

3. Material und Methoden

3.1 Versuchspersonen

3.1.1 Normalentwickelte Schulkinder

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 82 Schulkinder der 2. und 3. Grundschulklasse aus unterschiedlichen Berliner Bezirken (Wilmersdorf, Schöneberg, Zehlendorf) im Alter von 7,10

Jahre bis 10,5 Jahre (mittleres Alter 8 Jahre und 11 Monate; Alters- und Geschlechtsverteilung (s. Abb. 1) in die Studienauswertung für das Normalkollektiv für die Auswertung der ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) aufgenommen. Folgende

Einschlusskriterien galten für das Normalkollektiv: unauffälliges peripheres Hörvermögen, keine

intellektuelle Minderbegabung, keine LRS oder bestehende SES, keine Erkrankungen des ZNS, keine internistischen oder sonstigen Grunderkrankungen, die zu einer Einschränkung der bisherigen Entwicklung geführt haben. Die Studie wurde vor ihrem Beginn von der Ethikkommission des Universitätsklinikums Benjamin Franklin der Freien Universität Berlin genehmigt. Die Kinder der angesprochenen Grundschulen nahmen nach ausführlicher Information und mit schriftlichem Einverständnis der Eltern auf freiwilliger Basis teil.

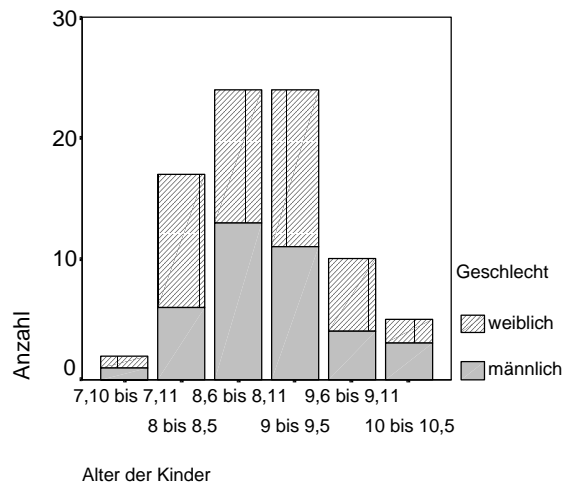


Abb. 1: Alters- und Geschlechtsverteilung der normalentwickelten Schulkinder

3.1.2 Erwachsene Kontrollpersonen

Bei 10 normalhörigen, anamnestisch gesunden Erwachsenen von 25 bis 40 Jahren (mittleres Alter 31,3 Jahre; 6 Frauen, 4 Männer) mit unauffälliger Anamnese bezüglich Sprachentwicklung und LRS wurden die EKP-Messung mit den gleichen Reizparametern und dem gleichen Messplatzaufbau wie bei den Studienkindern durchgeführt.

3.1.3 Kinder mit Lese-Rechtschreibschwäche (LRS)

Exemplarisch wurden 5 Kinder (mittleres Alter 9,2 Jahre; 3 Mädchen, 2 Jungen) der 2. und 3. Grundschulklasse, bei denen sich eine LRS bestätigt hatte, und die zur Abklärung der auditiven Wahrnehmung und Verarbeitung in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie vorgestellt wurden, entsprechend dem Studienschema untersucht.

3.2 Untersuchungsablauf

Die Untersuchungen an den unauffälligen Schulkindern fanden 1999 von Juni bis November statt. Die Untersuchungen wurden in zwei Abschnitten durchgeführt. Der erste Teil erfolgte in der Schule zu Unterrichtszeiten (Diagnostischer Rechtschreibtest und psychometrische Tests), der zweite fand in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie mit den audiometrischen, pädaudiologischen Untersuchungen und den EKP-Messungen statt. Dabei wurden jeweils 4 Kinder parallel zwischen 14⁰⁰ und 16⁰⁰ Uhr im Rotationsverfahren untersucht (EKP-Messung; Lautbestandserhebung; psychometrische Tests; audiometrische und pädaudiologische Untersuchungen). Zwischen den Untersuchungsabschnitten hatten die Kinder jeweils eine kurze Pause.

3.3 Anamnese-, Lautbestandserhebung und pädaudiologische Untersuchung

3.3.1 Anamneseerhebung

Die Eltern füllten vor der Studie einen Fragebogen zur Anamnese ihres Kindes bezüglich Vorerkrankungen, insbesondere zum Hals–Nasen–Ohren-Bereich und zur Sprachentwicklung, aus (Muster im Anhang).

3.3.2 Lautbestandserhebung

Es erfolgte eine Dokumentation des Lautbestandes anhand des in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie in der Routinediagnostik eingesetzten Befundbogens. Kinder mit einer noch bestehenden SES wurden von der Studie ausgeschlossen.

3.3.3 Pädaudiologische Untersuchung

Es erfolgte bei allen Kindern eine Hals-Nasen-Ohren-Spiegeluntersuchung und ein Ohrmikroskopie um pathologische Befunde auszuschließen.

3.4 Subjektive audiometrische Untersuchungen

3.4.1 Peripheres Hörvermögen

Tonschwellenaudiogramm:

Ein Tonschwellenaudiogramm zur Überprüfung des peripheren Hörvermögens wurde mit einem Audiometer (DIN 45620 Klasse 1 genormt, gemäß Eichgesetz geeicht) und über einen Kopfhörer (Beyer TD 48) durchgeführt. Seit 1991 ist die Kalibrierung der Audiometer durch internationale Normen festgelegt, um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse sicherzustellen [20]. Es wird die Hörschwelle für Sinustöne bestimmt, d. h. der minimal notwendige Schallpegel - gemessen in dB Hörverlust - der in Abhängigkeit von der Frequenz zu einer Hörwahrnehmung führt. Die Messung beginnt bei einer Frequenz von 1 kHz. Der Pegel wird aus dem unhörbaren Bereich gesteigert, bis der Proband eine Signaltaste drückt und somit den Ton als hörbar meldet. Als normalhörig wurden Kinder mit einer Hörschwelle in Luftleitung zwischen 0-15 dB im Bereich von 125 – 8000 Hz definiert [162].

3.4.2 Sprachverständnis, auditive Diskrimination

Freiburger Sprachverständnistest (FSV):

Der FSV wurde via Audiometer im Freifeld über Lautsprecher durchgeführt. Es wurden 10 Einsilber mit 65 dB (SPL) von vorne dargeboten (CD Westra Nr. 4 nach DIN 45621). Er dient zur Überprüfung des Sprachverständnisses und der auditiven Diskrimination. Die erreichte Sprachverständlichkeit wird jeweils in Prozenten angegeben. Da bei der Auswahl der Einsilber die statistische Häufigkeitsverteilung der Phoneme der Umgangssprache zugrunde gelegt wurde, ist es möglich, mit dem erzielten Diskriminationswert eine repräsentative Aussage zum Sprachverständnis zu erzielen [52;91].

3.4.3 Lautdiskrimination

Heidelberger Lautdifferenzierungstest (H-LAD):

Der H-LAD dient der Prüfung der sogenannten auditiv-kinästhetischen Wahrnehmungstrennschärfe. Dargeboten wird dieser Test im freien Schallfeld mit 60 dB (SPL) von einem CD-Player (Westra CD Nr. 19). Der H-LAD besteht aus zwei Untertests. Untertest 1 prüft die Differenzierung von Konsonanten. Untertest H1a besteht aus

Wörtern mit unterschiedlichem Artikulationsmodus bei gleichem Artikulationsort, Untertest H1b aus Silben mit unterschiedlichem Artikulationsmodus bei gleichem Artikulationsort und H1c aus Wörtern mit unterschiedlichem Artikulationsort bei gleichem Artikulationsmodus. Untertest 2 prüft die Differenzierung und Analyse von Konsonantenhäufungen im Anlaut bei unterschiedlichem Artikulationsort und gleichem Artikulationsmodus. Der Proband muss zum einen beurteilen, ob die angebotenen Minimalpaare gleich – ungleich sind (auditive Leistungen) und zum anderen die Paare korrekt nachsprechen (kinästhetische Leistungen). Die vorläufige Normierung erfolgte an 272 Kindern für die 2. und 4. Klasse mit Angabe von T-Werten für diese Klassenstufen [22].

Subjektive Diskrimination der Phonemstimuli der EKP-Messung

Die Überprüfung, ob die Kinder die bei der EKP-Messung verwendeten Phonempaare subjektiv diskriminieren konnten, erfolgte mittels pseudorandomisierter Wiedergabe der Stimulipaare von einer CD mit 80 dB (SPL) über Lautsprecher. Und zwar wurden entweder die gleichen Phoneme als Paar (entsprechend dem Standardreiz der EKP-Messung) oder zwei ungleiche Phoneme als Paar (entsprechend Standard und Deviantreiz der EKP-Messung) abgespielt und der Proband musste entscheiden, ob es sich um zwei gleiche oder ungleiche Silben handelt. Es wurden die falschen Antworten gezählt.

3.5 Psychometrische Testverfahren

3.5.1 Intellektuelle Entwicklung

Coloured Progressive Matrices nach Raven (CPM):

Der CPM ist ein in zahlreichen klinischen Studien verwendetes völlig sprachfreies Untersuchungsverfahren zur Erfassung und Einschätzung der allgemeinen Intelligenz (Altersgruppe 4 Jahre und 9 – 11 Jahre). Die Leistungen werden als Intelligenzquotient (IQ) angegeben. Die Eichung erfolgte in Deutschland von 1971 – 76 an 3.607 Kindern [17].

3.5.2 Visuelle Wahrnehmung

Motor-Free-Visual-Perception-Test - Revised (MVPT -R):

Der MVPT-R dient der Erfassung der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit. Als Ergänzung zur Einschätzung der auditiven Fähigkeiten ist gerade auch die Kenntnis über Fähigkeiten des Kindes in der visuellen Modalität bei Beurteilung von Leserechtschreibfähigkeiten wichtig. Als Werte beim MVPT-R werden Wahrnehmungsquotienten sowie das Wahrnehmungsalter angegeben. Er wurde in der USA an 912 Kindern der Altersgruppe 4 - 11 Jahre standardisiert [67].

3.5.3 Rechtschreibleistung

Diagnostischer Rechtschreibtest für 2. Klassen (DRT 2) und 3. Klassen (DRT 3):

Der DRT liefert bezüglich der quantitativen Bewertung eine zuverlässige Beurteilung der Rechtschreibleistungen und bezüglich der qualitativen Bewertung eine Einschätzung, ob es sich um Regel- oder Wahrnehmungsfehler handelt. Der DRT 2 wurde an 2313 Kindern, der DRT 3 an 2234 Schülern in Deutschland 1995 neu normiert [139;140]. Für den DRT 2 muß einschränkend gesagt werden, dass eine normative Aussage zur Rechtschreibleistung nur gemacht werden kann, wenn der Test in den letzten 2 Monaten des 2. Schuljahres bzw. in den ersten 2 Monaten des 3. Schuljahres durchgeführt wird, da sich die Testnormierung auf diese Zeiträume bezieht und die Rechtschreibleistungen dieser Altersgruppe einer schnellen Veränderung unterliegen. Der Anwendungszeitraum für den DRT 3 ist etwas weiter gefasst, nämlich die letzten 4 Monate des 3. und die ersten 4 Monate des 4. Schuljahres. Der DRT hat eine doppelte Zielsetzung: 1. Die quantitative Auswertung erlaubt eine zuverlässige Beurteilung der Rechtschreibleistungen. 2. Durch qualitative Auswertungen können Fehlerschwerpunkte für ein darauf aufbauendes Rechtschreibtraining bestimmt werden. Es handelt sich um einen Lückentest: 32 Wörter mit zunehmender Schwierigkeit werden von dem Kind nach Diktat in Satzlücken geschrieben. In der Fehlertypologie werden die Fehler nach Wahrnehmungs- (Verstöße gegen die hörbare Schreibung) und Regelfehler (Verstöße, die nicht hörbar sind) unterschieden. Die Auswertung erfolgt in Prozenträngen. Kinder, die im Prozentrang unter 10% lagen, wurden bei einem IQ >70 entsprechend ICD 10 F81.0 als lese-rechtschreibgestört definiert und damit vom Normalkollektiv ausgeschlossen [15].

3.5.4 Auditive Synthese, Ergänzung, Speicherung und Sequenz

Psycholinguistischer Entwicklungstest (PET), Untertestauswahl:

Beim PET wurden 3 von 12 Untertests abgeprüft, die für die Beschreibung der auditiven Wahrnehmung eine Bedeutung haben. Die Normierung des PET erfolgte an einer Stichprobe von 2.622 Kindern. Zwei Untertests prüfen die auditive Ergänzungsfähigkeit bzw. die Lautsynthese (PET-WE: Worte ergänzen und PET-LV: Laute verbinden), ein Untertest prüft das Kurzzeitgedächtnis von Zahlen (PET-ZFG: Zahlenfolgegedächtnis). Beim PET-WE werden Wörter vorgelesen mit ausgelassenen Wortanteilen, die das Kind sinnvoll ergänzen muss. Beim PET-LV werden die einzelnen Laute eines Wortes vorgelesen und das Kind muß das Wort erkennen und zusammenhängend wiedergeben. Beim PET-ZFG werden dem Kind zwei bis acht Zahlen vorgelesen, die es korrekt wiedergeben muss. Für die Untertests lassen sich T-Werte ermitteln, für die Altersgruppen 3,0 – 9,11 Jahre [13].

Heidelberger Sprachentwicklungstest - Untertest „Imitieren grammatischer Strukturen“ (HSET-IS):

HSET-IS prüft das Merken und die Wiedergabe von verschiedenen komplexen Sprachinhalten zur Einschätzung eines Aspektes der auditiven Speicherung bzw. des sprachauditiven Kurzzeitgedächtnisses (SAKG). Der Proband muss vorgeschene Sätze genau reproduzieren. Die erbrachten Leistungen werden in T-Werten angegeben [65].

In der folgenden Übersicht (s. Tab. 1) sind die durchgeführten Untersuchungen und überprüften Teilaspekte der auditiven Wahrnehmung und Verarbeitung aufgelistet.

	Aufmerksamkeit	Diskrimination	Sequenz/Speicherung	Synthese/Ergänzen
FVS				
H-LAD				
Phonemreize subjektiv				
PET-LV				
PET-WE				
PET-ZFG				
HSET-IS				
EKP/MMN - Messung				

Tab. 1: Darstellung der Teilaspekte der auditiven Wahrnehmung und Verarbeitung, die hauptsächlich mit dem angewandten Testverfahren abgeprüft werden.

3.6 Objektive Untersuchung der Lautdiskrimination durch Ableitung der kortikalen Potenziale und der Mismatch Negativity (MMN) auf Phonemstimuli

3.6.1 Messplatzaufbau

Der verwendete Messplatzaufbau wird in Abb. 2 als Übersicht dargestellt und wurde erstmalig von Nubel et al. 1998 beschrieben [164]. Die Versuchspersonen saßen zur Messung in einem Armlehnstuhl mit ausziehbarer Fußstütze in einer Camera silens. Sie wurden angewiesen, entspannt und möglichst ruhig zu sitzen, und die akustischen Reize zu ignorieren (s. a. Abschnitt Videosedierung).

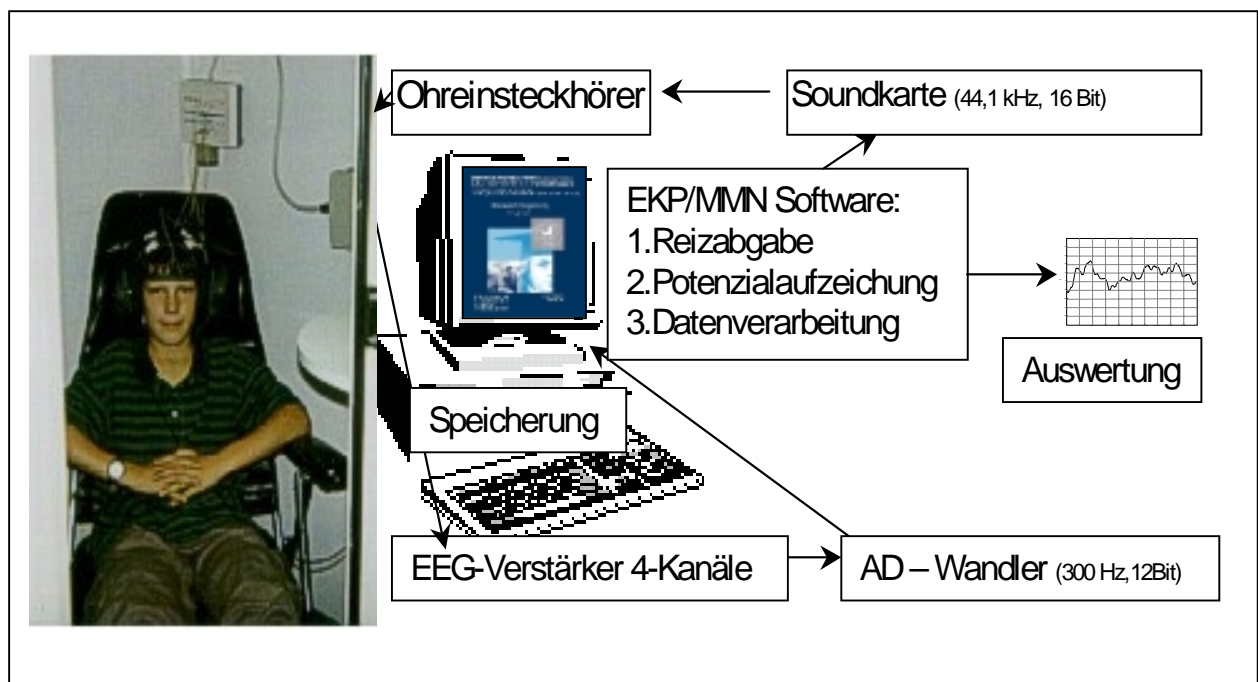


Abb. 2: Schematische Darstellung des Messplatzes zur Ableitung der EKP/MMN.

3.6.1.1 Elektroden

Die Ableitung erfolgte über handelsübliche Silberchloridelektroden in Anlehnung an das internationale 10/20 EEG-System an den Orten F3, F4, C3, C4, da im frontozentralen Bereich und über dem primären und sekundären auditorischen Kortex die ausgeprägtesten MMN-Antworten zu erwarten sind [6;45]. Die Masseelektrode wurde an der Stirn oberhalb der Nasenwurzel befestigt. Die Elektroden wurden mittels geeigneter vorperforierter Gummiriemen an den entsprechenden Stellen fixiert. Als Referenzelektroden dienten Klebeelektroden jeweils am kontralateralen Mastoid

(F3,C3 gegen A2 und F4,C4 gegen A1). Zur Reduzierung des Hautwiderstandes erfolgte vorher eine Entfettung der Haut mit Alkoholtupfern, und unter die Silberchlorid-elektroden wurde Elektrodencreme (Firma Hellwege) verbracht. Es wurde eine im MMN-Messprogramm integrierten Elektrodenwiderstandsmessung durchgeführt. Voraussetzung für die Messung war ein nachgewiesener Elektrodenwiderstand < 5 kOhm. Auf die Verwendung von Augenelektroden wurde bewusst verzichtet. Es hatte sich in der Vorstudienphase gezeigt, dass sich die Kinder durch diese Elektroden irritiert fühlten und damit die Compliance beeinträchtigt wurde. Es wurde, um eine kurze Elektrodenanpasszeit zu gewährleisten, nur an vier Ableitorten gemessen. Damit ist eine genauere topographische Analyse der Potenziale nicht möglich.

3.6.1.2 Hardware

Zur Messung wurde ein PC mit einem 200 MHz Pentium™ Prozessor, 64 MB RAM Arbeitsspeicher, Ultra-SCSI Controller, 4 GB Festplatte und einer 4 GB Wechselfestplatte, Grafikkarte, PCI Soundkarte, sowie AD-Wandlerkarte benutzt. Als Betriebssystem wurde Windows 95™ installiert. Zur Vorverstärkung der Potenziale wurde ein regelbarer 4-Kanalverstärker* mit entkoppeltem Ein- und Ausgang der Firma EsMed verwendet. Nach A/D Umwandlung mit einer geeigneten Wandlerkarte* wurden die Rohdaten digital gespeichert und auf CD-R archiviert.

(*Technische Angaben zum Verstärker im Anhang)

3.6.1.3 Software

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin wurde an der Klinik für Audiologie und Phoniatrie eine eigene Software zur Ableitung und Aufzeichnung von EKP und der MMN entwickelt, die auf jedem Computer mit Windows™ Betriebssystem einsatzfähig ist [124]. Ziel dieser Entwicklung war es, eine intuitiv bedienbare und kostengünstige Software zu Verfügung zu haben. Dabei wurde besonderer Wert auf die online-Darstellung bzw. Auswertung gelegt.

3.6.1.3.1 Reizausgabe

Mit der Software kann die Reizausgabe variabel gesteuert werden. Beliebige gestaltete Reizpaare können im Waveformat von dem Programm aus in pseudorandomisierter Reihenfolge als Standard und Deviant (Verhältnis wählbar von 3:1 bis 6:1) über eine Soundkarte abgespielt werden. Die gewünschte Anzahl der Mittelungen pro Standard und Deviant in einem Reizpaar kann frei gewählt werden. Die Interstimuluszeit (ISI) zwischen Reizende und Anfang des nächsten Reizes ist ebenfalls variabel, wobei eine stabile zeitliche Reizabgabe in der verwendeten Rechnerkonfiguration erst ab einer ISI von 550 ms gewährleistet ist.

3.6.1.3.2 Aufzeichnung der Meßwerte

Die Aufzeichnung der gewünschten Rohdaten kann über ein grafisches Interface im Softwareprogramm zur A/D Wandlerkarte im Rahmen der technischen Grenzen gesteuert werden. Für die durchgeführte Studie wurden 4 Kanäle mit einer Abtastfrequenz von 512 Hz und einer Fenstergröße von 450 ms bei einer Vorlaufzeit von 50 ms zur Berechnung der Grundaktivität und eine Vorverstärkung von 75 dB (maximale Eingangsspannung: 534 μ V, minimale Eingangsspannung: - 534 μ V) digital gespeichert. Pro verwendetem Reizpaar wurde eine Datei mit den erhaltenen Rohsignalen der Potenzialantworten auf der Festplatte angelegt und später auf CD-R archiviert.

3.6.1.3.3 Messdatenverarbeitung

Mit dem Messprogramm besteht zum einen die Möglichkeit, die Daten von der Wandlerkarte direkt während der Messung mit den gewünschten Parametern darzustellen und auszuwerten. Zum anderen können die Daten über die Messdatenrohdatei erneut eingelesen und mit anderen Verarbeitungsparametern dargestellt werden (z. B. geänderte Artefaktschwelle (AFS)). Da die Amplitude akustisch evozierter Potentiale (AEP) im Verhältnis zum überlagernden Elektroenzephalogramm (EEG) sehr gering ist und damit das resultierende Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) schlecht ist, gelang man erst über eine ausreichende Anzahl von mit der Reizgabe synchronen Mittelungen zu geeigneten Ergebnissen, d. h. einem verbesserten SNR und einer erkennbaren Wellenstruktur der AEP. Die Anzahl

der erforderlichen Mittelungen hängt dann von der Art des gewünschten AEP und den vorhandenen physikalischen Bedingungen ab. Das Messprogramm mittelt die Reizantworten für den Standard- und Deviantreiz separat unter Berücksichtigung der eingestellten AFS, so dass schon während der Messung eine Beurteilung möglich ist. Gleichzeitig wird die MMN-Kurve (Differenzkurve, die durch Subtraktion der Standardantwort von der Deviantantwort entsteht) berechnet und deren Signifikanz dann über einen integrierten T-Test beurteilt. Die erhaltenen Ergebniskurven können dann ausgedruckt werden oder als Windowsmetafile in andere Programme kopiert werden (s. Abb. 3: Bildschirm des Messprogramms nach einer Reizpaarmessung). Einzelne Punkte der Kurven können mit der Maus angeklickt werden, und es kann dann der jeweilige Messwert an dieser Stelle der Kurve in μV und ms für diesen Punkt abgelesen werden.

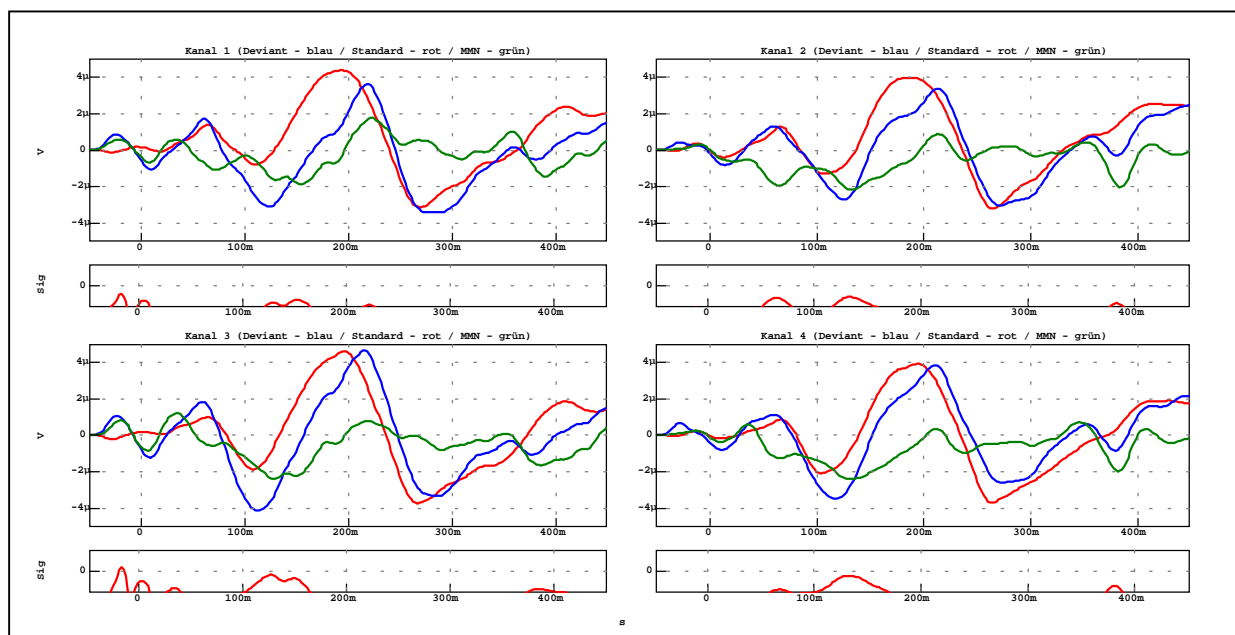


Abb. 3: Messkurve nach synchroner Mittelung der Antwort auf 250 Standardreizen /da/ und 50 Deviantreizen /ga/ (Standard –rot; Deviant – blau; Differenzkurve – grün); Kanal 1: F3, Kanal 2: F4, Kanal 3: C3, Kanal 4: C4. Unter der Messkurve Signifikanzanzeige des integrierten T-Tests (rote Linie), 0-Achse entspricht Signifikanzlevel von $p < 0,05$.

3.6.1.4 Videosedierung

Um das Vigilanzniveau der Versuchspersonen möglichst stabil zu halten, wurde während der Messung ein Videofilm ohne Ton bei abgedunkeltem Raum vorgeführt [153;157]. Die Versuchspersonen wurden angewiesen auf den Film zu achten und

die akustischen Reize zu ignorieren mit dem Ziel, aufmerksamkeitsabhängige EKP-Anteile möglichst zu vermeiden. Als Monitor diente ein handelsüblicher Schwarz/Weiß Fernseher mit einem Bildschirm von 15 x 20 cm, dieser wurde in Augenhöhe im Abstand von ca. 1,5 m vom Probanden angebracht. Die Bildschirmgröße wurde mit Absicht so klein gewählt, um möglichst wenig Augenbewegungen auszulösen, da auf eine Messung der Augenartefakte bewusst verzichtet wurde.

3.6.2 Reizparameter

Zu den Phonemen, die typischerweise bei Phonemdiskriminationsschwächen betroffen sind, gehören /d/ und /g/ [227]. Diese sind z. B. für die Worte Nagel und Nadel bedeutungsunterscheidend. Muttersprachlich erworbene Laute werden auch in der vorbewussten Diskriminierung anders verarbeitet als z. B. Laute einer unbekannt Sprache oder sprachähnlich aufgebaute Kunstreize [223]. Um muttersprachliche Phonemdiskriminierung zu untersuchen, wurden die Phoneme /da/ und /ga/ von einem männlichen deutschen Muttersprachler aufgesprochen und diese anschließend im vokalischen Auslaut digital nachbearbeitet, so dass sich die Reize nur im konsonantischen Anlaut in den ersten 80 ms unterschieden bei einer Gesamtreizlänge von 200 ms. Bei Kindern mit einer LRS oder SES sind vielfach Probleme in der zeitlichen Verarbeitung von Sprachstimuli beschrieben worden. Besonders auffällig werden diese Defizite bei Tests mit zeitkomprimierter Sprache [133;204]. Aus diesem Grunde wurde als zweites Reizpaar /da/ und /ga/ um das zweifache digital mit Hilfe des Softwareprogramms „Cool edit `96“ komprimiert. Die komprimierten Reize wurden erzeugt unter der Annahme, dass die MMN-Antwort auf komprimierte Phoneme bei Kindern mit Phonemdiskriminationsstörung weniger deutlich ausfällt als bei unauffälligen Kindern. Die Phonemstimuli /da/ vs. /ga/ (Reizpaar 1) und die zeitkomprimierten Phonemstimuli /da komp./ vs. /ga komp./ (Reizpaar 2) wurden in wechselnder Reihenfolge dargeboten, um zeitliche Effekte in der Messung (z. B. durch zunehmende Unruhe) und Trainingseffekte auf beide Reize gleichmäßig zu verteilen. Sie wurden jeweils pro Versuchsperson einmal gemessen. In Abb. 4 (S. 39) und Abb. 5 (S.40) ist die akustische Analyse der Reize mittels des Softwareprogramms „PRAAT“ dargestellt, d. h. Signalverlauf, Formantenverlauf, Lautstärkeverlauf und Pitchverlauf. Bei 6 Studienkindern und 5 Erwachsenen wurde

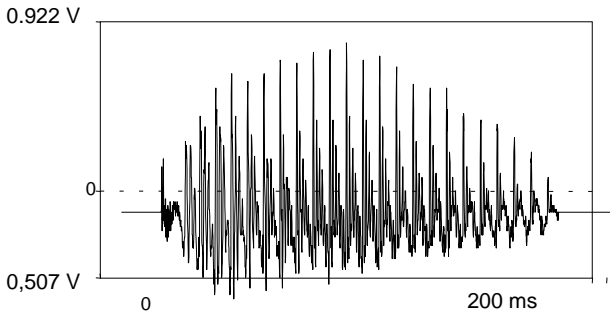
eine Wiederholungsmessung auf /da/ vs. /ga/ und bei 5 Studienkindern und 5 Erwachsenen eine Wiederholungsmessung auf /da komp./ vs. /ga komp./ durchgeführt, um eine Einschätzung zur Stabilität der kortikalen Antworten zu erhalten.

Die beiden Reizpaare wurden pseudorandomisiert im Verhältnis 5:1 (Standard : Deviant) dargeboten. Dieses Verfahren wird auch als „odd-ball“ Paradigma (oder 2-Reiz-Diskriminationsparadigma) bezeichnet und typischerweise bei MMN-Messungen eingesetzt. Das Interstimulusintervall (ISI) betrug zwischen jeweiligem Reizanfang und Reizende 750 ms. Während z. B. Tonhöhenunterschiede auch bei niedriger ISI eine gute MMN in dieser Altersgruppe auslösen, ist bei komplexen Reizen wie z. B. Phonemen bei zu kurzer ISI eine weniger ausgeprägte MMN-Antwort zu erwarten [19;119;125]. Die auf 84 dB Schalldruckpegel (SPL) mittels eines künstlichen Ohres (Artificial Ear von Brüel & Kjaer Typ 4153) und in Verbindung mit einem Schallpegelmesser (Measuring Amplifier von Brüel & Kjaer Typ 2636) geeichten Reize wurden binaural über Einsteckhörer appliziert. Bei dieser Lautstärke sind gute EKP- und MMN-Antworten beschrieben worden [150]. Es wurden pro Reizpaar 250 kortikale Antworten auf den Standardreiz und 50 Antworten auf den Deviantreiz als Rohdaten digital aufgezeichnet (s. Zusammenstellung der Reizparameter Tab. 2). Die Anzahl der Mittelungen ist im Vergleich zu anderen Arbeitsgruppen klein gewählt, da die Gesamtmesszeit für die Kinder gut tolerabel sein sollte [29;51;118;125]. Gerade bei sehr artefaktüberlagerten Messungen wie z. B. bei unruhigen Kindern, ist damit unter Umständen aber auch eine schlechtere Datenqualität und ein ungünstigerer Signal-Rausch-Abstand (SNR) verbunden.

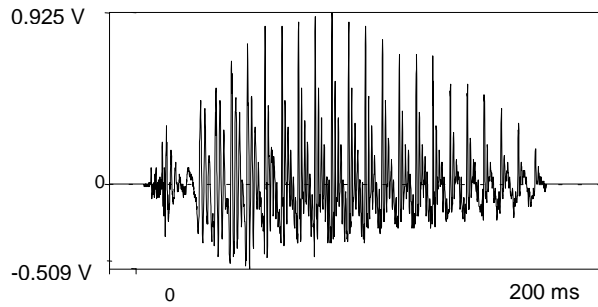
	Reizpaar 1	Reizpaar 2
Standard	/da/	/da komp./
Deviant	/ga/	/ga komp./
Reizlänge	200 ms	100 ms
Lautstärke	84 dB SPL	84 dB SPL
Verhältnis Standard : Deviant	5:1	5:1
Anzahl Standard : Deviant	250:50	250:50
Interstimuluszeit (off-onset)	750 ms	750 ms

Tab. 2: Gewählte Reizparameter für die EKP/MMN-Messung

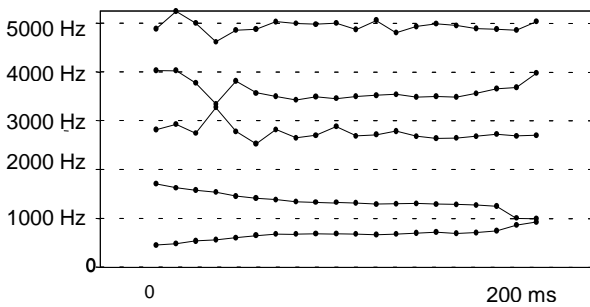
Abb. 4: Akustische Analyse der Phoneme /da / und /ga /



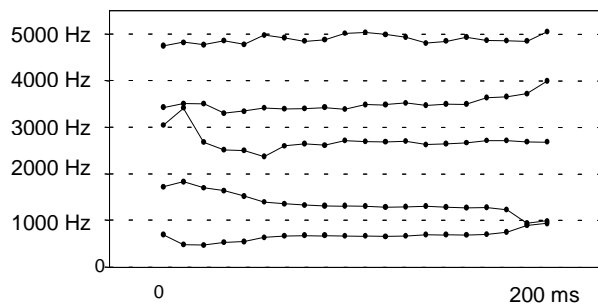
Signalverlauf von /da/ 200 ms



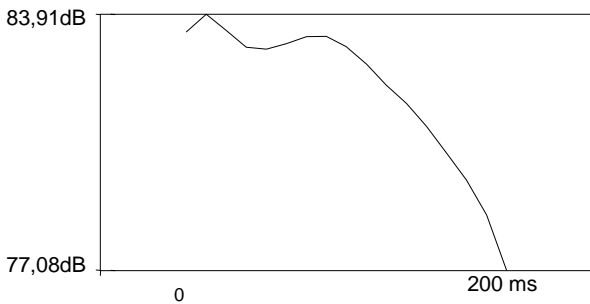
Signalverlauf von /ga/ 200 ms



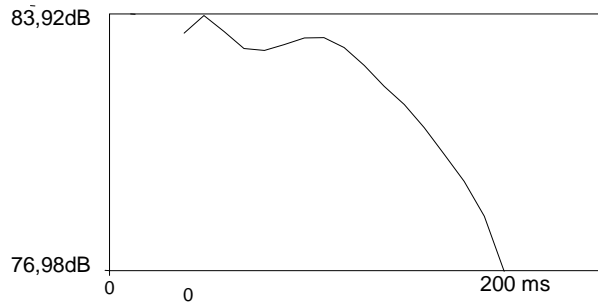
Formantenverlauf in Hz von /da/ 200 ms



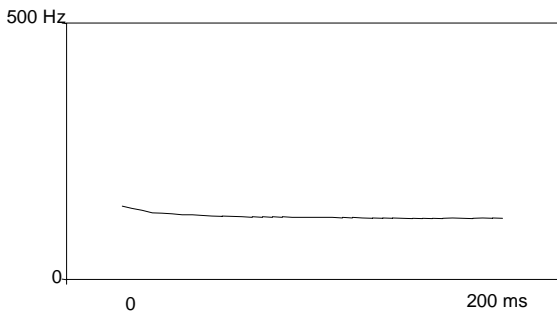
Formantenverlauf in Hz von /ga/ 200 ms



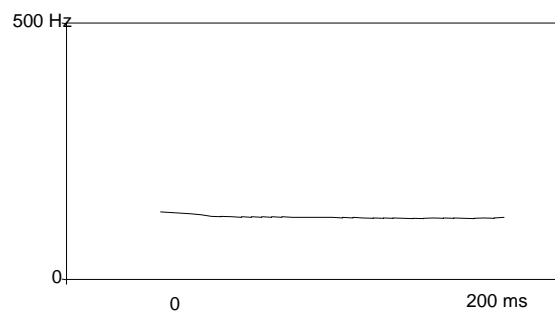
Lautstärkeverlauf in dB von /da/ 200 ms



Lautstärkeverlauf in dB von /ga/ 200 ms

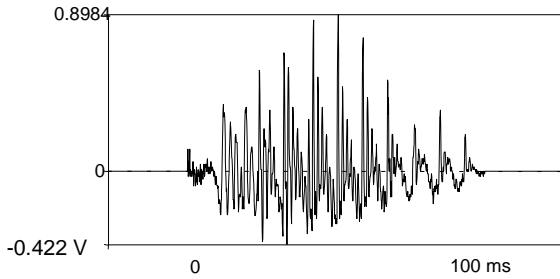


Pitchverlauf in Hz von /da/ 200 ms

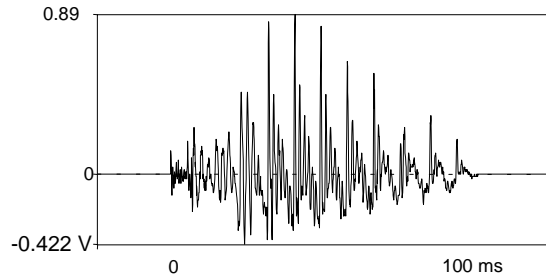


Pitchverlauf in Hz von /ga/ 200 ms

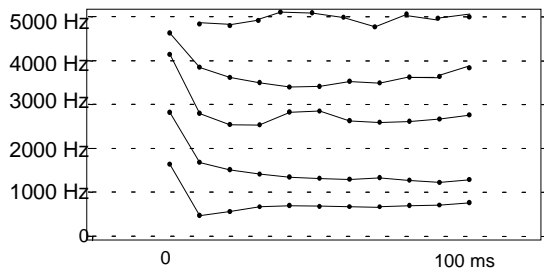
Abb. 5: Akustische Analyse der komprimierten Phoneme /da komp./ und /ga komp./



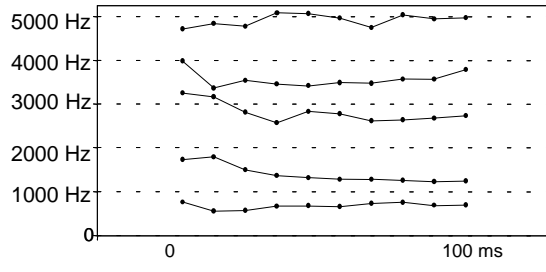
Signalverlauf von /da komp./ 100 ms



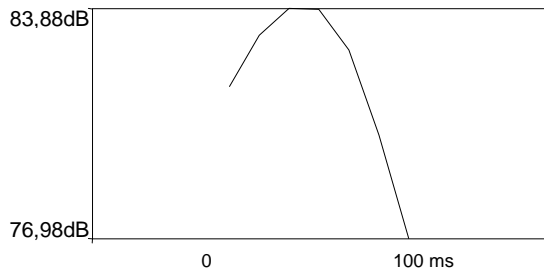
Signalverlauf von /ga komp./ 100 ms



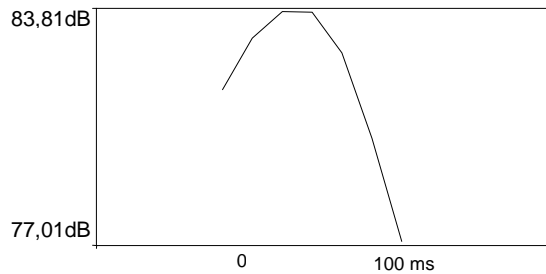
Formantenverlauf in Hz von /da komp./



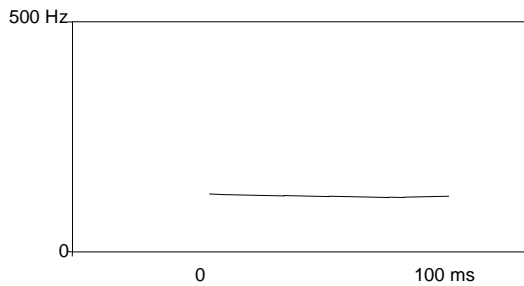
Formantenverlauf in Hz von /ga komp./



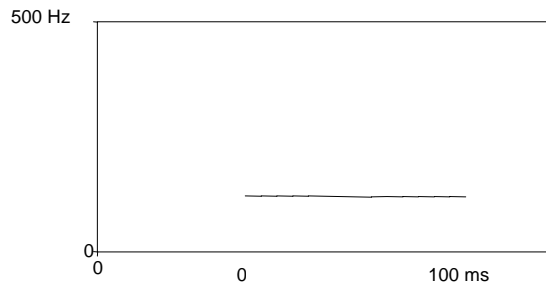
Lautstärkeverlauf in dB von /da komp./



Lautstärkeverlauf in dB von /ga komp./



Pitchverlauf in Hz von /da komp./



Pitchverlauf in Hz von /ga komp./

3.7 Auswertung der kortikalen Reizantwort und MMN-Antwort

Die Einzelauswertung der kortikalen Reizantworten erfolgte nach Filterung mit einem digitalen 4Hz Hochpassfilter und einem digitalen 10 Hz Tiefpassfilter (Besselfilter 8. Ordnung). Diese enge Filterung wurde gewählt, da sich das MMN-Potenzial in diesem Frequenzband nachweisen lässt und das Signal-Rauschverhältnis damit deutlich zu verbessern ist [207]. Diese Filterung und die Bestimmung der MMN-Latenz und -Amplitude anhand der Differenzkurve zwischen Standard- und Deviantantwort erfolgte in Anlehnung an das Verfahren der Arbeitsgruppe um Tervaniemi (1999), die damit eine verbesserte Test-Retest-Reliabilität für die MMN in ihrer Studie erreicht hat [207]. Bei den Erwachsenen wurde die Artefaktschwelle (AFS) für die Potenzialauswertung bei 35 μ V für beide Reizpaare festgelegt. Bei den Kindern wurde die AFS für Reiz 1 ebenfalls auf 35 μ V und bei Reiz 2 bei 50 μ V festgelegt, da die durchschnittlichen Amplituden der kortikalen Reizantwort bei den Kindern besonders auf Reiz 2 deutlich größer waren. Unter diesen Voraussetzungen wurden mindestens 30 Deviantantworten in die Mittelung für die Auswertung pro Individuum einbezogen. Zur Gruppenauswertung wurden die Einzelantworten übereinander gemittelt (sogenannte Grand Averagetechnik) und die gemittelten Kurven dann diskutiert. Zur Auswertung der individuellen kortikalen Potenzialantwort auf die Standardreize wurden die Latenzen von P1, N1, P2 und N2 exemplarisch bei C3 bestimmt und die entsprechenden Amplituden in allen Kanälen bei dieser Latenz gemessen. Zur Bestimmung der MMN wurde der Kanal der Differenzkurve mit der ausgeprägtesten Negativierung bestimmt. In diesem wurde dann die maximale Amplitudenspitze in μ V und deren Latenz in ms gemessen. Die Differenzkurve zeigte in der Regel eine frühe Negativierung und eine spätere Negativierung. Deshalb erfolgte die Bestimmung der jeweils maximalen Negativierung in den Zeitfenstern 120 ms – 220 ms und 220 ms – 400 ms. Ebenfalls wurde die Latenz und Amplitude der maximalen Positivierung der Differenzkurve, die in der Regel zwischen erster und zweiter Negativierung auftrat, bestimmt. Zur Auswertung wurden deshalb jeweils die maximale Negativierung im Zeitfenster 120 ms – 220 ms und im Zeitfenster 220 ms – 400 ms festgehalten. Zu-

sätzlich wurde vermerkt, ob die Negativierung/Positivierung nur angedeutet, deutlich oder entsprechend des im Programm integrierten T-Tests signifikant war.

3.8 Statistische Auswertung der Daten

Die Angabe der Ergebnisse der subjektiven psychometrischen Tests erfolgte entweder in Rohwerten, in T-Werten, als Prozentrangplatz oder Quotient in Abhängigkeit vom eingesetzten Test. Der Rohwert gibt die erreichte Punktzahl in dem jeweiligen Test an. Bei Normalverteilung kann man vom Rohwert ausgehend eine Mittelwertberechnung und Berechnung der Standarddeviation (STD) zum Vergleich der Leistung vornehmen. Oft sind die Rohwerte der verschiedenen Testverfahren aber nicht normalverteilt, dann wird über verschiedene Transformationen eine Normalisierung der schiefen Verteilung vorgenommen. Der T-Wert hat seinen Mittelwert bei 50 und eine STD von 10 T-Werten. Der Quotient der IQ-Bestimmung hat seinen Mittelwert bei 100 und eine STD von 15. Der Prozentrangplatz gibt an, wieviel Prozent aller Schüler der Vergleichsstichprobe einen Wert erhalten haben, der gleich oder geringer als der des betreffenden Schülers ist.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Software-Programm „SPSS“ (Statistical Package for Social Sciences, Version 10.0). Es wurde zunächst deskriptiv ausgewertet (Mittelwert, STD). Die Einzelauswertungen wurden je nach Bedarf in graphischer oder tabellarischer Form dargestellt. Zur Suche nach einem Alters- oder Geschlechtseffekt wurden jeweils im Studienkollektiv 2 Gruppen gebildet und mit dem Mann–Whitney–U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht. Mit diesem Test wurde auch andere Gruppenvergleiche mit zwei unabhängigen nicht sicher normalverteilten Gruppen durchgeführt. Korrelationsanalysen bei normalverteilten Ergebnissen erfolgten mit dem Pearstest und bei nicht normalverteilten mit dem Spearman. Ergebnisse von abhängigen Stichproben wurden mit dem paarigen T-Test (normalverteilt) oder Wilcoxonstest (nicht normalverteilt) auf signifikante Unterschiede untersucht.