	4	2	3	5	2	3	1	4
5	6	3	1	4	1	5	4	2	7	6	3	5	7	2	8	5	4	6	3
7	2	8	1	9	5	8	4	7	3	6	2	5	1	9	2	8	3	7	4
6	5	9	4	8	3	7	2	6	1	5	4	6	3	7	9	2	8	1	7
9	4	6	8	5	9	7	1	8	5	2	9	4	8	6	3	7	9	8	6
2	7	3	6	5	1	9	8	4	5	7	3	1	4	8	7	9	1	4	5
7	1	8	2	9	3	6	7	2	8	5	2	3	1	4	8	4	2	7	6

Ein Untertest aus dem HAWIE-III (Tewes et. al., 1999). Hier sollen die Probanden unter Zeitdruck (120 sek) unter mehreren Reihen von Ziffern abstrakte Symbole eintragen, wobei sie den Schlüssel, welcher Ziffer welches Symbol zuzuordnen ist, im Kopf des Formulars angeboten bekommen. Der Test erfasst die psychomotorische Geschwindigkeit, das Konzentrationsvermögen, die Aufmerksamkeit und das Kurzzeitgedächtnis für abstrakte visuelle Muster. Gewertet werden alle richtig zugeordneten Symbole.



**Symbolsuche:**



Ein Untertest aus dem HAWIE-III.

Die Probanden bekommen auf einer Zeile links zwei Symbole vorgegeben und rechts davon eine Kette von fünf weiteren Symbolen. Bei den vorgegebenen Symbolen handelt es sich um abstrakte visuelle Symbole. Die Probanden sollen dann Vergleiche anstellen, ob die beiden Symbole links in der Kette von Symbolen rechts enthalten sind, dabei haben sie jedoch nur 120sek Zeit. Es geht also um visuelle Mustererkennung und Konzentrationsvermögen unter Zeitdruck.

Gewertet wird die Gesamtzahl aller richtigen und falschen Antworten. Dann wird die Zahl der falschen Antworten von der Zahl der richtigen Antworten abgezogen und vermerkt.

**Zahlennachsprechen:**

<b>DISCONTINUE RULE</b> Digits Forward & Backward: Score of 0 on both trials of any item. For both Digits Forward & Backward, administer both trials of each item even if Trial 1 is passed. Administer Digits Backward even if examinee scores 0 on Digits Forward.			<b>SCORING RULE</b> Each Trial: 0 or 1 pt. for each response Item score = Trial 1 + Trial 2		
Digits Forward		Total Score	Digits Backward		Total Score
Trial	Item/Response	(0 or 1)	Trial	Item/Response	(0 or 1)
1	1 1-7		1	1 2-4	
2	2 6-3		2	2 5-7	
3	3 5-8-2		3	3 8-2-9	
4	4 6-9-4		4	4 1-5	
5	5 1 6-4-3-9		5	5 1 3-2-7-9	
6	6 7-2-8-6		6	6 4-9-8-8	
7	7 4-2-7-3-1		7	7 1 5-2-8-6	
8	8 7-5-8-3-8		8	8 1-8-4-8	
9	9 1 6-1-9-4-7-3		9	9 5-3-9-4-1-8	
10	10 3-9-2-4-8-7		10	10 7-2-4-8-5-6	
11	11 5-8-1-7-4-2-8		11	11 8-1-3-9-3-6-5	
12	12 4-1-7-9-3-8-8		12	12 4-7-3-9-1-2-8	
13	13 5-8-1-9-2-8-4-7		13	13 9-4-3-7-6-2-5-8	
14	14 3-8-2-9-5-1-7-4		14	14 7-2-8-1-9-6-5-3	
15	15 2-7-5-8-6-2-5-8-4				
16	16 7-1-3-9-4-2-5-6-8				
Digits Forward Total Score (Maximum = 16)			Digits Backward Total Score (Maximum = 14)		
			Forward + Backward = (Maximum = 30)		

Ein Untertest aus dem HAWIE-III

Dem Proband wird eine Ziffernfolge in der Geschwindigkeit von einer Ziffer pro Sekunde vorgelesen. Anschließend soll der Proband die Ziffern vorwärts nachsprechen.

Ist die Zahlenfolge korrekt, wird eine nun längere Zahlenfolge vorgesprochen.

Das Zahlennachsprechen vorwärts wird abgebrochen, wenn der Proband nacheinander den ersten und den zweiten Versuch einer Aufgabe nicht oder falsch gelöst hat. Dann beginnt das Zahlennachsprechen rückwärts in derselben Weise.

Für jede richtig nachgesprochene Zahlenfolge gibt es einen Punkt. Die maximale Punktzahl für Zahlennachsprechen vorwärts ist 16, die für rückwärts 14.

Gewertet wird die Summe der jeweiligen Punkte.

Das Zahlennachsprechen vorwärts repräsentiert das akustische Kurzzeitgedächtnis für Zahlen.

Das Zahlennachsprechen rückwärts repräsentiert das akustische Arbeitsgedächtnis für Zahlen.

Zusammen repräsentieren diese Tests das Kurzzeitgedächtnis im weitesten Sinn mit Komponenten des Arbeitsgedächtnisses.

Zuletzt erfolgte mithilfe des Brain - Boy - Universal eine Erfassung der zentralen Wahrnehmungsverarbeitung.

Über den Sennheiser Audiometrie Hörer wurden alle Töne und Klicks mit einem Schalldruck von 90 dB SPL +/- 1dB Dauergeräuschpegel präsentiert.

Als Grenzwert wurde die letzte korrekte Antwort vor dem ersten Fehler in einer Folge von drei Fehlern innerhalb von sieben aufeinander folgenden Antworten gewertet. Dies ist angelehnt an den Validierungs-Algorithmus von Ptok und Fischer (2000).

Anstatt wie in der Studie von Ptok und Fischer (2000) mit einem Richtig-Falsch-Verhältnis von 1 zu 3, wurde mit einem Verhältnis von 1 zu 4 gearbeitet, und so der Validierungs-Algorithmus leicht modifiziert. Dies bedeutet, dass der Proband bei einer falschen Antwort um vier Schritte zurückgestuft wurde. Jede falsche Antwort muß also durch vier korrekte Antworten (anstelle von drei wie bei Ptok und Fischer) ausgeglichen werden, um auf den Wert vor der falschen Antwort zurückzukehren.

Der Grund für diese Modifizierung bestand darin, dass man die Zufallswahrscheinlichkeit für das Erreichen guter Werte verringern wollte.

Die folgenden Parameter wurden erfasst:

**Visuelle Ordnungsschwelle = Hirntakt visuell**

Die visuelle Ordnungsschwelle wurde durch Pöppel (1985) definiert als diejenige Zeitspanne, die zwischen zwei Sinnesreizen mindestens verstreichen muss, damit diese getrennt wahrgenommen und in eine Reihenfolge gebracht werden können. Sie bestimmt somit die Segmentierung des gesamten visuellen Inputs: Gemessen wird sie mittels zweier Lichtblitze von links und von rechts, deren Reihenfolge zufallsgesteuert und vom Probanden zu bestimmen ist. Begonnen wird mit großen Zeitabständen. Nach einem vorgegebenen Algorithmus wird dieser zeitliche Abstand nach jeder zutreffenden Antwort verkürzt und nach jeder unzutreffenden Antwort verlängert, bis die visuelle Ordnungsschwelle des Probanden erreicht ist.

**Auditive Ordnungsschwelle = Hirntakt auditiv**

Sie bestimmt laut Pöppel (1985) die Segmentierung des gesamten auditiven Inputs. Gemessen wird sie sinngemäß ähnlich dem Sehen: Der Proband hört zwei Klicks im Kopfhörer von links und von rechts und soll auch hier die Reihenfolge benennen. Nach demselben Algorithmus wie im Sehen wird die Ordnungsschwelle des Probanden erhoben.

**Richtungshören = Richtung**

Für das „Heraushören“ des Nutzschalls aus einem räumlich verteilten Störschall ist ein gutes Richtungshören unabdingbar: Der Proband hört Klicks aus verschiedenen Richtungen, benennt die gehörte Richtung und wird nach einem ähnlichen Algorithmus wie oben an seine Grenze geführt.

**Tonhöhenunterscheidung = Tonhöhe**

Die Fähigkeit, Töne verschiedener Frequenz rasch und treffsicher zu unterscheiden, benötigt jeder für die Vokalerkennung und die Dekodierung der Sprechmelodie, die neben Sprechtempo, -rhythmus und -lautstärke die wichtigste Komponente der Prosodie darstellt: Der Proband hört zwei kurze Töne, deren Intervall sich erfolgsabhängig verändert. Es wird nach einem ähnlichen Algorithmus wie oben an seine Grenze geführt.

**Duration-Pattern-Test = Tonlänge**

Der Proband hört eine Folge von drei Tönen identischer Frequenz. Davon sind zwei gleich lang, einer ist doppelt so lang. Der Proband soll angeben, an welcher Stelle – vorn, mittig, hinten – er den längeren Ton gehört hat. Die Dauer der Töne und Pausen verändert sich erfolgsabhängig. Der Proband wird nach einem ähnlichen Algorithmus wie oben an seine Grenze geführt.

**Choice-Reaction-Time = Reaktion**

Angeknüpft wird hier an umfängliche Untersuchungen von Nicolson und Fawcett (1993), die zwischen LRS-Kindern und Kontrollkindern bei Wahl-Reaktionsaufgaben im Hören und im Sehen ein erhebliches Gefälle feststellen mussten:

Der Proband hört von links und von rechts je einen Ton. Das Intervall ist mit fast einer Oktave so groß, dass es sich nicht um eine Variante der Tonhöhenunterscheidung handelt. Vielmehr soll der Proband hier so rasch wie möglich die Taste auf der Seite mit dem tieferen Ton betätigen. Gemessen wird seine durchschnittliche Reaktionszeit bei vierzig aufeinander folgenden Tonpärchen.

**Frequency-Pattern-Test = Tonfolge**

Der Proband hört eine Folge von drei Tönen. Zwei sind identisch, einer weicht in der Tonhöhe ab. Der Proband soll angeben, an welcher Stelle – vorn, mittig, hinten – er den abweichenden Ton gehört hat. Die Dauer der Töne und Pausen verändert sich erfolgsabhängig. Der Proband wird nach einem ähnlichen Algorithmus wie oben an seine Grenze geführt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Deskriptive Statistiken

Die Verteilung nach Alter und Geschlecht ist Tabelle 3 zu entnehmen:

Tabelle 3: Häufigkeitsverteilung der Probanden innerhalb der verschiedenen Altersgruppen

	Alter in vollendeten Lebensjahren					
	N	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70
<b>Männlich</b>	50	10	10	10	10	10
<b>Weiblich</b>	50	10	10	10	10	10
<b>Gesamt</b>	100	20	20	20	20	20

Hinsichtlich der Altersverteilung innerhalb einer Dekade, sowie aller nachfolgend genannten Parameter, erfolgte keine weitere Selektierung, so dass sich hier Häufungen hätten ergeben können.

Wie jedoch aus Tabelle 4 ersichtlich wird, ergab sich eine gleichmäßige Verteilung des Alters mit einem Mittelwert von 44 Jahren.

Tabelle 4: Altersverteilung der Probanden

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>Alter</b>	100	20	70	44,26	15,02

Die Schulbildung wird in Tabelle 5 beschrieben:

Tabelle 5: Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Schulbildungen der Probanden

Schulbildung	Häufigkeit
<b>Hauptschule</b>	25
<b>Realschule</b>	27
<b>Gymnasium</b>	10
<b>Studium</b>	38
<b>Gesamt</b>	100

Hierbei wird deutlich, dass die Zahl der Probanden mit höherer Schulbildung überrepräsentiert ist. Somit ist die Erhebung bildungsmäßig nicht repräsentativ für die Gesamtbevölkerung, was bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigt werden muss.

Aus Tabelle 6 wird ersichtlich, dass der Anteil der Linkshänder sehr gering ist:

Tabelle 6: Häufigkeitsverteilung der Händigkeit der Probanden

	Häufigkeit
<b>Linkshändig</b>	6
<b>Rechtshändig</b>	94
<b>Gesamt</b>	100

Wesentlich größer ist der Anteil von Probanden mit Koordinationsproblemen, wie aus Tabelle 7 ersichtlich wird:

Tabelle 7: Häufigkeitsverteilung der Koordinationsprobleme der Probanden

Koordinationsprobleme	Häufigkeit
<b>Ja</b>	14
<b>Nein</b>	86
<b>Gesamt</b>	100

Auch Probanden mit einer Lese - Rechtschreibschwäche in der Kindheit waren recht häufig, wie aus Tabelle 8 ersichtlich wird:

Tabelle 8: Häufigkeitsverteilung der Lese - Rechtschreibschwäche (LRS) bei den Probanden

LRS	Häufigkeit
<b>Ja</b>	17
<b>Nein</b>	83
<b>Gesamt</b>	100

Hörgeräteträger kamen in folgender Häufigkeit vor:

Tabelle 9: Häufigkeitsverteilung der Hörgeräteträger bei den Probanden

Hörgerät getragen in Jahren	Häufigkeit
0	95
1	1
3	2
8	1
23	1
Gesamt	100

Die Verteilung Hörgeschädigter innerhalb der Stichprobe erfolgte entsprechend einer Einteilung nach der American Speech-Language-Hearing Association:

Kein Hörverlust = 0 dB bis 15 dB

Minimaler Hörverlust = 16 dB bis 25 dB

Leichter Hörverlust = 26 dB bis 30 dB

Mäßiger Hörverlust = 31 dB bis 50 dB

Mittelmäßiger Hörverlust = 51 dB bis 70 dB

Starker Hörverlust = 71 dB bis 90 dB

Sehr starker Hörverlust = 91 dB oder mehr

Hierbei wird der klinischen Relevanz insofern Rechnung getragen, als dass eine Hörbeeinträchtigung im Hauptsprachbereich zwischen 250 und 4000 Hz und 50 und 80 dB schwerer wiegt, als eine außerhalb dieses Frequenzbereiches gelegene Hörbeeinträchtigung. Daher wird in der folgenden Tabelle 10 nur die Hörbeeinträchtigung für die Frequenzen von 500 bis 3000 Hz dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Anzahl der Personen mit einem mittelmäßigen Hörverlust und mehr recht klein ist. In der Altersgruppe der unter Vierzigjährigen findet sich nur eine Person mit einem mittelmäßigen Hörschaden:

Tabelle 10: Verteilung der Hörbeeinträchtigung im Hauptsprachbereich

Alter	0-15 dB	16-25 dB	26-30 dB	31-50 dB	51-70 dB	71-90 dB	> 90 dB
<b>rechtes Ohr 500 Hz</b>							
21-29	17	2	1	0	0	0	0
30-39	14	4	0	2	0	0	0
40-49	8	10	2	0	0	0	0
50-59	9	3	4	2	0	0	0
60-70	3	8	4	5	2	0	0
<b>rechtes Ohr 1000 Hz</b>							
21-29	15	5	0	0	0	0	0
30-39	14	4	1	1	0	0	0
40-49	13	4	2	1	0	0	0
50-59	5	9	4	0	0	0	0
60-70	4	8	4	3	3	0	0
<b>rechtes Ohr 2000 Hz</b>							
21-29	18	2	0	0	0	0	0
30-39	17	2	1	0	0	0	0
40-49	16	1	2	1	0	0	0
50-59	7	6	2	2	1	0	0
60-70	3	7	2	8	0	2	0
<b>rechtes Ohr 3000 Hz</b>							
21-29	18	2	0	0	0	0	0
30-39	16	3	0	0	1	0	0
40-49	11	8	1	0	0	0	0
50-59	5	7	2	2	2	0	0
60-70	1	8	1	7	5	0	0
<b>linkes Ohr 500 Hz</b>							
21-29	16	4	0	0	0	0	0
30-39	15	4	0	1	0	0	0
40-49	11	4	3	1	1	0	0
50-59	7	4	4	3	0	0	0
60-70	5	13	3	1	0	0	0
<b>linkes Ohr 1000 Hz</b>							
21-29	15	5	0	0	0	0	0
30-39	14	5	0	0	1	0	0
40-49	14	2	2	1	1	0	0
50-59	11	2	2	2	1	0	0
60-70	2	9	4	6	1	0	0
<b>linkes Ohr 2000 Hz</b>							
21-29	17	3	0	0	0	0	0
30-39	18	1	0	0	1	0	0
40-49	15	3	1	1	0	0	0
50-59	9	5	0	3	1	0	0
60-70	5	6	3	5	2	0	0
<b>linkes Ohr 3000 Hz</b>							
21-29	18	2	0	0	0	0	0
30-39	16	3	0	0	1	0	0
40-49	15	3	1	1	0	0	0
50-59	7	5	1	1	3	1	0
60-70	3	5	2	6	5	1	0



Im Folgenden werden nun die Zusammenhänge zwischen einzelnen Stichprobenmerkmalen dargestellt.

Diese Zusammenhänge sind deswegen von Bedeutung, weil sie bei der späteren Analyse der Merkmalsbeziehungen berücksichtigt werden müssen.

Betrachtet man die Altersverteilung getrennt nach Geschlechtern ergibt sich, wie in Tabelle 11 ersichtlich wird, ebenfalls eine gleichmäßige Verteilung.

Tabelle 11: Mittelwertsvergleich des Alters zwischen Männern und Frauen

	<b>Geschlecht</b>	<b>N</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
<b>Alter</b>	weiblich	50	44,38	14,74
<b>Alter</b>	männlich	50	44,14	15,43

Die 50 weiblichen Probanden weisen einen Altersdurchschnitt von 44,4 Jahren auf, die 50 männlichen einen Altersdurchschnitt von 44,1 Jahren. Dieser geringfügige Unterschied erweist sich im t - Test für den Mittelwertvergleich bei unabhängigen Stichproben nicht als signifikant ( $t = 0,080$ ;  $df = 98$ ;  $p = .937$ ).

In einem nächsten Rechenschritt wurden die Altersunterschiede zwischen den verschiedenen Bildungsgraden untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt:

Tabelle 12: Mittelwertsvergleich des Alters zwischen den verschiedenen Bildungsgraden

<b>Schulbildung</b>	<b>N</b>	<b>Mittelwert des Alters</b>	<b>Standardabweichung</b>
<b>Hauptschule</b>	25	55,36	9,65
<b>Realschule</b>	27	47,59	14,04
<b>Gymnasium</b>	10	42,50	13,13
<b>Studium</b>	38	35,05	13,54
<b>Gesamt</b>	100	44,26	15,02

Die recht deutlichen Unterschiede wurden in diesem Fall mithilfe einer Einwegvarianzanalyse auf Signifikanz überprüft. Bei der Varianzanalyse prüft man die Hypothese ob man die Unterschiede zwischen mehr als zwei Mittelwerten noch als zufallsbedingte Schwankungen interpretieren kann oder nicht.

Die Signifikanz der Unterschiede wird mit Hilfe des F - Test überprüft. Im vorliegenden Fall erwiesen sich die Unterschiede als hochsignifikant ( $F = 13,5$ ;  $df = 3/96$ ;  $p < .000$ ).

Tabelle 13: Signifikanztest der Mittelwertsunterschiede

Alter	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
<b>Zwischen den Gruppen</b>	6632,57	3	2210,86	13,53	0,00
<b>Innerhalb der Gruppen</b>	15692,67	96	163,47		
<b>Gesamt</b>	22325,24	99			

Generell lässt sich somit festhalten, dass das Durchschnittsalter der Probanden mit höherer Schulbildung geringer ist als das von Probanden mit niedriger Schulbildung. Die Tatsache, dass hier das Alter und die Schulbildung nicht unabhängig voneinander sind, muss bei der späteren Diskussion der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Sollten sich Unterschiede in den Testergebnissen zwischen Probanden mit unterschiedlicher Schulbildung nachweisen lassen, müsste dann in einem zweiten Schritt nachgeprüft werden ob es sich dabei um Artefakte der Altersunterschiede handelt.

Als nächstes wurde verglichen, inwieweit sich die Geschlechter unterschiedlich auf die verschiedenen Schulformen verteilen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 dargestellt:

Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung der Schulbildung getrennt nach Geschlechtern

	Anzahl der Personen mit jeweiligem Schulabschluss				
	Hauptschule	Realschule	Gymnasium	Studium	Gesamt
<b>Weiblich</b>	10	20	8	12	50
<b>Männlich</b>	15	7	2	26	50
<b>Gesamt</b>	25	27	10	38	100

Hier fällt auf, dass die Frauen beim Realschulabschluss deutlich überrepräsentiert sind, beim Studium hingegen die Männer.

Die Unterschiede wurden mithilfe des  $\chi^2$  - Test auf Signifikanz überprüft. Beim  $\chi^2$ -Test wird analysiert, inwieweit Unterschiede in den Häufigkeiten verschiedener Kategorien als zufallsbedingt erklärt werden können oder ob sie als systematisch angesehen werden müssen.

Im vorliegenden Fall ließ sich nachweisen, dass die Unterschieden hochsignifikant sind ( $\chi^2 = 16,02$ ;  $df = 3$ ;  $p = .001$ ).

Auch dieser Unterschied wird bei der späteren Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sein. Sollten sich sowohl das Geschlecht als auch die Schulbildung als bedeutende Einflussgrößen auf die Testleistungen erweisen, so müsste nachgeprüft werden, ob eventuelle Unterschiede zwischen Männern und Frauen möglicherweise auf Unterschiede in den Bildungsgraden zurückzuführen sind oder ob Unterschiede in den Testergebnissen bei Probanden mit unterschiedlicher Schulbildung durch Geschlechtsunterschiede erklärt werden können.

Auf Vergleiche der restlichen Variablen untereinander, die hier zur Stichprobenbeschreibung herangezogen werden, wurde bewusst verzichtet, da diese zum Teil sehr ungleiche Verteilungen aufweisen.

Hier wird zunächst zu prüfen sein inwieweit diese Merkmale einen Einfluss auf die Testleistung haben bevor man dann möglicherweise im Nachhinein überprüft, ob es sich um unmittelbare Auswirkungen handelt oder ob diese Zusammenhänge sich als Geschlechts - oder Bildungsunterschiede oder Altersunterschiede erklären lassen.

#### **4.2 Der Einfluss soziodemographischer Merkmale auf die Ergebnisse zur Messung der zentralen Wahrnehmungsverarbeitung mit dem Brain - Boy**

In der Auswertung ergab die Analyse der Verteilungen der Brain - Boy - Werte und der Hörtestwerte zunächst eine stark linksschiefe Verteilung. Im unteren Wertebereich fanden sich demnach viele Daten, während nach oben eine natürliche Grenze existierte (Weiß, 2001).

Da jedoch die meisten statistischen Tests eine Normalverteilung voraussetzen (Bortz, 1993), sollte die linksschiefe Verteilung durch eine geeignete Transformation normalisiert werden. Es zeigte sich, dass ein Radizieren aller Werte zu einer Gauß'schen Normalverteilung führte.

Im Weiteren sind deshalb anstelle der erfassten Rohwerte deren Quadratwurzeln angegeben.

In einem ersten Auswertungsschritt wurde untersucht, inwieweit sich die verschiedenen Altersgruppen im Hinblick auf die Leistungen in der zentralen Wahrnehmungsverarbeitung unterscheiden.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Mittelwertsvergleich der Brain – Boy – Parameter getrennt nach Altersgruppen

	<b>Alter</b>	<b>N</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
<b>visuelle Ordnungsschwelle</b>	21-29	20	5,33	1,27
	30-39	20	7,22	3,54
	40-49	20	6,93	1,54
	50-59	18	7,96	2,33
	60-70	22	8,98	3,00
	21-70	100	7,30	2,75
<b>auditive Ordnungsschwelle</b>	21-29	20	7,03	1,75
	30-39	20	9,10	4,37
	40-49	20	8,32	2,53
	50-59	18	9,41	2,19
	60-70	22	10,47	3,77
	21-70	100	8,88	3,27
<b>Richtungshören</b>	21-29	20	6,11	1,39
	30-39	20	5,75	1,01
	40-49	20	6,13	2,23
	50-59	18	7,22	1,95
	60-70	22	9,25	4,43
	21-70	100	6,93	2,84
<b>Tonhöhenunterscheidung</b>	21-29	20	3,66	2,45
	30-39	20	2,61	1,83
	40-49	20	3,51	1,87
	50-59	18	4,07	2,28
	60-70	22	4,66	2,16
	21-70	100	3,71	2,19
<b>Duration-Pattern-Test</b>	21-29	20	7,41	1,94
	30-39	20	7,69	1,17
	40-49	20	8,93	3,36
	50-59	18	8,87	2,16
	60-70	22	11,21	4,98
	21-70	100	8,87	3,34
<b>Choice-Reaction-Time</b>	21-29	20	25,90	3,15
	30-39	20	26,42	4,17
	40-49	20	26,91	3,88
	50-59	18	27,97	3,16
	60-70	22	30,54	4,53
	21-70	100	27,60	4,14
<b>Frequency-Pattern-Test</b>	21-29	20	7,02	2,03
	30-39	20	8,11	3,17
	40-49	20	9,07	3,67
	50-59	18	11,70	4,77
	60-70	22	14,60	6,90
	21-70	100	10,16	5,22

Generell zeigt sich hier in allen Parametern der gleiche Trend ab, dass die Testleistungen mit zunehmendem Alter abnehmen, wobei stets berücksichtigt werden muss, dass numerisch hohe Werte schlechtere Leistungen darstellen.

Gelegentlich kommt es in den Altersgruppen von 30 - 39 oder 40 - 49 Jahren zu Abweichungen von diesen Trends, was allerdings als Stichprobenspezifische Besonderheit interpretiert werden kann. Die Signifikanz dieser Mittelwertsunterschiede wurde mithilfe einer Einwegvarianzanalyse auf Signifikanz überprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt:

Tabelle 16: Signifikanztest der Mittelwertsunterschiede der Brain - Boy - Parameter für die verschiedenen Altersgruppen

	<b>F;df = 4/99</b>	<b>Signifikanz</b>
<b>visuelle Ordnungsschwelle</b>	5,98	0,00
<b>auditive Ordnungsschwelle</b>	3,51	0,01
<b>Richtungshören</b>	6,58	0,00
<b>Tonhöhenunterscheidung</b>	2,61	0,04
<b>Duration-Pattern-Test</b>	4,95	0,00
<b>Choice-Reaction-Time</b>	4,86	0,00
<b>Frequency-Pattern-Test</b>	9,71	0,00

Dieser Tabelle kann entnommen werden, dass die Altersunterschiede für alle sieben Testverfahren statistisch signifikant sind.

Auf die gleiche Weise wurde auch geprüft, inwieweit sich die Probanden mit unterschiedlicher Schulbildung in den Testleistungen unterscheiden. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen 17 und 18 wie folgt dargestellt.

Tabelle 17: Mittelwertsvergleich der Brain - Boy- Parameter getrennt nach Schulbildung

	<b>Schulbildung</b>	<b>N</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
<b>visuelle Ordnungsschwelle</b>	Hauptschule	25	8,35	2,58
	Realschule	27	7,65	2,43
	Gymnasium	10	7,47	3,27
	Studium	38	6,33	2,70
	Gesamt	100	7,30	2,75
<b>auditive Ordnungsschwelle</b>	Hauptschule	25	9,88	2,73
	Realschule	27	9,83	3,50
	Gymnasium	10	8,61	2,71
	Studium	38	7,64	3,30
	Gesamt	100	8,88	3,27
<b>Richtungshören</b>	Hauptschule	25	6,82	2,50
	Realschule	27	7,99	3,98
	Gymnasium	10	6,69	1,66
	Studium	38	6,32	2,13
	Gesamt	100	6,93	2,84
<b>Tonhöhenunterscheidung</b>	Hauptschule	25	5,01	1,88
	Realschule	27	3,80	2,06
	Gymnasium	10	3,78	2,01
	Studium	38	2,78	2,14
	Gesamt	100	3,71	2,19
<b>Duration-Pattern-Test</b>	Hauptschule	25	10,83	4,36
	Realschule	27	9,84	3,41
	Gymnasium	10	6,69	0,97
	Studium	38	7,46	1,55
	Gesamt	100	8,87	3,34
<b>Choice-Reaction-Time</b>	Hauptschule	25	29,15	5,45
	Realschule	27	27,67	3,43
	Gymnasium	10	26,92	3,31
	Studium	38	26,70	3,61
	Gesamt	100	27,60	4,14
<b>Frequency-Pattern-Test</b>	Hauptschule	25	13,82	5,70
	Realschule	27	10,28	4,70
	Gymnasium	10	10,06	4,22
	Studium	38	7,69	4,07
	Gesamt	100	10,16	5,22

Hier wird ersichtlich, dass die Ergebnisse umso besser werden, je höher die Schulbildung der Probanden ist. Obwohl der Trend in allen erfassten Parametern in die gleiche Richtung ausfällt, muss doch darauf hingewiesen werden, dass die Unterschiede beim Richtungshören und bei der Choice-Reaction-Time statistisch nicht signifikant sind, wie sich aus Tabelle 18 ersehen lässt:

Tabelle 18: Signifikanztest der der Mittelwertsunterschiede

	<b>F;df = 4/99</b>	<b>Signifikanz</b>
<b>visuelle Ordnungsschwelle</b>	3,16	0,03
<b>auditive Ordnungsschwelle</b>	3,65	0,02
<b>Richtungshören</b>	1,91	0,13
<b>Tonhöhenunterscheidung</b>	6,03	0,00
<b>Duration-Pattern-Test</b>	9,15	0,00
<b>Choice-Reaction-Time</b>	1,91	0,13
<b>Frequency-Pattern-Test</b>	8,55	0,00

Es bleibt jedoch zunächst fraglich, ob die Ergebnisse unabhängig voneinander interpretiert werden können, da sich bei der Stichprobenbeschreibung gezeigt hatte, dass die Schulbildung nicht unabhängig vom Lebensalter ist. Vielmehr wiesen die hier untersuchten Probanden mit höherer Schulbildung im Durchschnitt ein geringeres Lebensalter auf als die Probanden mit geringerer Schulbildung. Da aber gleichzeitig mit zunehmendem Lebensalter die Testleistungen schwächer werden, könnte man vermuten, dass die Bildungsunterschiede auf Altersunterschiede zurückgeführt werden könnten oder dass die altersbedingten Leistungsunterschiede in Wirklichkeit Bildungsunterschiede widerspiegeln.

Diese Annahmen lassen sich mithilfe einer Zweiwegvarianzanalyse statistisch überprüfen.

Während bei den bisherigen Varianzanalysen nur geprüft wurde, inwieweit ein einzelnes Merkmal für sich genommen, beispielsweise das Alter oder die Schulbildung, einen Einfluss auf die Testergebnisse hat, wird bei der Zweiwegvarianzanalyse untersucht, inwieweit zwischen diesen beiden determinierenden Merkmalen auch Wechselwirkungen bestehen können.



Wenn keine statistischen Wechselwirkungen vorliegen würden, würde das bedeuten, dass beispielsweise die Schulbildung nur einen systematischen Einfluss hat, d.h. zu einer Niveauverschiebung auf die Leistungsparameter führt, dass aber innerhalb des gleichen Bildungsniveaus der altersspezifische Trend konstant bleibt.

Würden hingegen Wechselwirkungen vorliegen, so würde das bedeuten, dass sich die altersbedingten Veränderungen in Abhängigkeit vom Bildungsniveau der Probanden unterschiedlich darstellen. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in der folgenden Tabelle 19 dargestellt:

Tabelle 19: Signifikanztest bezüglich der Wechselwirkung zwischen Lebensalter und Schulbildung auf die Testergebnisse der Brain - Boy - Parameter

	<b>F;df =10/82</b>	<b>Signifikanz</b>
<b>visuelle Ordnungsschwelle</b>	1,78	0,08
<b>auditive Ordnungsschwelle</b>	0,92	0,52
<b>Richtungshören</b>	2,36	0,02
<b>Tonhöhenunterscheidung</b>	0,68	0,74
<b>Duration-Pattern-Test</b>	0,72	0,71
<b>Choice-Reaction-Time</b>	1,18	0,31
<b>Frequency-Pattern-Test</b>	1,01	0,44

Aus Tabelle 19 wird ersichtlich, dass bei sechs der sieben Parameter keine signifikanten Wechselwirkungen vorliegen. Nur beim Richtungshören kommt es zu einem schwach signifikanten Wechselwirkungseffekt zwischen Altersgruppe und Schulbildung, der jedoch nicht überinterpretiert werden sollte, da er nicht sehr stark ausgeprägt ist und da bei multiplen Signifikanztests wie im vorliegenden Fall ohnehin damit gerechnet werden muss, dass der eine oder andere Wert aufgrund der zufallsbedingten Schwankungen sich der Signifikanz annähert. Generell scheint sich hier jedoch zu zeigen, dass Bildung und Lebensalter im Hinblick auf die Leistungen in den einzelnen Parametern additiv wirken und sich nicht wechselseitig beeinflussen. Somit sind die bisherigen Auswertungen dahingehend zu interpretieren, dass die Leistungen generell mit zunehmendem Lebensalter

abnehmen und dass diese Abnahme auch für alle Bildungsniveaus gilt, wobei gleichzeitig jedoch ein systematischer Bildungsunterschied dahingehend vorzuliegen scheint, dass Personen mit höherer Schulbildung in allen Parametern durchschnittlich bessere Leistungen aufweisen als Probanden mit geringerer Schulbildung.

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit sich Männer und Frauen im Hinblick auf die Testergebnisse unterscheiden.

In der folgenden Tabelle 20 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen getrennt für Männer und Frauen aufgeführt.

Tabelle 20: Mittelwertsvergleich der Brain - Boy - Parameter getrennt nach Geschlechtern und Signifikanztest der Mittelwertsunterschiede

		N	Mittelwert	Standardabweichung	t	df	Signifikanz
visuelle OS	weiblich	50	7,44	3,03	0,48	98	0,63
	männlich	50	7,17	2,45			
auditive OS	weiblich	50	9,40	3,40	1,60	98	0,11
	männlich	50	8,37	3,09			
Richtungshören	weiblich	50	7,18	3,28	0,86	98	0,39
	männlich	50	6,69	2,33			
Tonhöhen- unterscheidung	weiblich	50	4,00	2,28	1,32	98	0,19
	männlich	50	3,42	2,09			
Duration-Pattern- Test	weiblich	50	9,30	3,56	1,30	98	0,20
	männlich	50	8,44	3,07			
Choice-Reaction- Time	weiblich	50	27,41	3,80	-0,44	98	0,66
	männlich	50	27,78	4,48			
Frequency-Pattern- Test	weiblich	50	10,46	4,92	0,57	98	0,57
	männlich	50	9,86	5,53			

Sie unterscheiden sich nicht wesentlich. Die Unterschiede zwischen diesen Mittelwerten wurden mit Hilfe des t - Tests für unabhängige Stichproben auf Signifikanz geprüft und erwiesen sich in keinem Fall als statistisch signifikant.

Es dürfte daher keinen Sinn machen, bei den weiteren Versuchen zur Validierung dieses Verfahrens an der hier untersuchten Stichprobe geschlechtsspezifische Unterschiede zu berücksichtigen.

### **4.3 Zusammenhänge der zentralen Wahrnehmungsverarbeitung mit anderen kognitiven und auditiven Merkmalen**

In diesem Teil der Auswertung wurden die Brain - Boy Parameter mit anderen kognitiven und auditiven Testleistungen verglichen. Des Weiteren erfolgte ein Vergleich der Brain - Boy - Parameter untereinander.

Angegeben sind die jeweiligen Korrelationen. Die Korrelation ist ein Maß für die Enge des Zusammenhangs, wobei der Wert +1 für eine maximale lineare Korrelation und der Wert - 1 für eine maximale gegenläufige Korrelation steht. 0 hieße, dass überhaupt kein Zusammenhang vorhanden ist.

Auf dem 5% - Niveau signifikante Korrelationen sind in Tabelle 21 durch Fettdruck gekennzeichnet.

Da die Testleistungen einerseits und die Brain - Boy - Leistungen andererseits nicht altersunabhängig sind, kann es auf diese Weise zu Scheinkorrelationen kommen, das heißt, es werden Zusammenhänge vorgetäuscht, die in Wirklichkeit nur den gemeinsamen Einfluss des Alters auf die beiden Vergleichsmerkmale widerspiegeln.

Um diesen Effekt zu eliminieren wurden die Korrelationen als Partialkorrelationen berechnet, bei denen jeweils der Alterseffekt herauspartialisiert wurde.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 21 dargestellt:

Tabelle 21: Partialkorrelation der Brain – Boy – Parameter mit den übrigen Testwerten

	visuelle OS	auditive OS	Richtungs- hören	Tonhöhen- untersch.	Duration- Pattern- Test	Choice- Reaction- Time	Frequency- Pattern- Test
Zahlen vorwärts	-0,18	<b>-0,23</b>	0,04	<b>-0,42</b>	<b>-0,30</b>	-0,01	<b>-0,33</b>
Zahlen rückwärts	<b>-0,24</b>	<b>-0,31</b>	0,05	<b>-0,47</b>	<b>-0,33</b>	0,01	<b>-0,36</b>
Zahlen gesamt	<b>-0,24</b>	<b>-0,30</b>	0,05	<b>-0,49</b>	<b>-0,35</b>	-0,00	<b>-0,38</b>
Zahlensymboltest	<b>-0,23</b>	<b>-0,27</b>	-0,12	<b>-0,35</b>	<b>-0,26</b>	<b>-0,20</b>	<b>-0,32</b>
Wörtertrennen	<b>-0,24</b>	<b>-0,29</b>	-0,06	<b>-0,47</b>	<b>-0,43</b>	-0,15	<b>-0,37</b>
Symbolsuche gesamt	<b>-0,30</b>	<b>-0,23</b>	-0,18	<b>-0,21</b>	<b>-0,26</b>	<b>-0,23</b>	-0,15
visuelle OS	1,00	<b>0,66</b>	0,08	<b>0,27</b>	<b>0,34</b>	<b>0,27</b>	<b>0,44</b>
auditive OS	<b>0,66</b>	1,00	0,16	<b>0,33</b>	<b>0,28</b>	<b>0,32</b>	<b>0,34</b>
Richtungshören	0,08	0,16	1,00	0,01	<b>0,34</b>	-0,08	0,04
Tonhöhenunterscheidung	<b>0,27</b>	<b>0,33</b>	0,01	1,00	<b>0,34</b>	0,05	<b>0,55</b>
Duration-Pattern-Test	<b>0,34</b>	<b>0,28</b>	<b>0,34</b>	<b>0,34</b>	1,00	0,10	<b>0,45</b>
Choice-Reaction-Time	<b>0,27</b>	<b>0,32</b>	-0,08	0,05	0,10	1,00	0,09
Frequency-Pattern-Test	<b>0,44</b>	<b>0,38</b>	0,04	<b>0,55</b>	<b>0,45</b>	0,09	1,00
rechtes Ohr 0,25 kHz	0,02	0,04	0,11	0,12	<b>0,27</b>	-0,07	0,04
rechtes Ohr 0,5 kHz	0,02	0,08	<b>0,34</b>	0,05	<b>0,29</b>	-0,07	-0,09
rechtes Ohr 1 khz	-0,10	0,01	<b>0,29</b>	0,04	<b>0,20</b>	-0,11	-0,10
rechtes Ohr 2 kHz	0,01	0,01	0,13	0,03	0,17	-0,07	0,01
rechtes Ohr 3 kHz	0,11	-0,00	-0,06	-0,00	0,11	-0,07	0,16
rechtes Ohr 4 kHz	0,04	-0,05	-0,01	-0,09	0,05	-0,14	-0,00
rechtes Ohr 6 kHz	-0,12	-0,18	0,07	-0,11	0,02	-0,07	-0,07
rechtes Ohr 8 kHz	-0,14	-0,12	0,12	-0,09	-0,02	-0,03	0,02
linkes Ohr 0,25 kHz	0,02	-0,02	0,19	0,10	<b>0,22</b>	0,08	0,08
linkes Ohr 0,5 kHz	-0,11	-0,07	<b>0,23</b>	-0,01	0,16	-0,04	-0,13
linkes Ohr 1 khz	-0,05	0,04	0,19	-0,02	0,15	-0,05	-0,06
linkes Ohr 2 kHz	-0,15	-0,09	0,03	-0,06	-0,05	-0,14	-0,04
linkes Ohr 3 kHz	0,00	-0,01	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	0,11
linkes Ohr 4 kHz	0,05	0,04	<b>-0,20</b>	-0,14	-0,14	-0,04	-0,02
linkes Ohr 6 kHz	-0,08	-0,10	-0,12	-0,16	-0,12	0,06	-0,04
linkes Ohr 8 kHz	-0,15	-0,16	0,07	-0,10	-0,12	-0,02	-0,09

Bei der visuellen und auditiven Ordnungsschwelle sind die Korrelationen mit den kognitiven Leistungen überwiegend signifikant, allerdings mit negativer Korrelation. Da hohe kognitive Testergebnisse gute kognitive Funktionen widerspiegeln und hohe Ordnungsschwellenwerte jedoch schlechte Wahrnehmungsleistungen, sind diese Zusammenhänge durchaus plausibel, da eine negative Korrelation bedeutet,

dass hohen kognitiven Funktionen bessere Wahrnehmungsleistungen gegenüberstehen.

Bei dem Vergleich der übrigen Brain - Boy - Parameter mit der visuellen und auditiven Ordnungsschwelle finden sich überwiegend positiv signifikante Korrelationen.

Die Testergebnisse der Audiometrie sind nicht signifikant.

Beim Richtungshören findet sich ausschließlich eine signifikante Korrelation mit dem Duration-Pattern-Test sowie mit den auditiven Testergebnissen des rechten Ohres bei 0,5 und 1 kHz sowie des linken Ohres bei 0,5 und 4kHz.

Die Tonhöhenunterscheidung korreliert signifikant mit den kognitiven Leistungen. Ein Vergleich mit den anderen Brain - Boy - Parametern zeigt signifikante Zusammenhänge mit der visuellen und auditiven Ordnungsschwelle sowie mit dem Frequency-Pattern-Test. Die audiometrischen Testergebnisse weisen überwiegend keine signifikanten Zusammenhänge auf.

Bei dem Duration-Pattern-Test findet sich ebenfalls eine signifikante negative Korrelation mit den kognitiven Leistungen und überwiegend positive Korrelationen mit den anderen Brain - Boy - Parametern. Weiterhin zeigt sich eine positive signifikante Korrelation mit den audiometrischen Testergebnissen des rechten Ohres zwischen 0,25 und 1 kHz.

Der Choice-Reaktion-Time - Test zeigt kaum signifikante Korrelationen mit den anderen Testergebnissen. Nur die Korrelationen mit dem Zahlen - Symbol - Test sowie der Symbolsuche sind signifikant. Weiterhin findet sich eine positive Korrelation mit der visuellen und auditiven Ordnungsschwelle.

Der Frequency-Pattern-Test zeigt ebenfalls eine negative signifikante Korrelation mit den kognitiven Leistungen und eine überwiegend signifikant positive Korrelation

mit den anderen Brain - Boy - Parametern. Die Zusammenhänge mit den audiometrischen Testergebnissen sind erneut überwiegend nicht signifikant.

Zusammenfassend zeigen sich überwiegend signifikante negative Korrelationen der Brain - Boy - Parameter mit den kognitiven Leistungen, wobei das Richtungshören und der Choice-Reaktion-Time - Test keine Aussagen über kognitive Leistungen ermöglichen, da hier keine signifikanten Korrelationen vorliegen.

Beim Vergleich der Brain - Boy - Parameter untereinander weisen die visuelle und auditive Ordnungsschwelle die engsten Beziehungen zu den anderen Brain - Boy - Parametern auf.

Das Richtungshören fällt insgesamt heraus und ist kaum geeignet, Aussagen über andere Parameter zu machen.

Die audiometrischen Testergebnisse scheinen insgesamt nicht mit anderen Parametern signifikant zu korrelieren.

Des Weiteren wurde untersucht welchen Einfluss Koordinationsprobleme auf die erhobenen Testparameter haben.

In der folgenden Tabelle 22 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen getrennt für eine positive Anamnese bezüglich vorhandener Koordinationsprobleme sowie einer negativen Anamnese aufgeführt.

Tabelle 22: Mittelwertsvergleich aller Testparameter getrennt nach Koordinationsproblemen und Signifikanztest

	Koordinationsprobleme	N	Mittelwert	Standardabw.	T	df	Signifikanz
Zahlen vorwärts	ja	14	9,71	2,84	-0,71	98	0,48
	nein	86	10,17	2,15			
Zahlen rückwärts	ja	14	6,71	2,46	-0,85	98	0,40
	nein	86	7,29	2,35			
Zahlen gesamt	ja	14	16,43	5,00	-0,86	98	0,39
	nein	86	17,47	4,03			
Zahlensymboltest	ja	14	62,29	21,33	-1,82	98	0,07
	nein	86	71,41	16,75			
Wörtertrennen	ja	14	76,86	20,08	-0,05	98	0,96
	nein	86	77,17	21,37			
Symbolsuche gesamt	ja	14	34,43	5,54	-0,70	98	0,49
	nein	86	35,91	7,61			
visuelle Ordnungsschwelle	ja	14	7,40	3,10	0,14	98	0,89
	nein	86	7,29	2,70			
auditive Ordnungsschwelle	ja	14	9,05	3,38	0,20	98	0,84
	nein	86	8,86	3,27			
Richtungshören	ja	14	6,10	1,55	-1,18	98	0,24
	nein	86	7,07	2,99			
Tonhöhenunterscheidung	ja	14	4,04	2,56	0,61	98	0,54
	nein	86	3,66	2,14			
Duration-Pattern-Test	ja	14	8,63	2,30	-0,29	98	0,77
	nein	86	8,91	3,48			
Choice-Reaction-Time	ja	14	29,51	5,42	1,89	98	0,06
	nein	86	27,29	3,84			
Frequency-Pattern-Test	ja	14	10,86	5,21	0,54	98	0,59
	nein	86	10,03	5,24			
rechtes Ohr 0,25 kHz	ja	14	4,15	1,40	-0,52	98	0,60
	nein	86	4,31	1,04			
rechtes Ohr 0,5 kHz	ja	14	4,08	1,42	0,17	98	0,87
	nein	86	4,01	1,35			
rechtes Ohr 1 khz	ja	14	1,03	1,72	0,24	98	0,81
	nein	86	3,94	1,35			
rechtes Ohr 2 kHz	ja	14	4,38	2,07	1,37	98	0,17
	nein	86	3,73	1,57			
rechtes Ohr 3 kHz	ja	14	4,52	2,30	1,12	98	0,26
	nein	86	3,92	1,76			
rechtes Ohr 4 kHz	ja	14	4,73	2,25	0,88	98	0,38
	nein	86	4,24	1,86			
rechtes Ohr 6 kHz	ja	14	4,93	2,90	1,14	98	0,26
	nein	86	4,26	1,85			
rechtes Ohr 8 kHz	ja	14	5,62	2,56	1,93	98	0,06
	nein	86	4,41	2,11			
linkes Ohr 0,25 kHz	ja	14	3,98	1,09	0,47	98	0,64
	nein	86	3,82	1,17			
linkes Ohr 0,5 kHz	ja	14	3,94	1,30	0,32	98	0,75
	nein	86	3,81	1,37			
linkes Ohr 1 khz	ja	14	4,14	1,48	0,72	98	0,47
	nein	86	3,82	1,52			
linkes Ohr 2 kHz	ja	14	4,21	1,95	1,27	98	0,21
	nein	86	3,59	1,65			
linkes Ohr 3 kHz	ja	14	4,59	2,31	1,50	98	0,14
	nein	86	3,77	1,81			
linkes Ohr 4 kHz	ja	14	4,87	2,74	1,18	98	0,24
	nein	86	4,19	1,85			
linkes Ohr 6 kHz	ja	14	5,33	2,90	1,53	98	0,13
	nein	86	4,42	1,92			
linkes Ohr 8 kHz	ja	14	5,52	2,51	1,76	98	0,08
	nein	86	4,46	2,02			

Sie unterscheiden sich nicht wesentlich. Die Unterschiede zwischen diesen Mittelwerten wurden mit Hilfe des t - Test für unabhängige Stichproben auf Signifikanz geprüft und erwiesen sich in keinem Fall als statistisch signifikant.

Das heißt, Personen mit Koordinationsproblemen erzielen in keinem der erhobenen Parameter schlechtere oder bessere Leistungen als Personen ohne Koordinationsprobleme.

In einem weiteren Auswertungsschritt wurden die Untersuchungsergebnisse der Probanden, die während ihrer Schulzeit an Leserechtschreibschwäche gelitten hatten (N = 17) mit jenen Probanden verglichen, die keine Leserechtschreibschwäche im Schulalter hatten (N = 83).

Die statistische Auswertung mithilfe des t- Test für Mittelwertsvergleiche für unabhängige Stichproben ergab bei insgesamt 29 Signifikanztests drei signifikante Mittelwertsunterschiede, die auf dem 5% Niveau signifikant waren und zwar für die visuelle Ordnungsschwelle und für jeweils 3 und 4 kHz des rechten Ohres (s. Tab. 23).

Tabelle 23: Mittelwertsvergleich aller Testparameter getrennt nach Leserechtschreibschwäche (LRS) als Kind und Signifikanztest

	LRS als Kind	N	Mittelwert	Standardabw.	T	df	Signifikanz
<b>visuelle OS</b>	ja	17	5,99	1,47	-2,21	98	0,03
	nein	83	7,57	2,87			
<b>rechtes Ohr 3 kHz</b>	ja	17	3,13	1,78	-2,19	98	0,03
	nein	83	4,18	1,81			
<b>rechtes Ohr 4 kHz</b>	ja	17	3,29	1,79	-2,46	98	0,02
	nein	83	4,52	1,89			

Eine Interpretation dieser Befunde ist schwierig. Zum einen liegen die Testwerte der Probanden mit Leserechtschreibschwäche etwas höher als die Testwerte bei Probanden ohne Leserechtschreibschwäche, was nicht im Sinne der Hypothese wäre. Andererseits kann man hieraus aber auch nicht schließen, dass die Probanden mit Leserechtschreibschwäche insgesamt stärkere Defizite in diesen Bereichen aufweisen, vielmehr muss hier berücksichtigt werden, dass hier multiple Signifikanzberechnungen durchgeführt wurden, sodass das eine oder andere schwach signifikante Ergebnis durchaus per Zufall erwartet werden kann. Von der Höhe der



Unterschiede und der Anzahl der Signifikanzen her muss man insgesamt die Hypothese beibehalten, dass die Probanden mit Leserechtschreibschwäche in der Schulzeit keine auffällig anderen Ergebnisse in den Low-Level-Funktionen oder in den Hörtests erzielen als die Probanden ohne Leserechtschreibschwäche.

Für die weiteren in Stichprobenbeschreibung dargestellten Parameter wie die Händigkeit und die Hörgeräteträger lässt sich keine methodisch einwandfreie Signifikanz errechnen, da die Teilstichproben zu gering ausgefallen sind.

## 5. Diskussion

Die Untersuchung von Low-Level-Funktionen stieß in den vergangenen Jahren vermehrt auf das Interesse der neurophysiologischen Grundlagenforschung und im Anwendungsbereich vor allem bei der Sprachheilpädagogik und der Behandlung von Lese-Rechtschreibstörungen bei Kindern und Erwachsenen. Nach Ptok (2000) bilden die Low-Level-Funktionen die unterste Stufe der sprachlichen Kompetenz. Ihre Beeinträchtigung führt zu Störungen der basalen auditiven Verarbeitung akustischer Reize, was wiederum zu Störungen der darüber angesiedelten Funktionen, wie beispielsweise die phonologische, lexikalisch-semantische und morphologisch-syntaktische Verarbeitungsfähigkeit führen kann. Die Verarbeitung von akustischen Reizen auf der Low-Level-Ebene, wie beispielsweise die Zeit- und Frequenzauflösung, findet in der Regel vorbewusst statt. Intakte Low-Level-Funktionen scheinen die Voraussetzung für Automatisierungsprozesse beim Lesen und Schreiben zu sein (Ptok, 2000; Tewes et al., 2003). Sie wurden daher überwiegend bei Kindern und Jugendlichen untersucht. Die vorliegende Arbeit stellt einen ersten Versuch dar, Low-Level-Funktionen und deren klinische Bedeutung auch an Erwachsenen zu untersuchen. Die Untersuchung geht von der Hypothese aus, dass ein messbares Low-Level-Defizit verschiedenen klinisch relevanten Defiziten entspricht. Dabei könnte es sich z.B. um eine Aufmerksamkeitsstörung, eine Kommunikationsstörung oder sogar einen neurophysiologisch messbaren Parameter, wie z.B. eine verzögerten NLG, handeln.

In der vorliegenden Arbeit konnten Zusammenhänge von Low-Level-Defiziten mit psychologischen Parametern nachgewiesen werden, wobei sich vor allem hochsignifikante Zusammenhänge des Arbeitsgedächtnisses und der Arbeitsgeschwindigkeit mit den Low-Level-Defiziten ergaben (s. Tab. 21).

Bei der Auswertung der Daten ergaben sich linksschiefe Verteilungen der Leistungen in allen Low-Level-Funktionen. Dies bedeutet, dass die gemessenen Testwerte sich nicht symmetrisch um den Mittelwert verteilen, sondern dass niedrige Testwerte, die

guten Wahrnehmungsleistungen entsprechen, wahrscheinlicher sind als hohe Testwerte für schlechte Wahrnehmungsleistungen. Ein möglicher Grund für diese Linksschiefe könnte darin bestehen, dass es für gute Leistungen eine obere, wahrnehmungsphysiologische Grenze gibt, während Leistungsbeeinträchtigungen je nach Schweregrad zu beliebig langen Reaktionsverzögerungen führen können. Interessanterweise ließen sich jedoch alle Messwertverteilungen durch Radizierung normalisieren. Dieses könnte wiederum eher auf eine biologische oder neurologische Ursache hindeuten. Ähnliche Verteilungen sind schon seit langem aus der Psychophysik bekannt (Weber, 1834; Fechner, 1860). Anscheinend unterliegen auch die darauf aufbauenden höheren Funktionen einer „Quadratwurzelregel“ (Nicolson, 2001), der zu Folge die Lernfortschritte bei Personen mit Dyslexie um einen zeitlichen Faktor verlängert sind, der sich aus der Lerndauer unauffälliger Personen, multipliziert mit dessen Quadratwurzel, ergibt.

Dass sich die Testergebnisse in den Low-Level-Funktionen mit zunehmendem Alter verschlechterten, war zu erwarten gewesen, da mit zunehmendem Alter eine allgemeine Verlangsamung neurophysiologischer Prozesse eintritt und diese vermutlich zu schlechteren Testwerten führt. Interessanterweise ergab sich bei mehreren Funktionen aber auch eine zusätzliche Abhängigkeit von der Schulbildung. Mit Ausnahme des Richtungshörens und der Choice-Reaction-Time waren die Testergebnisse umso besser, je höher die Schulbildung der Probanden war. Mithilfe der Zweiwegvarianzanalyse konnte aufgezeigt werden, dass beide Einflussgrößen additiv wirken. Eine Altersabhängigkeit der Low-Level-Werte wurde bereits bei Kindern in einer Untersuchung von Mülle (2003) nachgewiesen, wengleich sich in dieser Untersuchung an Heranwachsenden eine Verbesserung der Werte mit steigendem Alter zeigte. Auch hierfür wurden neurophysiologische Reifungsprozesse verantwortlich gemacht werden. Offensichtlich scheinen die basalen Low-Level-Funktionen von Hirnreifungsprozessen bei Heranwachsenden und entsprechend entgegengesetzten Prozessen bei alternden Probanden abzuhängen. Die Abhängigkeit der Low-Level-Werte von der Schulbildung ist jedoch auf den ersten Blick überraschend. Möglicherweise hat er etwas mit der Trainierbarkeit der Low-Level-Funktionen zu tun, die an Jugendlichen schon in einer

Studie von Michalski und Tewes (2001) nachgewiesen werden konnte. Da Probanden mit höherer Schulbildung im Allgemeinen mehr kognitive Leistungen erbringen müssen und diese auch im höheren Lebensalter weiter geistig aktiv bleiben, könnte sich hierüber ein positiver Effekt auf die Testleistung auswirken. Betrachtet man einzelne Messungen von älteren Probanden mit hoher Schulbildung, die weiterhin geistig sehr aktiv sind, so bestätigt sich diese Tendenz. Die Tatsache, dass die Testergebnisse für die Low-Level-Funktionen nicht geschlechtsspezifisch ausfielen deckt sich mit den Ergebnissen aus früheren Untersuchungen. So fand beispielsweise auch Mülle (2003) an 382 Kinder ebenfalls keine geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Von besonderer Bedeutung scheint das zeitliche Auflösungsvermögen zu sein. Gute Testwerte bei der visuellen und auditiven Ordnungsschwelle, sowie der Choice-Reaction-Time entsprachen guten Testleistungen bei den kognitiven Merkmalen. Intakte Low-Level-Funktionen scheinen somit die intelligenzbezogene Arbeitsgeschwindigkeit auch bei Erwachsenen zu erhöhen.

Hingegen zeigten die Testergebnisse der Audiometrie keine Zusammenhänge mit den Low-Level-Werten. Ein schlechtes Gehör scheint somit nicht zu einer Beeinträchtigung der Low-Level-Werte zu führen. Dieses Ergebnis lässt sich allerdings nicht verallgemeinern, sondern könnte eher stichprobenspezifisch sein, da der Anteil der schlecht hörenden Probanden in der hier untersuchten Stichprobe sehr gering war. Andererseits zeigte die Fallanalyse eines Probanden, der seit Kindheit an ein Hörgerät trägt, dass dieser sowohl überdurchschnittlich gute Ergebnisse im Hörtest als auch in den Low-Level-Werten erzielte. Dies könnte ein Hinweis auf mögliche Kompensationsmechanismen sein. Andererseits ist diese Person sowohl jung als auch gebildet und da sich hierdurch, wie bereits erwähnt, ein additiver Effekt ergibt, könnten diese Faktoren ebenfalls von Bedeutung gewesen sein.

Die weiteren Validierungskriterien erwiesen sich für die hier untersuchte Stichprobe als weitgehend bedeutungslos. Beispielsweise erzielten Personen mit Koordinationsproblemen in keinem der erhobenen Parameter schlechtere oder

bessere Leistungen als Personen ohne Koordinationsprobleme. Bei der Erhebung dieses Parameters wurde nach Stürzen, länger als einer Woche anhaltendem Schwindel und Gangunsicherheit gefragt. Hierbei subsumieren sich somit verschiedene Ereignisse, wenngleich das vestibuläre System grundsätzlich beteiligt ist. Dabei ist allerdings die Fallzahl positiver Antworten recht klein und die statistische Aussagekraft somit eher gering.

Untersuchungen von Low-Level-Funktionen bei Kindern und Jugendlichen wurden meistens im Zusammenhang mit Lese-Rechtschreibschwäche durchgeführt. Die hier durchgeführte Untersuchung bezog sich nicht speziell auf die Frage des Zusammenhangs von Lese-Rechtschreibschwäche und Low-Level-Funktionen. Trotzdem wurde nach diesen Problemen gefragt. 17 Probanden gaben an, während ihrer Schulzeit an einer Lese-Rechtschreibschwäche gelitten zu haben. In den Untersuchungsergebnissen unterschieden sie sich jedoch kaum von den anderen Probanden. Bei der visuellen Ordnungsschwelle erzielten sie sogar etwas bessere Leistungen als die anderen Probanden. Insgesamt scheint es allerdings auch keinen Sinn zu ergeben, die Ergebnisse von Low-Level-Bestimmungen an Erwachsenen mit biografischen Merkmalen aus der Kindheit zu vergleichen, da es sich bei Low-Level-Funktionen nicht um stabile Eigenschaften wie beispielsweise Begabungsmerkmale handelt. Die Funktionen ändern sich in kürzeren und längeren Zeitabständen und aus den heutigen Untersuchungsergebnissen lassen sich keine Rückschlüsse darauf ziehen, welche Low-Level-Leistungen diese erwachsenen Personen möglicherweise in ihrer Kindheit erzielt hätten

Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse lassen für sich allein genommen noch keine Rückschlüsse darauf zu, ob die Bestimmung von Low-Level-Funktionen bei Erwachsenen diagnostisch relevante Informationen ergeben würde. Allerdings sollte festgehalten werden, dass die Leistungen in diesen Funktionsbereichen neben ihrer Altersabhängigkeit auch Zusammenhänge mit der Bildung und verschiedenen für die Intelligenz relevanten kognitiven Funktionen aufweisen. Vor dem Hintergrund weiterer Forschungsergebnisse zu diesen Fragestellungen erscheint es durchaus sinnvoll, diesen Ansatz weiter zu verfolgen.

Über die Zusammenhänge zwischen Beeinträchtigungen von Low-Level-Funktionen und Störungen höherer kognitiver Funktionen, insbesondere der Schreib- und Lesefähigkeit gibt es inzwischen zahlreiche Studien. So wurden in den letzten Jahren vermehrt Befunde berichtet, denen zufolge Kinder mit Lese- oder Leserechtschreibschwäche Probleme damit haben, schnelle Abfolgen von akustischen und visuellen Reizen korrekt zu identifizieren. So stellten beispielsweise Stein, Talcott und Witton (2001) fest, dass Personen mit Dyslexie vermehrt Probleme damit haben, Frequenzmodulationen von 2, 20 und 40 Hz im Bereich von Tönen um 500 Hz zu erkennen. Außerdem hatten sie Schwierigkeiten, Amplitudenveränderungen von Tönen wahrzunehmen. Die betreffenden Personen reagieren somit weniger sensibel auf sequenzielle Lautveränderungen, sie haben Probleme damit, Buchstabefolgen korrekt wahrzunehmen. Van der Leij, Lytinen und Zwarts (2001) bringen zahlreiche Beispiele dafür, dass leseschwache Kinder schlechter zwischen phonematischen Kategorien unterscheiden und dass sie auch Probleme damit haben, zwischen schnell wechselnden visuellen Stimuli zu unterscheiden. Eden et. al. (2004) erläutern, dass das wesentliche Merkmal, in dem sich diese Kinder von anderen unterscheiden darin besteht, dass sie die Laute der gesprochenen Wörter nicht hinreichend segmentieren bzw. unterscheiden und manipulieren können. Johnson, Peer und Lee (2001) nehmen als Ursache für diese Differenzierungsschwäche periphere Wahrnehmungsstörungen in sensiblen Entwicklungsphasen an, beispielsweise akute Hörprobleme bei häufigen Innenohrerkrankungen im Vorschulalter. Tallal (2004) konnte experimentell nachweisen, dass bei Kindern und Erwachsenen mit Leseschwäche die Aktivitäten im linkshemisphärische Sprachzentrum vermindert sind und durch das Training verstärkt werden können, was dann eine Verbesserung der Leseleistung zur Folge hat.

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch Untersuchungen die sich sowohl mit der Wahrnehmung und Verarbeitung schneller auditiver sprachlicher als auch nichtsprachlicher Reize befassen. Von diesen Untersuchungen sind genauere Erkenntnisse darüber zu erwarten, welche Regionen des Gehirns an diesen Prozessen beteiligt sind, wie sie miteinander interagieren und auf diese Weise zu

---

einer Automatisierung der Verarbeitungsprozesse beitragen. So konnten beispielsweise Zaehle, Wüstenberg, Meyer und Jäncke (2004) erstmals nachweisen, dass es ein gemeinsames neuronales Netzwerk für die schnelle zeitliche Informationsverarbeitung im Hörbereich für sowohl sprachliche als auch nichtsprachliche Signale gibt, das in den linken superioren temporalen Arealen liegt.

Auch wenn man davon ausgehen muss, dass die Zukunft dieses Forschungsgebiets in erster Linie durch die neurophysiologische Grundlagenforschung mit ihren Methoden der ereigniskorrelierten Potenziale und der bildgebenden Verfahren liegen wird, ist doch zu bedenken, dass in diesem Zusammenhang auch Leistungsmerkmale im kognitiven und physiologischen Bereich bestimmt werden müssen, für deren Erfassung die hier vorgelegte Studie als Beispiel dienen kann.

## 6. Zusammenfassung

Die hier dargestellte Untersuchung beschäftigt sich mit der Frage, ob bei Erwachsenen Zusammenhänge zwischen Low-Level-Defiziten, der zentralen Hörverarbeitung, peripherem Hörschaden und kognitiven Fähigkeiten bestehen.

Durch zusätzliche Erfassung anamnestischer Daten sollten mögliche weitere Wechselwirkungen der Low-Level-Funktionen mit psychosozialen und medizinischen Parametern geprüft werden. An einer Stichprobe von 100 Probanden im Lebensalter zwischen 20 und 70 Jahren beiderlei Geschlechts wurden sieben verschiedene Low-Level-Funktionen mit Hilfe eines von der Firma Meditech entwickelten Testgeräts, dem Brain-Boy-Universal, untersucht. Die Erfassung eines peripheren Hörschadens erfolgte mittels einer Hörschwellenaudiometrie, die Erfassung kognitiver Merkmale mittels psychologischer Testverfahren und die Erfassung anamnestischer Daten mit einem Fragebogen.

Die Untersuchung der Merkmalszusammenhänge erfolgte mit Hilfe von Produkt-Moment-Korrelationen. Mittelwertsunterschiede wurden mit mehrfaktoriellen Varianzanalysen und t-Tests für unabhängige Stichproben untersucht. Dabei ergab sich eine Abhängigkeit der Low-Level-Funktionen vom Lebensalter, wie sie bereits bei Untersuchungen von J. Mülle an 382 Kindern im Alter von 5 bis 12 Jahren gefunden wurde (Mülle, 2003). Weiterhin zeigt sich eine Abhängigkeit der Funktionen von der Schulbildung. Beide Faktoren, Lebensalter und Schulbildung, haben einen additiven Einfluss auf die Low-Level-Werte. Ein deutlicher Zusammenhang zeigt sich auch zwischen verschiedenen kognitiven Parametern und den Low-Level-Werten.

Alle anderen hier erfassten Parameter hatten keinen Einfluss auf die Low-Level-Funktionen, wobei allerdings berücksichtigt werden muss, dass die Fallzahl der linkshändigen Probanden, der Probanden mit Koordinationsproblemen und solcher mit peripheren Hördefiziten insgesamt recht klein geblieben ist, so dass die hierzu erfassten Zusammenhänge mit einer größeren Probandenzahl überprüft werden müssten. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich die Leistungen in den Low-Level-Funktionen mit zunehmendem Lebensalter verschlechtern. Die Fähigkeit



---

zur zentralen Wahrnehmungsverarbeitung scheint also im höheren Lebensalter abzunehmen. Da diese Fähigkeit positiv mit dem Konzentrationsvermögen korreliert, bleibt die Frage zu klären, ob es sich hierbei um eine eher biologisch erklärbare Leistungsabnahme in der Wahrnehmungsverarbeitung bei älteren Menschen handelt oder eher um eine Folge der mit zunehmendem Alter stärkeren Beeinträchtigung des Konzentrationsvermögens.

## 7. Literaturverzeichnis

**Abeles, M., Goldstein, M.H. Jr.** (1970) Functional architecture in cat primary auditory cortex columnar organization and organization according to depth. *Journal of Neurophysiol.* Jan 33(1): 172-187

**Arnold, G.E.** (1951) Die Untersuchung zentraler Hörstörungen mit neuen Hörprüfmethoden. *Arch. Ohren-, Nasen-, und Kehlkopfheilkunde:* 157, 521

**Baldauf, J., Göpfert, S.** (1998) Ein pädaudiologisch initiiertes interdisziplinäres Therapiekonzept. *Zeitschrift für Audiologie Supplementum I:* 98-100

**Bamiou, D.E., Musiek, F.E., Luxon, L.M.** (2001) Aetiology and clinical Presentations of auditory processing disorders - a review. *Arch. Dis. Child.* 85: 361-365

**Bekesy, G.V., Lempert, J.** (1959) Improvement of sound transmission in the fenestrated ear by the use of shearing forces. *Trans Am Laryngol Rhinol Otol Soc. Jan:* 190-201

**Bess, F.H., Humes, L.E.** (1995) Audiology - the fundamentals. *Baltimore: 2. Aufl. edn. Williams und Wilkins*

**Bellis, T.J.** (1996) Assessment and management of central auditory processing disorders in the educational setting - from science to practice. *San Diego: Singular*

**Bortz, J.** (2005) Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. *Heidelberg: Springer, 6. Auflage*

**Brugge, J.F., Merzenich, M.M.** (1973) Responses of neurons in auditory cortex of the macaque monkey to monaural and binaural stimulation. *Journal of Neurophysiol. Nov* 36(6): 1138-1158

- Busch, W.J., Waugh, K.W.** (1971) Diagnosing learning disabilities. *Columbia/Ohio: 2<sup>nd</sup> ed. Merrill*
- Buller, N., Ptok, M.** (2001) Basale und auditive Verarbeitungsfähigkeit und phonologische Bewusstheit im Vorschulalter. *Vortrag zur 1. Jahrestagung der Gesellschaft für Aphasieforschung – und behandlung in Bielefeld vom 1. – 3.11.2001*
- Campbell, N., Hugo, R., Uys, I., Hanekom, J., Millard, S.** (1995) Early recurrent otitis media, language and central auditory processing in children. *S-Afr-J-Commun-Disord. 4: 73-84*
- Chermak, G.D., Musiek, F.E.** (1997) Central auditory processing disorders - new perspectives. *San Diego: Singular*
- Culler, E.A., Coakley, J.D., Lowy, K., Gross, N.** (1943) A revised frequency – map of the guinea – pig cochlea. *American Journal of Psychology 56: 475-500*
- Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin** (2001) Leitlinien Kinderheilkunde und Jugendmedizin. *München: Urban und Fischer*
- Durlach, N.I., Colburn, H.S.** (1978) Binaural phenomena. *In Handbook of perception, Hrsg., Bd. 4: 365-466*
- Eden, G.F., Jones, K.M., Cappell, K., Gereau, L., Wood, F.B., Zeffiro, D.A., Dietz, N.A.E., Agnew, J.A. & Flowers, D.L.** (2004). Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia. *Neuron 44: 411-422*
- Esser, G.** (1994) Zentrale Hör- und Wahrnehmungsstörungen. *In: P. Plath (Hrsg.) Zentrale Hörstörungen. Materialsammlung des 7. multidisziplinären Kolloquiums der GEERS-Stiftung. Schriftenreihe der GEERS-Stiftung Bd 10: 11-33*

- Fritze, W., Gloning, K., Lessel, M.R.** (1973) Testing equipment in sound-localization in the vertical scale. *Acta Otolaryngologica*. Oct 76(4): 273-276
- Fujisaki, H., Kawashima, T.** (1970) Some experiments on speech perception and a model for the perceptual mechanisms. *Annual Report of the Engineering Research Institute, Faculty of Engineering, University of Tokyo* 29: 207-214
- Gardner, M.B., Gardner, R.S.** (1973) Problem of localization in the median plane: effect of pinnae cavity occlusion. *Journal of the Acoust. Soc. Of Am.*. Feb 53(2): 400-408
- Gravel, J.S., Wallace, I.F., Ruben, R.J.** (1996) Auditory consequences of early mild hearing loss associated with otitis media. *Acta-Otolaryngol-Stockh.*. Mar 116(2): 219-221
- Greiner, G., Conreaux, C.** (1977) Neurogene und zentrale Hörstörungen. In: J. Berendes, R. Link und F. Zöllner (Eds.), Stuttgart: Thieme, Hals-Nasen-Ohrenheilkunde in Praxis und Klinik, 2. Auflage ed., vol. III/3.: 2113ff.
- Hall, J.L.** (1965) Binaural Interaction in the Accessory Superior-Olivary Nucleus of the Cat. *Journal of the Acoustical Society of America*. May 37: 814-823
- Hellgren, L., Gillberg, I.C., Bagenholm, A., Gillberg, C.** (1994) Children with deficits in attention, motor control and perception (DAMP) almost grown up: psychiatric and personality disorders at age 16 years. *J. Child. Psychol. Psychiatry* 35: 1255-1271
- Hesse, G., Nelting, M., Mohrmann, B., Laubert, A., Ptok, M.** (2001) Die stationäre Intensivtherapie bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen im Kindesalter. *HNO* 8: 636-641

**Hesse, G., Nelting, M., Brehmer, D., Lemmermann, E., Ptok, M.** (1998) Benefit-, Effektivitäts- und Effizienznachweis therapeutischer Verfahren bei zentral auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. *Sprache, Stimme, Gehör* 22: 194-198

**Ilmberger, J.** (1986) Auditory Excitability Cycles in Choice Reaction Time and Order Threshold. *Naturwissenschaften* 73: 743-744

**Jacobson, G.P.** (1994) Magnetoencephalographic Studies of Auditory System Function. *Journal of Clinical Neurophysiology* 11 (3): 343-364

**Jäncke, L., Gaab, N., Wüstenberg, T., Scheich, H., Heinze, H.J.** (2001) Short-term functional plasticity in the human auditory cortex: an fMRI study. *Cogn. Brain. Res.* Dec 12(3): 479-485

**Jerger, J., Musiek, F.** (2000) Report of the Consensus Conference on the Diagnosis of Auditory Processing Disorders in School-Aged Children. *J. Am. Acad. Audiol.* 11: 467-474

**Johnson, M., Peer, L. und Lee, R.** (2001) Pre-school children and dyslexia: *Policy, identification and intervention.* In A.J. Fawcett (ed.). *Dyslexia: Theory and good practice*: 231-250. London: Whurr Publishers

**Katz, J., Stecker, N., Donald, H.** (1992) Central auditory processing - a transdisciplinary view. *Mosby, St. Louis*

**Kelly, J.P.** (1991) Herausg. *Principles of neural science.* Hrsg., 3. Auflage: 481-499

**Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M., Naatanen, R.** (2001) Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U S A.* Aug 28, 98(18): 10509-10514

- Lauer, N.** (1999) Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter – Grundlagen – Klinik – Diagnostik – Therapie. *Stuttgart: Thieme*
- Lehnhardt, E., Laszig, R.** (2000) Praxis der Audiometrie. *New York, Stuttgart: Thieme, 8.Auflage*
- Leicher, H.** (1982) Über die Verarbeitung optischer und akustischer Sinneseindrücke im Gehirn, Teil 2. *Laryngo-Rhino-Otologie 61 (12): 653-662*
- Liebermann, M.C.** (1978) Auditory – nerve response from cats raised in a low – noise chamber. *Journal of the Acoustical Society of America 63: 442-455*
- Matzker, J., Springborn, E.** (1958) Richtungshören und Lebensalter. *Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie, Otologie und ihre Grenzgebiete 37: 739-745*
- Matzker, J., Welker, H.** (1959) Die Prüfung des Richtungshörens zum Nachweis und zur topischen Diagnostik von Hirnerkrankungen. *Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie, Otologie und ihre Grenzgebiete 38 (5): 277-294*
- Meyer, J.** (1979) Zur Tonhöhenempfindung bei musikalischen Klängen in Abhängigkeit vom Grad der Gehörschulung. *Acustica 4 (42): 189-204*
- Michalski, S., Tewes, U.** (2001) Zentrale Hörstörungen nachweislich trainierbar ? *Hörakustik 10: 98 – 106*
- Mülle, J.** (2003) Analyse des Einflusses von Geburtsgewicht, Geburtsgröße, Otitis media und dem Spielen eines Musikinstrumentes auf sieben basale Fähigkeiten der zentralen Seh- und Hörverarbeitung bei normalhörenden Kindern im Vor- und Grundschulalter. *Dissertation an der Medizinischen Hochschule Hannover*
- Musiek, F.E.** (1994) Frequency (pitch) and duration pattern tests. *Journal of the American Academy of Audiology. Jul 5(4): 265-268*

**Musiek, F.E., Pinheiro, M.L.** (1987) Frequency Patterns in Cochlear, Brainstem, and Cerebral Lesions. *Audiology* 26: 79-88

**Nickisch, A.** (1999) Ordnungsschwellenwerte im Vor- und Grundschulalter. *Sprache, Stimme, Gehör* 23: 63-70

**Nicolson, R.I., Fawcett, A.J.** (1993) Reaction Times and Dyslexia. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 47a (1): 29-48

**Nicolson, R.I.** (2001) Developmental dyslexia: into the future. In A.J. Fawcett (ed.). *Dyslexia: Theory and good practice: 1-36*. London: Whurr Publishers

**Palmer, A.R., Evans, E.F.** (1979) On the peripheral coding of the level of individual frequency components of complex sounds at high sound level. In O. Creutzfeld, H. Scheich und C. Schreiner (Hrsg), *Hearing mechanisms and speech*. Berlin: Springer Verlag

**Pöppel, E.** (1985) Grenzen des Bewußtseins. *Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt*

**Pöppel, E., Schill, K., Steinbüchel, N.** (1990) Sensory Integration within Temporally Neural System States: A Hypothesis. *Naturwissenschaften* 77: 89-91

**Ptok, M.** (2000) Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen und Legasthenie. *Hessisches Ärzteblatt* 2: 52-54

**Ptok, M., Berger, R., Deuster, C.v., Gross, M., Lamprecht- Dinnesen, A., Nickisch, A., Radü, H.J., Uttenweiler, V.** (2000) Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. Konsensus-Statement. *HNO* 48 (5): 357-360

**Ptok, M., Ptok A.** (1996) Audiometrie im Säuglings- und Kindesalter, Teil 4: Untersuchungen zur auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung. *HNO Aktuell* 4: 271-276

**Ptok, M.** (1997) Das schwerhörige Kind. *Deutsches Ärzteblatt* 94: 1932-1937

**Ptok, M., Fischer, B.** (2000) Developmental aspects of low level auditory skills. *Association for Research in Otolaryngology, Abstract: 94*

**Rose, J.E., Brugge, J.F., Anderson, D.J., Hind, J.E.** (1967) Phase-locked response to low-frequency tones in single auditory nerve fibers of the squirrel monkey. *Journal of Neurophysiol.* Jul 30(4): 769-793

**Sawusch, J.R.** (1977) Peripheral and central processes in selective adaptation of place of articulation in stop consonants. *J. Acoust. Soc. Am.* 62: 738-750

**Sawusch, J.R., Gagnon, D.A.** (1995) Auditory coding, cues, and coherence in phonetic perception. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 21: 635-652

**Schönweiler, R., Ptok, M.** (2000) *Phoniatrie und Pädaudiologie. Hannover, 2. Auflage*

**Schorn, K., Stecker, M.** (1994) Hörprüfungen. In: H.H. Naumann, J. Helms, C. Herberhold and C. Kastenabuer (Eds.), *Stuttgart: Thieme, Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis, Vol. 1.: 309-368*

**Simkens, H., van Velzen, E.** (1994) Auditive Funktionen bei sprachbehinderten Kindern. In: P. Plath (Hrsg.) *Zentrale Hörstörungen. Materialsammlung des 7. multidisziplinären Kolloquiums der GEERS-Stiftung. Schriftenreihe der GEERS-Stiftung Bd 10: 93-109*

**Stein, J., Talcott, J., Witton, C.** (2001) The sensorymotor basis of developmental dyslexia. In A.J. Fawcett (ed.). *Dyslexia: Theory and good practice: 65-88. London: Whurr Publishers*

**Sussman, J.E.** (1993) Focused attention during selective adaptation along a place of articulation continuum. *J. Acoust. Soc. Am.* 93: 488-498



- Tallal, P.** (2004) Improving language and literacy is a matter of time. *Neuroscience* 5: 721-728
- Tewes, U., Rossmann, P., Schallberger, U.** (1999) Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder (HAWIE-III). *Bern: Huber*
- Tewes, U., Steffen, S., Warnke, F.** (2003) Automatisierungsstörungen als Ursache von Lernproblemen. *Forum Logopädie, Ausgabe 1/2003*
- Tewes, U., Thurner, F.** (1976) Testbatterie grammatische Kompetenz. *Göttingen: Hogrefe*
- Thompson, N.C., Cranford, J.L., Hoyer, E.** (1999) Brief-tone frequency discrimination by children. *Journal of Speech, Language and Hearing Research. Oct 42 (5): 1061-1068*
- Uttenweiler, V.** (1995) Diagnostik zentraler Hörstörungen - Audiologische Verfahren. In: P. Plath (Hrsg.) *Zentrale Hörstörungen. Materialsammlung des 7. multidisziplinären Kolloquiums der GEERS-Stiftung. Schriftenreihe der GEERS-Stiftung Bd 10: 52-75*
- Uttenweiler, V.** (1996) Diagnostik zentraler Hörstörungen, auditiver Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen. *Sprache, Stimme, Gehör 20: 80-90*
- Van der Lij, A., Lyytinen, H., Zwarts, F.** (2001) The study of infant cognitive processes in dyslexia. In A.J. Fawcett (ed.). *Dyslexia: Theory and good practice: 160-182. London: Whurr Publishers*
- Weber, E.H.** (1834) De pulsu resorptione
- Weiß, C.** (2001) Basiswissen Medizinische Statistik. *Heidelberg: Springer Verlag, 2. Auflage*

---

**Whitfield, I.C., Evans, E.F.** (1965) Responses of Auditory cortical neurons to stimuli of changing frequency. *Journal of Neurophysiol.* Jul 28: 655-672

**Warnke, F.** (1999) Der Takt des Gehirns. *Dortmund: Borgmann Publishing GmbH, 2. Auflage*

**Warnke, F.** (1995) Was Hänschen nicht hört...: Elternratgeber Lese-Rechtschreib-Schwäche. *Freiburg: VAK-Verlag, 2. Auflage*

**Zaehle, T., Wüstenberg, T., Meyer, M., Jäncke, L.** (2004). Evidence for rapid auditory perception as the foundation of speech processing: a sparse temporal sampling fMRI study. *European Journal of Neuroscience*