

Aus der Klinik für Audiologie und Phoniatrie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Ist eine objektive Darstellung der Ordnungsschwelle mittels  
Mismatch Negativity möglich?

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Anja Lilge

aus Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. M. Gross

2. Prof. Dr. med. G. Curio

3. Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Ptok

Datum der Promotion: 14. Juni 2009

# Ist eine objektive Darstellung der Ordnungsschwelle mittels Mismatch Negativity möglich?

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
1. Einleitung	5
1.1. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) bei Kindern	5
1.2. Die zeitliche Auflösung als Komponente auditiver Verarbeitung und Wahrnehmung	6
1.3. Die Bedeutung der Ordnungsschwelle bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen	7
1.4. Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)	8
1.4.1. Ableitung und Verstärkung	8
1.4.2. Komponenten der EKP	9
1.4.3. Akustisch evorzierte Potentiale (AEP) bei Erwachsenen	9
1.4.4. Entwicklung der akustisch evorzierte Potentiale	9
1.4.5. Akustisch evorzierte Potentiale und Sprachentwicklungsstörungen	10
1.5. Die Mismatch Negativity (MMN)	10
1.5.1. Entstehung der MMN	10
1.5.2. Generatoren der MMN	11
1.5.3. Plastizität der MMN	11
1.5.4. MMN bei gesunden Kindern	12
1.5.5. Plastizität der MMN bei gesunden Kindern	12
1.5.6. Reifung der MMN	12
1.5.7. MMN bei klinisch auffälligen Kindern	13
1.5.8. MMN im Zusammenhang mit der zeitlichen Verarbeitung	14
1.5.9. Die Anwendung der MMN in der Diagnostik von Kindern	14
2. Fragestellung	15
3. Material und Methoden	16
3.1. Versuchspersonen	16

3.1.1. Normal entwickelte Schulkinder	16
3.1.2. Erwachsene Kontrollpersonen	16
3.1.3. Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen	16
3.2. Untersuchungsablauf	17
3.3. Anamnese, Lautbestandserhebung und pädaudiologische Untersuchung	17
3.4. Subjektive audiometrische Untersuchungen	17
3.4.1. Peripheres Hörvermögen	17
3.4.2. Sprachverständnis, auditive Diskrimination	18
3.4.3. Lautdiskrimination	18
3.5. Psychometrische Testverfahren	18
3.5.1. Intellektuelle Entwicklung	18
3.5.2. Visuelle Wahrnehmung	19
3.5.3. Rechtschreibleistung	19
3.5.4. Auditive Synthese, Ergänzung, Speicherung und Sequenz	19
3.6. Subjektive Bestimmung der Ordnungsschwelle	20
3.7. Objektive Untersuchung der Ordnungsschwelle mittels Mismatch Negativity	21
3.7.1. Messplatzaufbau	21
3.7.1.1. Elektroden	21
3.7.1.2. Hardware	22
3.7.1.3. Software	22
3.7.1.3.1. Reizausgabe	22
3.7.1.3.2. Aufzeichnung der Messwerte	22
3.7.1.3.3. Messdatenverarbeitung	23
3.7.1.4. Videosedierung	23
3.7.2. Reizparameter	23
3.7.3. Auswertung der kortikalen EKP- und MMN-Antworten	24
3.8. Statistische Verfahren zur Datenverarbeitung	25
4. Ergebnisse	26
4.1. Kortikale Potentialantworten auf Ordnungsschwellenreize	26
4.1.1. Kortikale Potentialantworten auf die Standardreize 1 und 2 bei Erwach-	26

senen	
4.1.2. Kortikale Potentialantworten auf die Standardreize 1 und 2 bei normal entwickelten Schulkindern	27
4.1.3. Einfluss des Alters auf die kortikalen Potentialantworten	28
4.1.4. Einfluss des Geschlechts auf die kortikalen Potentialantworten	30
4.2. MMN-Antworten auf Ordnungsschwellenreize	31
4.2.1. MMN-Antwort auf Reiz 1 und 2 bei Erwachsenen	31
4.2.2. MMN-Antwort auf Reiz 1 und 2 bei normal entwickelten Schulkindern	32
4.2.3. Einfluss des Alters auf die MMN	36
4.2.4. Einfluss des Geschlechts auf die MMN	37
4.3. Ergebnisse der subjektiven Untersuchungen	37
4.3.1. Anamnesedaten und Lautbestandserhebung bei den normal entwickelten Studienkindern	37
4.3.2. Audiometrische Untersuchungen	37
4.3.3. Psychometrische Testverfahren	38
4.3.4. Subjektive Ordnungsschwellenwerte	40
4.3.4.1. Erwachsene	41
4.3.4.2. Normal entwickelte Studienkinder	41
4.3.4.3. Kinder mit AVWS und/oder Leserechtschreibschwäche (LRS)	41
4.4. Kortikale Potentialantworten und MMN-Antworten bei den Kindern mit AVWS und/oder LRS	41
4.5. Zusammenhänge zwischen objektiven und subjektiven Ergebnissen	42
4.5.1. Subjektive Ordnungsschwellenmessung – Kortikale Potentialantworten	42
4.5.2. Subjektive Ordnungsschwellenmessung – MMN-Antworten	43
4.5.3. Subjektive Ordnungsschwellenmessung – Sonstige subjektive Tests	43
5. Diskussion	44
5.1. Diskussion zu den Ergebnissen der kortikalen Potentialantworten	44
5.1.1. Altersentwicklung der kortikalen Potentialantworten	44
5.1.2. Einfluss des Geschlechts auf die kortikalen Potentialantworten	49
5.2. Diskussion zu den Ergebnissen der MMN-Antworten	50
5.2.1. Erwachsene und normal entwickelte Schulkinder	50

5.2.2. Altersentwicklung der MMN-Antworten	53
5.2.3. Lokalisation der Amplitudenmaxima der MMN-Antworten	55
5.2.4. Einfluss des Geschlechts auf die MMN-Antworten	56
5.3. Diskussion zu den Ergebnissen der subjektiven Ordnungsschwellenmessung	57
5.4. Diskussion zu den Zusammenhängen zwischen subjektiven und objektiven Tests	60
5.5. Diskussion zu den Ergebnissen der Kinder mit AVWS u./o. LRS	62
5.6. Fazit	64
5.7. Methodenkritische Erörterungen und relevante Aspekte für eine perspektivische Nutzung der MMN im klinischen Alltag	66
6. Zusammenfassung	68
7. Anhang	75
7.1. Literaturliste	75
7.2. Anamnesefragebogen	91
7.3. Technische Angaben zum Verstärker	92
7.4. Grafiken und Tabellen	93
Danksagung	134
Lebenslauf	135
Erklärung	137

## **1. Einleitung**

### **1.1. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen bei Kindern**

In den letzten Jahren sind in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie zahlreiche Kinder im schulpflichtigen Alter mit der Verdachtsdiagnose „auditive Wahrnehmungsstörung“ untersucht worden. Die Kinder werden meistens vorgestellt, weil sie Schwierigkeiten beim Erlernen der Rechtschreibung und teilweise auch beim Lesen haben. Auffällig werden diese Kinder ungefähr ab dem 2. und 3. Schuljahr.

Als auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) werden Störungen des zentralen Hörvorgangs bezeichnet. Sie können isoliert oder im Rahmen allgemeiner Einschränkungen kognitiver oder anderer Prozesse auftreten (Hesse et al., 1998). Die Prävalenz auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen bei Kindern beträgt nach Chermak et al. (1999) 2-3%. Dabei ist das männliche Geschlecht doppelt so oft betroffen wie das weibliche. Die Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie definiert die AVWS folgendermaßen: Danach ist der gesamte Prozess der Verarbeitung, Wahrnehmung und Verwertung akustischer Signale ein eng ineinander verwobener, zum Teil hierarchischer Prozess, an dem eine Vielzahl von serialen, parallelen und verteilten neuronalen Netzwerken beteiligt ist. Der Begriff Verarbeitung wird im Sinne einer neuronalen Weiterleitung sowie Vorverarbeitung und Filterung von auditiven Signalen bzw. Informationen auf verschiedenen Ebenen (Hörnerv, Hirnstamm, Kortex) verwendet. Die Wahrnehmung (=Perzeption) wird als ein Teil der Kognition im Sinne einer zu höheren Zentren hin zunehmenden bewussten Analyse auditiver Informationen verstanden. Diese kommt durch o.g. Signalverarbeitung und zunehmende Beeinflussung durch Vigilanz, Aufmerksamkeit und Gedächtnis zustande (Ptok, M. et al., 2000). Zusammenfassend läßt sich die AVWS als Störung der zentralen Prozesse des Hörens beschreiben. Zentrale Prozesse ermöglichen u.a. die vorbewusste und bewusste Analyse von Zeit-, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen akustischer Signale, Prozesse der binauralen Interaktion (z.B. zur Geräuschlokalisierung, Lateralisation und Störgeräuschbefreiung). Nach Gross et al. (2001) liegt der AVWS eine Beeinträchtigung der afferenten und/oder efferenten Anteile der Hörbahn einschließlich der zugehörigen Assoziationszentren zugrunde. Die Symptome können vielgestaltig sein. Einschränkungen folgender Teilleistungen werden beschrieben: auditiver Aufmerksamkeit, Speiche-

rung und Sequenzierung, Lokalisation, Diskrimination, Figur-Hintergrundunterscheidung, Analyse, Synthese und Ergänzung. Die AVWS gibt es nicht nur als isoliertes Störungsbild, sondern auch in Kombination mit anderen Erkrankungen, wie z.B. peripheren Hörstörungen, Sprachentwicklungsstörungen, Lese-Rechtschreibstörungen, Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörungen, Lernbehinderungen oder frühkindlichen Autismus.

Die Diagnosestellung erfolgt einerseits durch den Nachweis gestörter zentralauditiver Prozesse, andererseits durch den Ausschluss allgemeiner kognitiver oder genereller perzeptiver Dysfunktionen, z.B. sensorischer Integrationsstörungen. Damit ist ein interdisziplinärer Diagnoseansatz zu empfehlen. Phoniatriisch-pädaudiologische Aufgabe ist es, zentralauditive Störungen nachzuweisen und periphere Hörstörungen auszuschließen. Zum Einsatz kommen sowohl subjektive als auch objektive Testverfahren. Viele der Tests sind nicht standardisiert und darüber hinaus in ihrer Wertigkeit umstritten. Daher ist eine umfassende Testbatterie aus subjektiven und objektiven Tests erforderlich (Ptok et al., 2000).

## **1.2. Die zeitliche Auflösung als Komponente auditiver Verarbeitung und Wahrnehmung**

Das zeitliche Auflösungsvermögen ist eine für das Sprachverständnis wesentliche Eigenschaft des menschlichen Gehörs. Es wird angenommen, dass bei Kindern mit durch AVWS bedingten Sprachentwicklungsstörungen ein wesentliches Element die mangelnde zeitliche Auflösung ist (Gross et al., 2001; Veit, 1994). Die Organisation von Sprache im zeitlichen Ablauf impliziert, dass – auf perzeptiver Seite – neben Verarbeitung und Analyse der sprachlichen Information ebenso eine Auflösung der zeitlichen Strukturen erfolgen muss. Bei den Zeitdimensionen, die für die Verarbeitung von gesprochener Sprache von Bedeutung sind, handelt es sich häufig um Zeiträume, die im alltäglichen Sprachgebrauch nicht bewusst wahrgenommen werden (einige Hundertstel bis einige Millisekunden) (Veit, 1994).

Tallal und Piercy legten 1973 erstmals die Hypothese von einem Defizit der zeitlichen Verarbeitung als Basis für Sprachentwicklungsstörungen (SES) vor. In ihrer Studie mussten die Kinder zum einen die Reihenfolge von zwei Reizen (Tönen) wiedergeben, zum anderen mussten die Kinder beurteilen, ob zwei aufeinanderfolgende Reize

gleich oder unterschiedlich waren. Die Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen waren bis zu 350 ms deutlich schlechter in beiden Aufgabentypen. In einer späteren Arbeit variierte auch die Reizdauer (Tallal und Piercy, 1973). Die Kontrollkinder konnten die Aufgabe bei einer Reizdauer von 75 ms lösen, die SES-Kinder erst bei 250 ms. Somit muss sprachentwicklungsgestörten Kindern erheblich mehr Verarbeitungszeit zur Verfügung gestellt werden, damit sie in der Lage sind, unterschiedliche Reize zu diskriminieren (Uwer, 2000).

### **1.3. Die Bedeutung der Ordnungsschwelle bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen**

Die Bestimmung der Ordnungsschwelle (OS) wird als ein mögliches Verfahren zur Diagnose der AVWS kontrovers diskutiert (Meister et al., 2000). Untersuchungen der OS werden häufig im Zusammenhang mit Sprachentwicklungsverzögerungen, Lese-Rechtschreibschwäche (LRS) und Aphasien durchgeführt. Bereits 1985 berichtet Pöppel über erhöhte Ordnungsschwellenwerte bei Aphasikern mit seitengleichen Stimuli. Nach ihm läuft die zentrale Verarbeitung von Wahrnehmungsreizen nicht kontinuierlich ab, sondern wird in diskontinuierlichen Zeitfenstern von 30-40 ms verarbeitet.

Die Ordnungsschwelle ist definiert als der minimale zeitliche Abstand zweier Ereignisse, die noch getrennt wahrgenommen werden, also in eine zeitliche Abfolge und damit in eine Ordnung gebracht werden können (Nickisch, 1999; Meister, 1998). Mit der Bestimmung der OS untersucht man die Fähigkeit, die zeitliche Reihenfolge von Reizen anzugeben. Hier handelt es sich um ein psycho-physiologisches Meßverfahren, dem die Zeitauflösung bei der Verrechnung von Sinnesleistungen zugrunde liegt (Maier, 1999). Üblicherweise wird die OS derart ermittelt, dass zwei Klicks mit randomisierten Zeitdifferenzen im Bereich mehrerer Millisekunden getrennt rechts und links vorgespielt werden. Der Proband muss angeben, von welcher Seite der erste Stimulus kommt. Für Erwachsene werden in der Literatur Ordnungsschwellenwerte mit 30-40 ms angegeben (Pöppel, 1985; Ilmberger, 1986). Nach Kegel (1991) liegt die OS der meisten gesunden Menschen ab dem achten bis zehnten Lebensjahr bei ca. 20 ms. Der visuelle und auditive OS-Wert stimmten überein. Nickisch erstellte 1999 Referenzwerte (120 Kinder) für die OS im Vor- und Grundschulalter: In der

Referenzgruppe ergab sich ein Mittelwert von 132 ms mit einer Standardabweichung von 47 ms. Bei Kindern ohne Schul- oder Sprachentwicklungsauffälligkeiten, jedoch mit unterdurchschnittlichem Mottiertest und/oder eingeschränktem Testwert im Zahlenfolgegedächtnis fand sich ein Mittelwert von 175 ms, die Standardabweichung betrug 65 ms. Bei sprachauffälligen Kindern mit auffälligen Ergebnissen im Mottiertest und Zahlenfolgegedächtnis lag die OS im Mittel bei 306 ms mit einer Standardabweichung von 123 ms. Die Ordnungsschwellenwerte der Kinder liegen damit deutlich über denjenigen Werten gesunder Erwachsener. Die Werte nehmen jedoch ausgehend vom fünften Lebensjahr kontinuierlich in Richtung auf die bekannten Werte (30-40 ms) Erwachsener ab. Die Verlängerung der OS bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen entspricht den Beobachtungen von Tallal et al. (1996) und Merzenich et al. (1996). Warnke (1996) gibt die OS ab dem neunten Lebensjahr mit ungefähr 30–

40 ms an. Bei Sechsjährigen läge sie bei etwa 60 ms. Bei sprachauffälligen Kindern sei sie zumeist um das Zwei- bis Dreifache verlangsamt.

Zusammenfassend läßt sich also folgendes feststellen: Ordnungsschwellenwerte für Erwachsene werden mit 20-40 ms angegeben (Pöppel, 1985; Ilmberger, 1986; Kegel, 1991; Warnke, 1996). Kinder zeigen deutlich höhere OS-Werte (Nickisch, 1999; Kegel, 1991; Warnke, 1996). Ab dem 5. Lebensjahr nimmt die OS kontinuierlich ab, ab ungefähr dem 10. Lebensjahr zeigen sich Erwachsenenwerte (Kegel, 1991; Warnke, 1996; Maier, 1999). Bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen lassen sich höhere OS nachweisen als bei unauffälligen Kindern (Nickisch, 1999; Warnke, 1996).

## **1.4. Ereigniskorrelierte Potentiale (EKP)**

### **1.4.1. Ableitung und Verstärkung**

Ereigniskorrelierte Potentiale sind Spannungsveränderungen im EEG, die in einem zeitlichen Zusammenhang mit einem Ereignis (sensorischer, motorischer oder psychischer Art) stehen (Coles und Rugg, 1996). Bei der Messung von EKPs wird meist eine unipolare Ableitung verwendet. Es wird die Spannungsdifferenz jeweils zwischen einer Elektrode, die in einer Region der interessierenden Hirnaktivität platziert ist, und einer Referenzelektrode über einer elektrisch weitgehend inaktiven Region

(z.B. den Mastoiden) verstärkt und aufgezeichnet. Je nach Reizbedingung und Fragestellung werden zwischen einer und über 50 Elektroden angebracht (Uwer, 2000).

#### **1.4.2. Komponenten der EKP**

Nach der Mittelung ergibt sich eine Kurve mit mehreren positiven (P) und negativen (N) Gipfeln (peaks), die durch ihre Latenzen und Amplituden charakterisiert werden können. Die jeweiligen Komponenten entsprechen Spannungen, welche sich zwischen Ableite- und Referenzelektrode auf- und abbauen.

#### **1.4.3. Akustisch evorzierte Potentiale (AEP) bei Erwachsenen**

Kortikal akustisch evorzierte Potentiale (Cortical auditory evoked potentials - CAEP) bestehen innerhalb der ersten 250 ms nach Stimulusgabe typischerweise aus vier Komponenten: P1, N1, P2, N2. Beim Erwachsenen treten diese CAEP in folgenden Zeitfenstern auf: P1 zwischen 55 und 80 ms; N1 zwischen 80 und 110 ms, P2 zwischen 145 und 180 ms und N2 zwischen 180 und 250 ms (McPherson et al., 1996). Beim Erwachsenen sind die Amplituden von N1 und P2 deutlich ausgeprägt, die von P1 und N2 nur gering. Daher spricht man auch vom N1-P2-Komplex (Lange, 2002). Die Komponenten P1, N1 und P2 sind weitgehend exogener Natur, also wesentlich von den Stimuluseigenschaften abhängig. Die Komponenten können nicht so klar einem Ursprungsort zugewiesen werden, sondern haben mehrere Generatoren, die einander überlappen.

#### **1.4.4. Entwicklung der akustisch evorzierten Potentiale**

Morphologie, Amplituden und Latenzen der AEPs verändern sich bis ins späte Jugendalter. Die genaue Charakteristik ist noch nicht abschließend geklärt. Meist sieht man mit zunehmenden Alter eine Verkürzung der Latenzen und häufig auch eine Abnahme der Amplituden (Tonnquist-Uhlen et al., 1995; Martin et al., 1988).

Morphologische Veränderungen der AEPs bei Kindern wurden beschrieben. Bei Kindern lässt sich der bei Erwachsenen typische N100-P200 Komplex noch nicht beobachten. Courchesne (1990) fand bei vier- bis achtjährigen Kindern auf sprachliches Stimulusmaterial einen positiven Peak mit einer Latenz von 85 bis 120 ms gefolgt von einer Negativierung bei etwa 240 ms. Erst ab dem Jugendalter lässt sich die N1

zuverlässig feststellen. Diese Komponentenstruktur ließ sich in ähnlicher Form mit Silben (Kraus et al., 1993) und Sinustönen als Stimuli mehrfach replizieren (Korpilahti und Lang, 1994; Kurtzberg et al., 1995; Johnstone, 1996).

#### **1.4.5. Akustisch evorzierte Potentiale und Sprachentwicklungsstörungen**

Die Ergebnisse bei sprachentwicklungsgestörten Kindern sind uneinheitlich, so z.B. bei der N100 und N250. Mehrfach wurden verlängerte N1-Latenzen festgestellt, teilweise in Abhängigkeit vom Ableitort und/oder ISI (Dawson et al., 1989; Lincoln, 1995; Tonnquist-Uhlen 1996). Es fanden sich abweichende N1- bzw. N250-Amplituden, jedoch war die Richtung der Abweichung nicht einheitlich (Korpilahti und Lang, 1994; Neville, 1993; Lincoln, 1995).

### **1.5. Mismatch Negativity (MMN)**

#### **1.5.1. Entstehung der MMN**

Erst vor relativ kurzer Zeit wurde die Teilkomponente ereigniskorrelierter Potentiale, die Mismatch Negativity (MMN), entdeckt. Die MMN trägt zur Aufdeckung zentraler auditorischer Prozesse bei. Mit ihr ist es möglich, objektive Messungen über die zentrale Hörverarbeitung durchzuführen, welche die Grundlage für das korrekte Verstehen von Sprache darstellt (Näätänen, 1995). Die MMN wurde erstmalig 1978 von Näätänen et al. beschrieben. In den 90er Jahren ist die MMN eine der am intensivsten erforschten Teilkomponenten der EKP gewesen (Übersichten bei Näätänen, 1995; Cheour, 2000; Näätänen und Alho, 1997; Näätänen und Escera, 2000). Näätänen und Escera (2000) betonen, dass die MMN die einzige valide objektive Messmethode sei, um die zentrale auditorische Verarbeitung im menschlichen Gehirn genau darzustellen. Die MMN erhält man, indem man dem Probanden einige Hundert identische Standardreize präsentiert. Diese werden gelegentlich durch akustisch abweichende Reize ersetzt. Danach wird die Antwort der Standardreize von der der Deviantreize abgezogen. Diese Differenzkurve zeigt eine Negativität, welche abhängig von der Größe der Stimulusabweichung ist, mit einem Maximum 100 bis 200 ms nach Stimulusbeginn. Diese Negativität wird durch einen Diskriminationsprozeß erzeugt, der im auditorischen Kortex stattfindet (Näätänen, 1995). Die MMN wird durch Änderungen der Frequenz, Intensität, Reizlänge (Näätänen, 1992), räumlichen

Lokalisation einer Geräuschquelle (Paavilainen et al., 1989) oder der Auslassung eines zusammengesetzten Reizes (Nordby et al., 1991) ausgelöst. Vor allem in den 90er Jahren wurde die MMN bei Änderungen von Sprachreizen untersucht (Kraus, 1996; Cheour-Luhtanen et al., 1995; Korpilahti und Lang, 1994; Leppänen et al., 1999; Cheour et al., 1997, 1998; Kraus et al., 1993; Kraus et al., 1999). Verschiedene Merkmale machen die MMN zu einem vielversprechenden Werkzeug in der auditorischen Forschung und der klinischen Praxis (Näätänen, 1995): Die MMN tritt bei jeder Änderung eines sich wiederholenden Lautes auf, der diskriminierbar ist. Die MMN bietet eine objektive Messung der individuellen Diskriminationsfähigkeit für verschiedene einfache und komplexe Lautmerkmale. Die MMN ist unabhängig von der Aufmerksamkeit. Durch die MMN kann ein Einblick in neurophysiologische Prozesse gewonnen werden, die dem Hören zugrunde liegen. Mit der MMN kann das auditorische Kurzzeitgedächtnis untersucht werden, welches für die korrekte Sprachverarbeitung und das Verstehen von entscheidender Bedeutung ist.

### **1.5.2. Generatoren der MMN**

Es wird angenommen, dass die MMN aus mindestens zwei Subkomponenten besteht. Die eine, eine sensorisch – spezifische Subkomponente, soll im auditorischen Kortex liegen (Alho, 1995; Giard et al., 1990). Die andere soll sich im frontalen Kortex befinden, rechts stärker ausgeprägt als links (Giard et al., 1990)..

### **1.5.3. Plastizität der MMN**

Die MMN wurde in mehreren Untersuchungen verwendet, um die neurophysiologischen Korrelate bei Lernvorgängen zu untersuchen. Diese Studien zeigen, dass Übung oder Erfahrung in einem bestimmten Sprachbereich die MMN in Amplitude, Latenz oder Länge beeinflussen können. Kraus et al. (1995) trainierten Erwachsene, die zwei ähnlich klingenden Varianten der Phoneme /da/ und /ga/ zu diskriminieren. Nach einer Woche Training hatten sich die Amplitude, Fläche und Länge der MMN vergrößert. Dieser Effekt hielt noch einen Monat nach Trainingsende an.

#### **1.5.4. MMN bei gesunden Kindern**

Trotz zahlreicher MMN-Studien bei Erwachsenen wurden bisher nur relativ wenige Studien bei Kindern durchgeführt. Dabei scheint die MMN eine vielversprechende Methode zu sein, um die auditorische Diskriminationsfähigkeit bei Kindern zu untersuchen. Der Vorteil der MMN ist, dass sie unabhängig von der Aufmerksamkeit der Kinder ist (Paavilainen et al., 1993). So wurde die MMN z.B. bei Änderungen der Tonfrequenz nachgewiesen (Ceponiemi et al., 1998; Holopainen et al., 1997; Gumenyuk et al., 2003).

Alho war 1990 der erste, der die MMN bei Kindern nachwies. Sein Standardton betrug 1200 Hz. Die 1000 Hz-Devianten lösten fronto-zentral eine MMN mit einer Latenz bei 200-400 ms aus.

#### **1.5.5. Plastizität der MMN bei gesunden Kindern**

Cheour et al. (1998) konnten bei finnischen und estnischen Kindern nachweisen, dass sich sprachspezifische Gedächtnisspuren in einem Alter von einem Jahr entwickeln. Es wurde in dieser Studie als Standardreiz /e/ verwandt, das in beiden Sprachen vorkommt, gegen die Devianten /ö/ (beide Sprachen) und /o/ (nur im Estnischen vorkommend). Bei sechs Monate alten finnischen Säuglingen gab die MMN-Amplitude nur die akustische Differenz zwischen Standard und Deviant wieder, die MMN war auf den estnischen Vokalprototyp genauso ausgeprägt wie auf den finnischen. Im Alter von einem Jahr war dagegen die Antwort auf den unbekanntesten estnischen Vokalprototypen schon deutlich abgeflacht im Vergleich zur MMN-Antwort auf den finnischen. Gleichzeitig stiegen die MMN-Amplituden bei den finnischen Kindern für die finnischen Vokale zwischen sechs Monaten und einem Jahr deutlich an. Dagegen zeigten die estnischen Kleinkinder auf beide Vokale, die ja estnischen Prototypen entsprachen, eine gleich ausgeprägte MMN. Im Alter von einem Jahr können also im Vergleich zum 6. Lebensmonat muttersprachliche Reize besser und fremdsprachliche Reize schlechter diskriminiert werden.

#### **1.5.6. Reifung der MMN**

Die meisten der erwähnten Studien zur MMN bei Kindern deuten darauf hin, dass die MMN eine in der Entwicklung sehr stabile EKP-Komponente bezüglich ihrer Latenz

und Amplitude ist im Vergleich zu anderen späten EKP-Komponenten. Zwischen Schulkindern und Erwachsenen gibt es keine großen Unterschiede bezüglich der Latenz (Kraus et al., 1993; Csepe, 1995; Kraus et al., 1992), wobei die Latenz bei Säuglingen etwas länger sein soll (Cheour et al., 1997, 1998). Einige Studien zeigen, dass sich die Latenz signifikant im Schulalter vermindert (Korpilahti und Lang, 1994; Kurtzberg et al., 1995; Shafer et al., 2000). Das Ausmaß der MMN erwies sich in der Mehrzahl der Fälle bei Schulkindern als etwas größer (Kraus et al., 1993; Csepe, 1995; Kraus et al., 1992) bzw. signifikant größer (Shafer et al., 2000) oder gleich groß (Csepe, 1995) im Vergleich zu den Erwachsenen. Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern bestehen anscheinend in den Lokalisationsmaxima und der Nachweisbarkeit der MMN bei Kleinkindern im Schlaf. Bei Erwachsenen kann die MMN im Schlaf nicht nachgewiesen werden (Cheour et al., 1997, 1998; Cheour-Luhtanen et al., 1996; Leppänen et al., 1997). Bei Erwachsenen ist die MMN typischerweise frontozentral am ausgeprägtesten (Alho, 1995), bei nicht sprachlichen Stimuli über der rechten Hemisphäre (Paavilainen, 1991). Neue Studien zeigen, dass bei Kindern nicht nur über frontalen und zentralen, sondern auch über parietalen Arealen die MMN abgeleitet werden kann (Cheour et al., 1998; Leppänen et al., 1997). Kraus et al. wiesen 1999 nach, dass die MMN bei Kindern eher zentral abgeleitet werden sollte. Da die frontalen Anteile des Gehirns später myelinisieren, könnte daher auch die frontale Komponente der MMN später reifen (Alho, 1995).

### **1.5.7. MMN bei klinisch auffälligen Kindern**

Die meisten MMN-Studien bei klinisch auffälligen Kindern konzentrierten sich auf Leserechtschreibstörungen sowie Lern- und Sprachentwicklungsstörungen. Korpilahti und Lang (1994) waren mit die ersten, die bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen (SES) MMN-Messungen durchführten. Es wurden gesunde 7- bis 13-Jährige mit gleichaltrigen SES-Kindern verglichen. Hier zeigte sich, dass die MMN-Amplitude in der SES-Gruppe bei Frequenzänderung (500 vs. 533 Hz) und bei deutlicher Tonlängenänderung (50ms vs. 500ms) signifikant reduziert war. Bei den Kontrollkindern verkürzte sich im Gegensatz zu den SES-Kindern die Latenz der MMN mit dem Alter. Während bei den unauffälligen Kindern die MMN rechtshemisphärisch am ausgeprägtesten war, insbesondere bei der Frequenzänderung, war die MMN bei den

SES-Kindern linkshemisphärisch ausgeprägter. Holopainen et al. (1997) konnten diese Ergebnisse bei drei- bis siebenjährigen SES-Kindern wiederholen.

### **1.5.8. MMN im Zusammenhang mit der zeitlichen Verarbeitung**

Untersucht wurde auch der Zusammenhang zwischen der MMN und der zeitlichen Verarbeitung. Für Kinder mit Lernbehinderung ist es oft schwierig, schnelle Veränderungen in der Sprache zu diskriminieren (Tallal, 1980; Merzenich et al., 1996).

Kraus et al. (1996) untersuchten deshalb 6- bis 15-Jährige mit und ohne Lernbehinderung. Zunächst sollten die Kinder aktiv unterschiedliche /da/ und /ga/ (schnelle spektrotemporale Änderung eines Formanttransienten in einem /da/-/ga/-Kontinuum) diskriminieren. Die Kinder wurden anschließend in schlechte und gute Diskriminierer eingeteilt und deren „passive“ neurophysiologische Korrelate gemessen. Die schlechten Diskriminierer zeigten auch geringere Amplituden in der MMN-Antwort. Eventuell könnten bei Lernbehinderung nicht nur höher stehende Verarbeitungsprozesse gestört sein, sondern schon die auditive Wahrnehmung auf der Ebene der vorbewussten Detektion. Hugdahl et al. (1998) verglichen bei zwölf dyslektischen und zwölf Kontrollkindern (mittleres Alter 11,7 Jahre) einen Frequenzdevianten (1000 Hz vs. 1050 Hz) und einen Zeitdevianten. Dem Zeitdevianten ging ein kürzeres ISI voraus als dem Standardreiz (500 statt 650 ms). Bei den dyslektischen Kindern zeigte sich eine verlängerte MMN-Latenz auf den Zeitdevianten und höhere Amplituden auf den Frequenzdevianten.

### **1.5.9. Die Anwendung der MMN in der Diagnostik bei Kindern**

Die MMN scheint ein viel versprechendes diagnostisches Messverfahren für klinisch auffällige Kinder zu sein. Cheour et al. (2000) fasst die Anwendung der MMN folgendermaßen zusammen: Die MMN scheint als weitgehend aufmerksamkeitsunabhängiges und bei Kindern sogar im Schlaf messbares Potential nach heutigem Wissen geeignet zu sein, um Sprachwahrnehmung, auditives Gedächtnis und auditive Diskrimination in unterschiedlichen Gruppen zu untersuchen. Insgesamt kann ein besseres Verständnis von zentral auditiver Wahrnehmung und Verarbeitung und der Beziehung zu kognitiven Fähigkeiten erreicht werden.

## 2. Fragestellung

Bis jetzt gibt es nur wenige MMN-Studien mit größeren Fallzahlen bei Kindern der ersten Grundschuljahre. In der Klinik für Audiologie und Phoniatrie ist ein Messaufbau für die Ableitung und Auswertung von EKP/MMN-Signalen entwickelt worden, um eine in der Klinik einsetzbare kindgerechte Messmethodik zu verwirklichen (Nubel et al., 1998). Die Fähigkeit zur korrekten zeitlichen Verarbeitung von Sprache ist ein wichtiger Teilaspekt der ungestörten Sprachwahrnehmung und Verarbeitung. Es ist vielfach nachgewiesen worden, dass gerade bei Kindern mit bestehender AVWS oder LRS die Fähigkeit, Sprache in ihrer normalen Geschwindigkeit wahrzunehmen, reduziert ist. Um ein besseres Verständnis für die Mechanismen und Zusammenhänge zu erlangen, die an der normalen oder gestörten zeitlichen Verarbeitung beteiligt sind, ist es sinnvoll, die Ergebnisse subjektiver Messmethoden mit denen der ereigniskorrelierten Potenziale beim selben Kind zu vergleichen. In Hinblick auf einen Einsatz des Untersuchungsverfahrens in der klinischen Diagnostik werden zunächst die Messergebnisse normalentwickelter Kinder benötigt. In der vorliegenden Studie sollen deshalb normalentwickelte Schulkinder der 2. und 3. Klasse untersucht werden. Mit den gleichzeitig durchgeführten audiometrischen und psychometrischen Verfahren sowie der Ordnungsschwellenmessung sollen die subjektiven Leistungen der Kinder dokumentiert werden. Es soll die Anwendbarkeit der EKP/MMN-Ableitung im klinischen Alltag mit dem verwendeten Messaufbau beurteilt werden und ob die EKP-/MMN-Messung als Instrument zur Diagnostik einer AVWS geeignet ist. Zum Vergleich wurden 16 unauffällige Erwachsene und 20 sprachauffällige Kinder mit dem gleichen Versuchsaufbau getestet.

Folgende Hypothesen sollen in der vorliegenden Arbeit untersucht werden:

1. Mit Reiz 1 (OS 200 ms) und Reiz 2 (OS 80 ms) lassen sich akustisch evorzierte Potentiale bei gesunden Erwachsenen, normal entwickelten Kindern und Kindern mit AVWS u./o. LRS darstellen.
2. Mit Reiz 1 (OS 200 ms) und Reiz 2 (OS 80 ms) lassen sich Differenzkurven (MMN) bei gesunden Erwachsenen, normal entwickelten Kindern und Kindern mit AVWS u./o. LRS darstellen.
3. Reiz 1 (OS 200 ms) und Reiz 2 (OS 80 ms) messen die Ordnungsschwelle objektiv mittels MMN.

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1. Versuchspersonen**

##### **3.1.1. Normal entwickelte Schulkinder**

Für das Normalkollektiv untersuchten wir 62 Schulkinder der 2. und 3. Grundschulklasse aus unterschiedlichen Berliner Bezirken (Wilmersdorf, Schöneberg, Zehlendorf) im Alter von 7,08 bis 10,08 Jahren (mittleres Alter 8,91 Jahre, 35 Mädchen, 27 Jungen). In die Studie wurden die Kinder aufgenommen, deren Testergebnisse in den normierten Verfahren innerhalb der für die jeweilige Altersgruppe vorgegebenen Normalwerte lagen. D.h. Kinder, die in Bezug auf ihre visuelle, kognitive, sprachliche und auditive Entwicklung unauffällig waren, soweit dies mit den angewandten normierten Verfahren zu beurteilen war. 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, Rechtshändigkeit. Die Ethikkommission des Universitätsklinikums Benjamin Franklin der Freien Universität Berlin genehmigte die Studie vor ihrem Beginn. Die Kinder nahmen nach ausführlicher Information und mit schriftlichem Einverständnis der Eltern auf freiwilliger Basis teil.

##### **3.1.2. Erwachsene Kontrollpersonen**

Bei 16 normalhörigen, anamnestisch gesunden Erwachsenen von 21 bis 41 Jahren (mittleres Alter 28,93 Jahre; 9 Frauen, 7 Männer) mit unauffälliger Anamnese bezüglich Sprachentwicklung und LRS wurden die MMN-Messung mit den gleichen Reizparametern und dem gleichen Messplatzaufbau wie bei den Studienkindern durchgeführt.

##### **3.1.3. Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen**

20 Kinder (mittleres Alter 10,11 Jahre; 8 Mädchen, 12 Jungen) mit Sprachentwicklungsstörungen, die zur Abklärung der auditiven Wahrnehmung und Verarbeitung in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie vorgestellt wurden, wurden entsprechend dem Studienschema untersucht.

### **3.2. Untersuchungsablauf**

Ein Teil der Untersuchungen erfolgte in der Schule zu Unterrichtszeiten (Diagnostischer Rechtschreibtest und psychometrische Tests), die audiometrischen und pädaudiologischen Untersuchungen sowie die MMN-Messungen wurden in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie zwischen 14<sup>00</sup> und 16<sup>00</sup> Uhr durchgeführt. Dabei wurden jeweils 4 Kinder parallel im Rotationsverfahren untersucht (EKP-Messung, Lautbestandserhebung, psychometrische Tests, audiometrische und pädaudiologische Untersuchungen).

### **3.3. Anamnese, Lautbestandserhebung und pädaudiologische Untersuchung**

Vor der Studie erhielten die Eltern einen Fragebogen zur Anamnese ihres Kindes bezüglich Vorerkrankungen, insbesondere zum Hals–Nasen–Ohren-Bereich, und zur Sprachentwicklung (Muster im Anhang). Der Lautbestand wurde anhand des in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie in der Routinediagnostik eingesetzten Befundbogens erhoben. Bei allen Kindern erfolgte eine Hals-Nasen-Ohren-Spiegeluntersuchung und Ohrmikroskopie, um pathologische Befunde auszuschließen.

### **3.4. Subjektive audiometrische Untersuchungen**

#### **3.4.1. Peripheres Hörvermögen**

Tonschwellenaudiogramm:

Das Tonschwellenaudiogramm dient der Überprüfung des peripheren Hörvermögens. Es wird mit einem nach internationalen Eichstandard und DIN 45620 genormten Audiometer durchgeführt. Dabei wird die Luftleitungsschwelle 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. Es folgen Messungen der tieferen und höheren Frequenzen, so dass sich ein graphisches Bild der individuellen Hörkurve als Tonschwellenaudiogramm darstellt. Als normalhörig wurden Kinder mit einer Hörschwelle in Luftleitung zwischen 0-15 dB im Bereich von 125 – 8000 Hz definiert (Northern u. Downs, 1991).

### **3.4.2. Sprachverständnis, auditive Diskrimination**

Freiburger Sprachverständnistest (FSV):

Dieser Test dient der Überprüfung des Sprachverständnisses und der auditiven Diskrimination. Der FSV wird via Audiometer im Freifeld über Lautsprecher durchgeführt. Zehn Einsilber mit 65 dB (SPL) werden von vorne dargeboten (CD Westra Nr. 4 nach DIN 45621). Die erreichte Sprachverständlichkeit wird in einem speziellen Testformular als Prozentwert vermerkt. Mit dem erzielten Diskriminationswert ist es möglich, eine repräsentative Aussage zum Sprachverständnis zu erzielen (Döring, 1992; Keller, 1977). Der Test kann auch im Störschall durchgeführt werden.

### **3.4.3. Lautdiskrimination**

Heidelberger Lautdifferenzierungstest (H-LAD):

Der H-LAD prüft, ob und in welchem Ausmaß eine Lautanalyse- und Differenzierungsschwäche bei Kindern vorliegt. Dargeboten wird der 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) Differenzierung von Konsonanten: Dieser Untertest setzt sich aus einem auditiven und einem kinästhetischen Teil zusammen. In dem auditiven Teil müssen die Kinder beurteilen, ob das durch die CD vorgegebene Wort- bzw. Silbenpaar gleich oder verschieden klingt. Anschließend sprechen die Kinder die Wort- und Silbenpaare nach (kinästhetischer Teil). Dabei handelt es sich um Wortpaare, die sich lediglich durch einen Konsonanten unterscheiden (sog. Minimalpaare, z.B. Nadel/Nagel). Untertest 2) Analyse und Differenzierung von Konsonantenhäufungen im Anlaut: Hier wird die Fähigkeit geprüft, Konsonanten am Wortanfang richtig zu benennen. Die Kinder sollen nach Vorgabe eines Wortes die ersten beiden Laute nennen. Der Test ist für die 2. und 4. Klasse normiert, soll jedoch im ganzen Grundschulbereich anwendbar sein (Brunner et al., 1999).

## **3.5. Psychometrische Testverfahren**

### **3.5.1. Intellektuelle Entwicklung**

Coloured Progressive Matrices nach Raven (CPM):

Hierbei handelt es sich um ein sprachfreies Untersuchungsverfahren zur Erfassung der allgemeinen Intelligenz (Altersgruppe 4,9 bis 11 Jahre). Die Leistung wird mit zwei Werten angegeben: Prozentrang und Intelligenzquotient (IQ). Das Testmaterial besteht aus geometrischen Figuren oder Mustern, die ergänzt werden sollen. Der Test ist unabhängig von sozioökonomischen Einflüssen. Die Eichung erfolgte in Deutschland von 1971 – 76 an 3.607 Kindern (Becker et al., 1980).

### **3.5.2. Visuelle Wahrnehmung**

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

Mit dem MVPT-R wird die visuelle Wahrnehmungsfähigkeit überprüft. Dabei wird jegliche motorische Beteiligung vermieden. Die visuelle Wahrnehmung umfasst folgende Kategorien: räumliche Wahrnehmung, visuelle Diskrimination, Figurhintergrund, visuelles Ergänzen und visuelles Gedächtnis. Zeitlich ist der Test nicht begrenzt. Er wurde in den USA an 912 Kindern der Altersgruppe vier bis 11 Jahre standardisiert. Als Wert gibt er einen Wahrnehmungsquotienten sowie einen Hinweis auf das Wahrnehmungsalter (Hammill, 1996).

### **3.5.3. Rechtschreibleistung**

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

Der DRT bietet zum einen eine quantitative Bewertung und damit eine zuverlässige Beurteilung der Rechtschreibleistung, zum anderen eine qualitative Bewertung, die eine Einschätzung liefert, ob es sich um Regel - oder Wahrnehmungsfehler handelt. Der DRT 2 wurde an 2313, der DRT 3 an 2234 Schülern in Deutschland 1995 neu normiert (Müller, 1994 u. 1997). Es handelt es sich um einen Lückentext: 32 Wörter werden mit zunehmender Schwierigkeit diktiert und von dem Kind in Satzlücken geschrieben. Die Auswertung erfolgt in Prozenträngen. Kinder, die im Prozentrang unter 10% lagen, wurden bei einem IQ >70 als lese -rechtschreibgestört definiert und damit vom Normalkollektiv ausgeschlossen.

### **3.5.4. Auditive Synthese, Ergänzung, Speicherung und Sequenz**

Psycholinguistischer Entwicklungstest (PET):

Bei dem PET handelt es sich um ein diagnostisches Instrument zur Beurteilung der sprachlichen Entwicklung. Für die einzelnen Untertests lassen sich T-Werte für die Altersgruppen 3 bis 9,11 Jahre ermitteln. Insgesamt handelt es sich um eine Batterie von 12 relativ unabhängigen Subtests, von denen drei verwendet wurden, die für die Beschreibung der auditiven Wahrnehmung Bedeutung haben:

Zahlenfolgegedächtnis (ZFG): Wiedergabe einer Reihe akustischer Stimuli. Der Test prüft das Kurzzeitgedächtnis. Die Länge der Zahlenfolgen, die hier wiederholt werden müssen, variiert zwischen zwei und acht Zahlen. Es wurde eine Expositionsrate von zwei Zahlen pro Sekunde gewählt.

Wörter ergänzen (WE): Hier muss das Kind Laute ergänzen, die beim Vorsprechen von Wörtern ausgelassen wurden. Es muß das ganze Wort erkennen und nennen. Damit wird die auditive Ergänzungsfähigkeit gemessen.

Laute verbinden (LV): Die Laute eines Wortes werden isoliert gesprochen und das Kind muss das ganze Wort wiedergeben. Damit wird die Fähigkeit zur Lautsynthese überprüft.

Die Normierung des PET erfolgte an einer Stichprobe von 2.622 Kindern (Angermeier, 1974).

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

Der HSET-IS prüft das Gedächtnis und die Wiedergabe von verschiedenen komplexen Sprachinhalten. Damit kann die auditive Speicherung bzw. das sprachauditive Kurzzeitgedächtnis beurteilt werden. Der Proband muss vorgesprochene Sätze genau reproduzieren. Die erbrachten Leistungen werden in T-Werten angegeben (Grimm, 1978).

### **3.6. Subjektive Bestimmung der Ordnungsschwelle**

Die subjektive Ordnungsschwelle wurde über Kopfhörer mit dem Ordnungsschwellentester OAV 18 der Fa. Mies getestet. Die Kinder bekommen zwei kurz aufeinander folgende seitenversetzte Klicks zu hören. Das Kind muß entscheiden, auf welchem Ohr der erste Klick zu hören ist und entsprechend die rechte oder linke Taste am Gerät drücken. Entscheidet sich das Kind richtig, verkürzt sich der Abstand zwischen

den beiden Klicks, drückt es die falsche Taste, verlängert sich der Abstand zwischen den beiden Tönen. Die Messung erfolgt über drei Minuten nach einer zweiminütigen Übungsphase. Begonnen wird in der Regel mit einer Interstimuluszeit von 150 ms. Festgehalten werden der beste Wert, der innerhalb von drei Minuten erreicht wird, und der Endwert. Vergleichswerte für neunjährige normalhörige und -entwickelte Kinder sollen unter 110 ms liegen (Nickisch, 1999; Kegel, 1991; Warnke, 1996).

### **3.7. Objektive Untersuchung der Ordnungsschwelle mittels Mismatch Negativity**

#### **3.7.1. Messplatzaufbau**

Der Messplatzaufbau zur Ableitung der Mismatch Negativity wurde 1998 erstmals von Nubel beschrieben. Ziel der Entwicklung war es, einen einfach bedienbaren und kostengünstigen Meßaufbau zu erstellen. Daher wurde auf einen handelsüblichen DOS-Rechner mit Windows-Oberfläche zurückgegriffen. Das Programm wurde unter Visual Basic programmiert und läuft auf jedem DOS-Rechner, der nach Möglichkeit aber einen Pentium-Prozessor mit 200 MHz mit SCSI-Controller und einem Arbeitsspeicher von 64 MB haben sollte. Als Betriebssystem wird Windows 95 benötigt (s. Abschnitt Hardware). Die Versuchspersonen saßen zur Messung in einer schallisolierten Kammer in einem Armlehnstuhl. Sie sollten möglichst ruhig und entspannt sitzen und die akustischen Reize ignorieren (s. a. Abschnitt Videosedierung).

##### **3.7.1.1. Elektroden**

Über handelsübliche Silberchloridelektroden in Anlehnung an das internationale 10/20 EEG-System wurde an den Orten F3, F4, C3, C4 abgeleitet, da im frontozentralen Bereich und über dem primären und sekundären auditorischen Kortex die ausgeprägtesten MMN-Antworten zu erwarten sind (Alho, 1995; Csepe, 1995). Als Referenzelektroden dienten Klebe-Elektroden an beiden Mastoiden jeweils für die betreffende Hemisphäre (F3,C3 gegen A2 und F4,C4 gegen A1) und eine Massenelektrode (Stirn).

### **3.7.1.2. Hardware**

Verwendet 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. Als Betriebssystem wurde Windows 95™ installiert. Zur Vorverstärkung der Potentiale 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.

### **3.7.1.3 Software**

Es wurde eine eigene Software zur Ableitung und Aufzeichnung von EKP und der MMN in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin an der Klinik für Audiologie und Phoniatrie entwickelt, die auf jedem Computer mit Windows™ Betriebssystem einsatzfähig ist (Lenz, 1998). Ziel war es, eine einfach bedienbare und kostengünstige Software zu Verfügung zu haben.

#### **3.7.1.3.1. Reizausgabe**

Die Reizausgabe kann mit der Software 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 Interstimuluszeit (ISI) zwischen Reizende und Anfang des nächsten Reizes sowie die gewünschte Anzahl der Mittelungen pro Standard und Deviant in einem Reizpaar ist variabel.

#### **3.7.1.3.2. Aufzeichnung der Messwerte**

Über ein grafisches Interface im Softwareprogramm zur A/D Wandlerkarte wurde die Aufzeichnung der gewünschten Rohdaten gesteuert. Digital gespeichert wurden vier 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: 534µV, minimale Eingangsspannung: - 534µV). Pro verwendetem Reizpaar wurde eine Datei mit den erhaltenen

Rohsignalen der Potenzialantworten auf der Festplatte angelegt und später auf CD-R archiviert.

#### **3.7.1.3.3. Messdatenverarbeitung**

Während der Messung können die Daten von der Wandlerkarte direkt mit den gewünschten Parametern dargestellt und ausgewertet werden. Sie können aber auch über die Messdatenrohdatei erneut eingelesen und mit anderen Verarbeitungsparametern dargestellt werden (z. B. geänderte Artefaktschwelle). Die Amplitude akustisch evozierter Potentiale (AEP) ist im Verhältnis zum überlagernden Elektroenzephalogramm (EEG) sehr gering. Das Messprogramm mittelt die Reizantworten für den Standard- und Deviantreiz separat unter Berücksichtigung der eingestellten Artefaktschwelle, 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.

#### **3.7.1.4. Videosedierung**

Während der Messung wurde ein Videofilm ohne Ton bei abgedunkeltem Raum vorgeführt, um das Vigilanzniveau der Versuchspersonen möglichst stabil zu halten (Näätänen et al., 1993). Die Versuchspersonen wurden angewiesen, auf den Film zu achten und die akustischen Reize zu ignorieren. Ziel war es, aufmerksamkeitsabhängige EKP-Anteile möglichst zu vermeiden. Als Monitor diente ein handelsüblicher Schwarz/Weiß Fernseher mit einem Bildschirm von 15 x 20 cm, der in Augenhöhe im Abstand von ca. 1,5 m vom Probanden angebracht wurde. Die Bildschirmgröße wurde mit Absicht so klein gewählt, um möglichst wenig Augenbewegungen auszulösen, da auf eine Messung der Augenartefakte bewusst verzichtet wurde.

#### **3.7.2. Reizparameter**

Alle in dieser Untersuchung verwendeten Reizparameter stellen die Messung der Ordnungsschwelle dar. Standard und Deviant unterscheiden sich jeweils in der Richtung, aus der der erste Ton eines Doppelclicks hörbar ist. Beim Standardreiz ist immer rechts der erste Ton hörbar, beim Devianten ist dieser links zuerst zu hören.

Nach einer variablen Zeitdifferenz (200 bzw. 80 ms) ist dann auf dem anderen Ohr der zweite Ton zu hören. Die Zeitdifferenz ist daher relativ lang, um on-off-Effekte zu vermeiden. Um die Kinder nicht zu sehr zu belasten, wurden pro Reizgruppe 40 Reize gegeben. Die beiden Reizpaare wurden pseudorandomisiert im Verhältnis 5:1 (Standard : Deviant) dargeboten. Dieses Verfahren wird auch als „odd-ball“ Paradigma bezeichnet und typischerweise bei MMN-Messungen eingesetzt. Das Interstimulusintervall (ISI) betrug 680 ms. 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) gezielten Reize wurden binaural über Einsteckhörer appliziert. Die Frequenz betrug 1000 Hz. Bei allen Versuchspersonen wurde die MMN auf die Reize 1 (Reizdauer = 250 ms) und 2 (Reizdauer = 130 ms) untersucht. Reiz 1 und Reiz 2 sind im Anhang grafisch dargestellt (Abb. 3.7.2.1.)

### **3.7.3. Auswertung der kortikalen EKP- und MMN-Antworten**

Die Bestimmung der MMN-Latenz und -Amplitude anhand der Differenzkurve zwischen Standard- und Deviantantwort sowie die Filterung 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. 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. Die Artefaktschwelle (AFS) für die Potenzialauswertung wurde für alle Probanden individuell für beide Reizpaare festgelegt. Voraussetzungen war, dass mindestens 75% der Deviantantworten in die Mittelung einbezogen wurden. Zur Auswertung der individuellen kortikalen Potenzialantwort auf die Standardreize wurden die Latenzen und Amplituden von P1, N1, P2 und N2 wegen der besseren Übersichtlichkeit exemplarisch bei C3 bestimmt. Zur Bestimmung der MMN wurde der Kanal der Differenzkurve mit der ausgeprägtesten Negativierung bestimmt. Die Differenzkurve zeigte in der Regel eine frühe und eine späte Negativierung mit einer dazwischenliegenden Positivierung. Es wurde dann jeweils die maximale Amplituden-

spitze in  $\mu\text{V}$  und deren Latenz in ms gemessen. Zusätzlich wurde vermerkt, ob die Negativierung/Positivierung nur angedeutet, deutlich oder entsprechend des im Programm integrierten T-Tests signifikant war. Zur Gruppenauswertung wurden die Einzelantworten übereinander gemittelt (sogenannte Grand Averagetechnik).

### **3.8. Statistische Verfahren zur Datenverarbeitung**

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. Bei den ereigniskorrelierten Potentialen wurden die Mittelwerte der Latenzen ( $\pm$  STD) und Amplituden ( $\pm$  STD) sowie Mediane und Spannweiten der einzelnen Komponenten bei der Elektrodenposition C3 aller Probanden (Erwachsene, unauffällige Kinder, Kinder mit AVWS u./o. LRS) für beide Reize dargestellt. Anschließend wurden die mittleren Latenzen und Amplituden mit dem Wilcoxon-Test einschließlich Bonferroni-Korrektur auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Reizen überprüft. Der Wilcoxon-Test ist der übliche Test zum nichtparametrischen Vergleich zweier abhängiger Stichproben (Bühl u. Zöfel, 2002). Zudem wurden die jeweiligen mittleren Latenzen und Amplituden der zwei Reize auf ihre Korrelation nach Pearson berechnet und als Streudiagramm dargestellt. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Altersgruppen erfolgte mittels der einfaktoriellen Varianzanalyse. Ob Unterschiede zwischen den Geschlechtern vorliegen, wurde mit dem U-Test nach Mann und Whitney ermittelt. Dieser ist der gebräuchlichste Test für den Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben. Die Zusammenhänge zwischen subjektiven Tests und EKP-/MMN-Messung wurden mit der Korrelation nach

Spearman getestet. Es wurde auf dem Signifikanzniveau von  $\alpha=5\%$  getestet, das bei mehrfachen Testen durch eine Bonferroni-Korrektur entsprechend angepasst wurde.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Kortikale Potentialantworten auf Ordnungsschwellenreize

#### 4.1.1. Kortikale Potentialantworten auf Standardreiz 1 und 2 bei Erwachsenen

Zunächst wurden die kortikalen Potentialantworten auf den Standardreiz der Ordnungsschwelle 200 ms (Reiz 1) und 80 ms (Reiz 2) bei den erwachsenen Kontrollpersonen ausgewertet. Die Artefaktschwelle wurde individuell festgelegt, wobei mindestens 75% der abgeleiteten Reizantworten pro Stimulus in die Auswertung mit einbezogen wurden.

In Tab. 4.1.1.1. sind die mittleren Latenzen ( $\pm$  STD) und Amplituden ( $\pm$  STD) der einzelnen Komponenten bei der Elektrodenposition C3 aller Probanden sowie die Mediane und Zeitfenster, in denen die einzelnen ausgewerteten Komponenten auftreten, für beide Reize dargestellt.

Die ereigniskorrelierten Potentiale zeigen einen typischen Verlauf mit einem deutlichen N1/P2-Komplex. Bei allen 16 Probanden treten die einzelnen Komponenten stabil auf.

Die P1 befindet sich bei beiden Reizen bei ungefähr 50 ms mit einer kleinen Amplitude. Es folgt eine deutliche N1-Komponente, die ebenfalls bei beiden Reizen bei ungefähr 95 ms liegt. Die darauf folgende P2 unterscheidet sich leicht in der Latenz. Bei der Reiz 1 liegt sie im Mittel bei 160 ms, bei Reiz 2 bei 152 ms. Die Amplituden der P2 sind bei Reiz 2 etwas größer als bei Reiz 1.

Wie in der Diskussion ausführlich dargestellt, handelt es sich bei dem gewählten Reizschema um einen zusammengesetzten Reiz. Nachdem der erste Ton auf dem rechten Ohr zu hören ist, setzt nach 200 ms (Reiz 1) bzw. 80 ms (Reiz 2) der zweite Ton auf dem anderen Ohr ein. In den Abbildungen der gemittelten kortikalen Potentialantworten der Erwachsenen auf beide Stimuli ist zu erkennen, dass eine Überlagerung der zwei Reize stattfindet. Vor allem bei Reiz 1 fällt auf, dass nach genau 200 ms, wenn der zweite Ton auftritt, sich ein erneuter Potentialverlauf abzeichnet mit einer angedeuteten Positivierung bei ca. 250 ms und einer darauffolgenden Negati-

vierung. Diese zweite Negativierung wird daher bei den Erwachsenen als N1\* bezeichnet statt wie bei den Kindern als N2. Der N1\* folgt eine auffällige Positivierung, die als P2\* bezeichnet wird und bei 386 ms (Reiz 1) liegt.

Auch bei Reiz 2 zeigt sich eine deutliche zweite Negativierung im Bereich um 208 ms und damit 113 ms nach der N1. Auch hier zeigt sich eine deutliche P2\* mit einer Latenz von 277 ms.

In der Abb. 4.1.1.1. sind exemplarisch die Potentialantworten einer Erwachsenen auf Reiz 1 und 2 dargestellt. Die gemittelten kortikalen Potentialantworten aller Erwachsenen auf beide Reize sind in Abb. 4.1.1.2. zu betrachten.

Um deutlich zu machen, bei welchen Komponenten ein signifikanter Unterschied in Latenz und Amplitude auf die beiden Reize auftrat, wurde der Wilcoxon-Test durchgeführt, getestet auf dem multiplen Signifikanzniveau von 5% nach Bonferroni-Korrektur für 10 Tests. Signifikante Differenzen zwischen den Potentialantworten auf die zwei Reize zeigen sich in der mittleren Latenz der Komponenten N1\* und P2\*. Die Latenzen sind jeweils bei OS 200 ms verlängert (s. Tab. 4.1.1.2.).

Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson wurden zur Beurteilung der Stärke der Zusammenhänge der jeweiligen Individualergebnisse der einzelnen Komponenten zwischen den beiden Reizen berechnet und ebenfalls die Bonferroni-Korrektur mit Faktor 10 durchgeführt. Die Einzelergebnisse auf beide Reize korrelieren bei der Latenz nicht signifikant miteinander, die Latenz der P1 und N1 zeigen dabei den höchsten Korrelationskoeffizienten. Bei der Amplitude findet sich bei N1 eine signifikante Korrelation (s. Tab 4.1.1.3.).

#### **4.1.2. Kortikale Potentialantworten auf Standardreiz 1 und 2 bei normal entwickelten Schulkindern**

Auch bei den 62 normal entwickelten Schulkindern wurden die kortikalen Potentialantworten auf den langen und kurzen Standardreiz der Ordnungsschwelle 200 ms (Reiz 1) und 80 ms (Reiz 2) wie bei den Erwachsenen ausgewertet. In Tab. 4.1.2.1. sind die mittleren Latenzen ( $\pm$  STD) und die mittleren Amplituden ( $\pm$  STD) sowie Mediane und Spannweiten der einzelnen Komponenten bei der Elektrodenposition C3 aller Probanden für beide Reize dargestellt. Die Morphologie der über alle Kinder gemittelten Potenzialantwort sieht auf beide Reize sehr ähnlich aus. Auffällig ist der

deutliche P1-/N2-Komplex. Die Latenz der P1 befindet sich bei beiden Reizantworten bei 85 ms. Die N2 sieht man bei Reiz 1 im Bereich um 204 ms, bei der Reiz 2 ist die Latenz etwas länger bei 216 ms. Insgesamt zeigen sich bei allen Kindern deutlich die Komponenten P1 und N2 mit einer dazwischen liegenden unterschiedlich ausgeprägten Potentialabnahme. Diese wird als N1 bestimmt, erreicht jedoch nicht immer negative Werte. Der darauf folgende diskrete Potentialanstieg wird als P2 abgegrenzt und ist nicht immer im positiven Bereich. Die N1 und P2 sind also nur sehr diskret angedeutet. Die N1 befindet sich bei Reiz 1 bei 124 ms, bei Reiz 2 bei 130 ms. Die P2 ist bei 146 bzw. 159 ms zu finden. Die N1- und P2-Komponente zeigen sich etwas deutlicher bei Reiz 2. Wie bei den Erwachsenen tritt auch hier eine deutliche Positivierung bei im Mittel 331 ms bei Reiz 1 und 360 ms bei Reiz 2 auf.

In Abb. 4.1.2.1. sind exemplarisch die Einzelantworten eines 9-jährigen Studienkindes auf die zwei Reize dargestellt. Die gemittelten kortikalen Potentialantworten der 62 Kinder auf OS 200 ms und OS 80 ms sind in Abb. 4.1.2.2. abgebildet.

In den Ergebnissen der Potentialantworten auf die beiden Reize gibt es signifikante Unterschiede. Die Mittelwerte von Latenz und Amplitude bei C3 wurden mit dem Wilcoxon-Test verglichen und nach Bonferroni mit dem Faktor 10 korrigiert (Tab. 4.1.2.2.). Die Latenzen aller Komponenten sind bei OS 80 ms verlängert, dabei sind die P2, die N2 und die P3 signifikant verlängert. Bei den Amplituden sind die P1 und die P3 signifikant bei der OS 200 ms vergrößert.

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson einschließlich Bonferroni-Korrektur mit Faktor 10 ergibt keine signifikante Korrelation von Latenz und Amplitude bei den zwei Reizen. Es fällt jedoch auf, dass die Latenz der P1 und N2 die höchste Korrelation aufweisen (s. Tab. 4.1.2.3.).

#### **4.1.3. Einfluss des Alters auf die kortikalen Potentialantworten**

Die normal entwickelten Schulkinder wurden in zwei Altersgruppen eingeteilt, um die Veränderung der einzelnen Potentialkomponenten bezüglich Latenz und Amplitude in Abhängigkeit vom Alter zu untersuchen. 32 Kinder mit einem mittleren Alter von 8,4 Jahren gehörten der Gruppe der 7- bis 8-Jährigen an, 30 Kinder mit einem mittleren Alter von 9,4 Jahren zu der der 9- bis 10-Jährigen. In den beiden Gruppen wurden die Mittelwerte ( $\pm$  STD) bestimmt (Tab. 4.1.3.1.). Die gemittelten kortikalen Po-

tentialantworten der beiden Altersgruppen auf Reiz 1 und Reiz 2 sind in den Abb. 4.1.3.1. und 4.1.3.2. dargestellt. In Abb. 4.1.3.3. sind die Potentialantworten auf Reiz 2 des jüngsten Kindes mit 7,8 Jahren und des ältesten Kindes mit 10,8 Jahren dargestellt, um die morphologische altersabhängige Veränderung des Potentialverlaufes zu veranschaulichen. Während bei der Siebenjährigen der P1/N2-Komplex dominiert, die P2 und N1 jedoch schon deutlich abzugrenzen sind, ist bei dem Zehnjährigen die N1 deutlicher ausgeprägt.

Bei den Komponenten P1, N1 und P2 weisen die jüngeren Kinder bei beiden Reizen längere Latenzen auf. Die Latenz der N2 dagegen ist bei den älteren Kindern etwas verlängert, bei Reiz 1 um 8 ms und bei Reiz 2 um 3 ms. Die Latenz der P3 ist bei Reiz 1 bei beiden Altersgruppen fast gleich bei 330 bzw. 332 ms, bei Reiz 2 ist sie bei den jüngeren Kindern 10 ms länger. Die Amplituden sind bei den jüngeren Kindern bei der N1 und P2 bei Reiz 2 vergrößert.

Vergleicht man die Latenzen und Amplituden der drei Altersgruppen 7-8 J., 9-10 J. und Erwachsene mittels der einfaktoriellen Varianzanalyse miteinander, so lässt sich folgende Aussage machen:

Ordnungsschwelle 200 ms: Bei den Kindern ist die mittlere Latenz der Komponenten P1 und N1 signifikant mit  $p < 0,05$  im Vergleich zu den Erwachsenen verlängert. Zwischen den 7- bis 8-Jährigen und 9- bis 10-Jährigen ist kein signifikanter Unterschied nachzuweisen. Die jüngeren Kinder weisen die längste Latenz auf. Die mittleren Latenzen der Kinder liegen im Gegensatz zu den Erwachsenen nah beieinander. Die Latenz der P2 unterscheidet sich zwischen den Gruppen nicht signifikant. Die mittleren Latenzen der N1\*/N2 und P2\*/P\* weisen dagegen höchst signifikante Unterschiede mit  $p < 0,001$  zwischen Kindern und Erwachsenen auf, nur sind hier die Latenzen der Erwachsenen verlängert.

Die mittleren Amplituden sind bei der P1 bei den Kindern im höchst signifikant mit  $p < 0,001$  und bei der N1 bei den Erwachsenen signifikant mit  $p < 0,05$  vergrößert. Bei der P2 besteht kein signifikanter Unterschied. Bei der N1\*/N2 zeigen wieder die Kinder deutlich größere Amplituden im Vergleich zu den Erwachsenen (hoch signifikant mit  $p < 0,01$  die 7- bis 8-Jährigen, höchst signifikant die 9- bis 10-Jährigen). Bei der P2\*/P\* ist die mittlere Amplitude der 9- bis 10-Jährigen im Vergleich zu den Erwachsenen signifikant vergrößert.

Ordnungsschwelle 80 ms: Wie bei der langen OS ist die mittlere Latenz der P1 und N1 bei den Kindern höchst signifikant mit  $p < 0,001$  im Vergleich zu den Erwachsenen verlängert. Bei der P2 zeigen die 7- bis 8-jährigen Kinder die längsten Latenzen, bei der N1\*/N2 die 9- bis 10-jährigen Kinder, jedoch ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Latenz der P2\*/P\* ist bei den Kindern wieder höchst signifikant verlängert (im Gegensatz zur OS 200, wo die Erwachsenen längere Latenzen aufweisen).

Die mittleren Amplituden sind bei der Komponente P1 bei den 9- bis 10-jährigen Kindern hoch signifikant vergrößert im Vergleich mit den Erwachsenen, bei der N1 sind die mittleren Amplituden signifikant bei den Erwachsenen vergrößert im Vergleich mit den 9- bis 10-Jährigen. Bei der P2 haben die Erwachsenen höchst signifikant größere Amplituden, bei der N1\*/N2 die Kinder. Bei der P2\*/P\* sind die Amplituden der 9- bis 10-Jährigen wieder signifikant zu denen der Erwachsenen vergrößert, die der 7- bis 8-Jährigen liegen dazwischen.

#### **4.1.4. Einfluss des Geschlechts auf die kortikalen Potentialantworten**

Die männlichen und weiblichen Probanden wurden jeweils zu einer Gruppe zusammengefasst, um zu bestimmen, ob das Geschlecht Einfluss auf die kortikale Potentialantwort bezüglich Latenz oder Amplitude hat. In beiden Gruppen wurden die Mittelwerte ( $\pm$  STD) und Mediane getrennt bestimmt (s. Tab. 4.1.4.1. und 4.1.4.4.). Die gemittelten kortikalen Potentialantworten auf beide Reize getrennt nach Geschlecht bei den Kindern und Erwachsenen sind in den Abb. 4.1.4.1., 4.1.4.2., 4.1.4.3. und 4.1.4.4. zu sehen. Die weiblichen und männlichen Schulkinder sind beide im Durchschnitt 8,9 Jahre alt. Die Potentialantworten ähneln sich in ihrer Morphologie sehr. Bei den mittleren Latenzen ergab sich bei den Schulkindern kein signifikanter Unterschied für beide Reize (Tab. 4.1.4.2. und 4.1.4.3.). Bei den Komponenten P1, N1 und P2 wiesen die Mädchen bei beiden Reizen leicht verkürzte Latenzen auf, bei der N2 dagegen leicht verlängerte. Bei Reiz 1 war die Latenz der P3 wieder etwas kürzer und bei Reiz 2 etwas länger als bei den Jungen. Auch bei den mittleren Amplituden zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Einzige Ausnahme ist die N2 bei Reiz 1, die bei den Mädchen hochsignifikant vergrößert ist. In den Abbildungen der ge-

mittelten kortikalen Potentialantworten ist besonders bei Reiz 2 zu erkennen, dass der N1-/P2-Komplex sich bei den Jungen schon etwas deutlicher abzeichnet.

Bei den Erwachsenen sind die Männer im Mittel 30,4 Jahre und die Frauen 28,4 Jahre alt. Auch hier zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in den mittleren Latenzen und Amplituden (s. Tab. 4.1.4.5. und 4.1.4.6.). Gemeinsam bei Reiz 1 und 2 sind nur die Latenzen der P2 und P2\*, die bei den Männern etwas verlängert sind.

Bei Reiz 1 ist bei den Männern und Frauen der nach 200 ms einfallende zweite Klick anhand der P1\* und N1\* deutlich zu erkennen. In allen Abbildungen hebt sich deutlich die Positivierung nach der zweiten Negativierung hervor.

## **4.2. MMN-Antworten auf Ordnungsschwellenreize**

### **4.2.1. MMN-Antwort auf Reiz 1 und 2 bei Erwachsenen**

Die Differenzkurven der 16 Erwachsenen auf die beiden Ordnungsschwellenreize (Reiz 1: OS 200 ms; Reiz 2: OS 80 ms) wurden ausgewertet. Die Auswertung der Differenzkurve erfolgte in zwei Zeitfenstern. Alle 16 Erwachsenen zeigen auf Reiz 1 und 14 Erwachsene auf Reiz 2 eine Negativierung der Kurve im ersten Zeitfenster zwischen 70 und 164 ms nach Reizbeginn. Diese Negativierung wird im folgenden als MMN I bezeichnet. Die mittlere Latenz der MMN I auf Reiz 1 liegt bei 106 ms und auf Reiz 2 bei 110 ms. Bei 16 (auf Reiz 1) bzw. 15 (auf Reiz 2) Erwachsenen kommt es anschließend zu einer Positivierung der Differenzkurve mit einer mittleren Latenz um 260 ms bei Reiz 1 und 225 ms bei Reiz 2, minimale Latenz ist hier 179 ms, maximale Latenz 320 ms. Im Zeitfenster zwischen 267 ms und 390 ms zeigen 13 (auf Reiz 1) bzw. 15 (auf Reiz 2) Erwachsene eine zweite Negativierung der Differenzkurve, die im folgenden als MMN II bezeichnet wird, mit einer mittleren Latenz von 347 ms auf Reiz 1 und 330 ms auf Reiz 2. Die genauen Mittelwerte ( $\pm$  STD) der Latenzen und Amplituden für beide Reizpaare sind in Tab. 4.2.1.1. aufgeführt. Die gemittelten Differenzkurven (Grand Average) auf Reiz 1 und 2 aller Erwachsenen sind in Abb. 4.2.1.3. dargestellt. Die Bereiche mit signifikanten Abweichungen ( $p < 0,05$ ) der Differenzkurven von der Nulllinie sind jeweils unter den Kurven gekennzeichnet. Die MMN I auf Reiz 1 ist in allen vier Kanälen signifikant. Auf Reiz 2 ist sie in allen vier Kanälen deutlich erkennbar, jedoch nur in Kanal 3 und 4 signifikant. Die Positivierung und die MMN II sind auf beide Reize in allen Kanälen signifikant. In Abb. 4.2.1.1. sind die

Individualwerte der Erwachsenen mit den einzelnen Amplituden und Latenzen als Streudiagramme dargestellt.

Die Tab. 4.2.1.2. zeigt, wie viele Erwachsene jeweils eine MMN I, MMN II und eine Positivierung zeigten. Es ist angegeben, ob die Amplitude der Differenzkurve als signifikant anhand der Signifikanzanzeige im Messprogramm eingestuft wurde.

Eine MMN I zeigt sich bei Reiz 1 bei 100%, bei Reiz 2 bei 88% der Erwachsenen.

Dabei sind 63 bzw. 64% der MMN I - Amplituden bei den einzelnen Erwachsenen auf Reiz 1 bzw. Reiz 2 als signifikant eingestuft worden. Die MMN II ist bei 81% der Erwachsenen auf Reiz 1 und 94% der Erwachsenen auf Reiz 2 nachzuweisen. Dabei sind 31% bzw. 33% signifikant. Das Antwortmuster mit einer frühen und einer späten Negativierung tritt also bei den Erwachsenen recht stabil auf.

Eine Positivierung zeigen 100% der Erwachsenen auf Reiz 1 (38% signifikant) und 94% auf Reiz 2 (47% signifikant).

Um zu untersuchen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Differenzkurven in Latenz und Amplitude auf die beiden Reize auftritt, wurde der Wilcoxon-Test durchgeführt, getestet auf dem multiplen Signifikanzniveau von fünf Prozent nach Bonferroni-Korrektur für sechs Tests. Signifikante Differenzen zwischen den Differenzkurven finden sich nicht (s. Tab. 4.2.1.3.).

In Abb. 4.2.1.2. sind die Lokalisationen der maximalen Amplituden der MMN I und MMN II dargestellt. Dafür wurde jeweils die Elektrodenposition bestimmt, in der die größte Amplitude gemessen wurde. In die Auswertung sind nur Messungen eingeschlossen worden, bei denen alle Ableitungen ohne wesentliche Artefaktüberlagerungen waren. Es ist zu erkennen, dass die maximalen Amplituden auf Reiz 1 und 2 mehr zentral zur Darstellung kommen

#### **4.2.2. MMN-Antwort auf Reiz 1 und 2 bei normal entwickelten Schulkindern**

Die Differenzkurven wurden ebenfalls bei den 62 normal entwickelten Schulkindern der 2. und 3. Klasse auf die beiden Ordnungsschwellenreize ausgewertet. Auch hier erfolgte die Auswertung der Differenzkurve in zwei Zeitfenstern.

##### Reiz 1 (OS 200 ms):

56 Studienkinder zeigen auf Reiz 1 eine Negativierung im ersten Zeitfenster zwischen 80 und 240 ms, die MMN I. Die mittlere Latenz der MMN I auf Reiz 1 liegt bei

153,98 ms (Median 147 ms). Betrachtet man jedoch die gemittelte Differenzkurve (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den normal entwickelten Schulkindern (Abb. 4.2.2.3), fällt auf, dass sich in diesem Zeitfenster zwei negative Peaks im Bereich um 120 ms und 210 ms zeigen. Wird die MMN I in ein frühes (80-160 ms) und ein spätes (160-240 ms) Zeitfenster unterteilt, so zeigen 30 Kinder eine frühe MMN I mit einer mittleren Latenz von 118,47 ms, der Median beträgt 125 ms, die Spannweite reicht von 84 bis 158 ms. 23 Kinder zeigen eine späte MMN I mit einer mittleren Latenz von 207,35 ms, der Median beträgt 209 ms, die Spannweite reicht von 170 bis 240 ms. Drei Kinder zeigen zwei frühe MMNs in diesen ersten Zeitfenster (bei 115 und 214 ms; bei 103 und 224 ms; bei 82 und 222 ms; alle jeweils mit einer dazwischen liegenden Positivierung bei 168, 160 und 158 ms). Fünf Kinder zeigen keine MMN I. Ein Kind zeigt gar keine MMN auf Reiz 1.

Im Zeitfenster zwischen 240 ms und 390 ms zeigen 54 Kinder auf Reiz 1 eine zweite Negativierung der Differenzkurve, die MMN II, mit einer mittleren Latenz um 312,79 ms (Median 314 ms). Auch hier zeigen sich wieder, wenn auch nur diskret angedeutet, zwei Negativitäten in der gemittelten Differenzkurve (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten mit einer Latenz bei 280 und bei 350 ms. Wird die MMN II in ein frühes (240-310 ms) und ein spätes (310-390 ms) Zeitfenster unterteilt, so zeigen 23 Kinder eine frühe MMN II mit einer mittleren Latenz von 278,87 ms, der Median beträgt 279 ms, die Spannweite reicht von 250 bis 308 ms. 31 Kinder zeigen eine späte MMN II mit einer mittleren Latenz von 349,68 ms, der Median beträgt 357 ms, die Spannweite reicht von 310 bis 388 ms. Drei Kinder zeigen keine MMN II. Ein Kind zeigt nur eine frühe MMN II mit einer Latenz von 228 ms mit einer davor liegenden Positivierung bei 142 ms.

Bei 59 Kindern kommt es auf Reiz 1 zwischen der MMN I und MMN II zu einer Positivierung der Differenzkurve im Zeitfenster zwischen 130 und 340 ms mit einer mittleren Latenz von 234 ms (Median 238 ms). Auch hier zeigen sich wieder zwei positive Peaks, bei 170 ms und im Bereich um 300 ms. Wird die Positivierung in ein frühes (130-210 ms) und ein spätes (210-340 ms) Zeitfenster unterteilt, so weisen 22 Kinder eine frühe Positivierung mit einer mittleren Latenz von 174 ms (Median 172 ms, Spannweite 132-209 ms) und 37 Kinder eine späte Positivierung mit einer mittleren Latenz von 269 ms (Median 267 ms, Spannweite 211-336 ms) auf.

Von den 53 Kindern, die jeweils eine MMN im frühen und späten Zeitfenster aufweisen, zeigen jeweils 20 Kinder einheitlich beide MMN im frühen oder späten Zeitfenster. Zwölf Kinder zeigen die MMN I im frühen und die MMN II im späten Zeitfenster. Ein Kind zeigt die MMN I im späten und die MMN II im frühen Zeitfenster. Die mittlere Differenz der Latenz zwischen MMN I und MMN II beträgt 162,76 ms.

#### Reiz 2 (OS 80 ms):

56 Studienkinder zeigen auf Reiz 2 eine Negativierung im ersten Zeitfenster zwischen 50 und 240 ms, die MMN I. Die mittlere Latenz der MMN I auf Reiz 2 liegt bei 150 ms (Median 154 ms). Auch hier fällt bei der gemittelten Differenzkurve (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten (Abb. 4.2.2.3.) auf, dass sich in diesem Zeitfenster zwei Negativitäten im Bereich um 100 ms und 210 ms zeigen. Wird die MMN I wieder in ein frühes (50-160 ms) und ein spätes (160-240 ms) Zeitfenster unterteilt, so zeigen 29 Kinder eine frühe MMN I mit einer mittleren Latenz von 99,41 ms, der Median beträgt 99 ms, die Spannweite reicht von 56 bis 156 ms. 27 Kinder zeigen eine späte MMN I mit einer mittleren Latenz von 204 ms, der Median beträgt 207 ms, die Spannweite reicht von 175 bis 238 ms.

Zwei Kinder zeigen keine MMN I. Bei vier Kindern lässt sich gar keine MMN auf Reiz 2 darstellen. Bei sechs der 56 Kinder mit einer MMN I tritt nur eine MMN im ersten Zeitfenster (50 bis 240 ms) mit einer darauf folgenden Positivierung auf.

Im Zeitfenster zwischen 200 ms und 400 ms zeigen 52 Kinder auf Reiz 2 eine zweite Negativierung der Differenzkurve, die MMN II, mit einer mittleren Latenz um 308,65 ms (Median 315 ms). Hier lassen sich nur ganz diskret angedeutet zwei Negativitäten mit einer Latenz bei 260 und bei 350 ms in der gemittelten Differenzkurve (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten darstellen. Wird die MMN II in ein frühes (200-310 ms) und ein spätes (310-400 ms) Zeitfenster unterteilt, so weisen 23 Kinder eine frühe MMN II mit einer mittleren Latenz von 258,52 ms auf, der Median beträgt 255 ms, die Spannweite reicht von 209 bis 306 ms. 29 Kinder zeigen eine späte MMN II mit einer mittleren Latenz von 348,41 ms, der Median beträgt 347 ms, die Spannweite reicht von 310 bis 394 ms. Bei zwei Kindern lässt sich nur eine MMN im zweiten Zeitfenster mit einer davor liegenden Positivierung darstellen.

Bei 58 Kindern kommt es auf Reiz 2 zu einer Positivierung der Differenzkurve im Zeitfenster zwischen 117 und 392 ms mit einer mittleren Latenz von 241,50 ms (Me-

dian 244 ms), davon liegt bei 49 Kindern diese Positivierung zwischen der MMN I und MMN II. Auch hier zeigen sich wieder zwei positive Peaks in der Grand Average, bei 150 ms und um 300 ms. Wird die Positivierung in ein frühes (110-210 ms) und ein spätes (210-400 ms) Zeitfenster unterteilt, so weisen 19 Kinder eine frühe Positivierung mit einer mittleren Latenz von 169 ms (Median 179 ms, Spannweite 117-209 ms) und 39 Kinder eine späte Positivierung mit einer mittleren Latenz von 277 ms (Median 271 ms, Spannweite 222-392 ms) auf.

Von den 49 Kindern, die jeweils eine MMN im frühen und späten Zeitfenster aufweisen, zeigen 19 bzw. 17 Kinder einheitlich beide MMN im frühen oder späten Zeitfenster. Neun Kinder zeigen die MMN I im frühen und die MMN II im späten Zeitfenster. Vier Kinder zeigen die MMN I im späten und die MMN II im frühen Zeitfenster. Die mittlere Differenz der Latenz zwischen MMN I und MMN II beträgt 165,20 ms.

Die genauen Mittelwerte ( $\pm$ STD) der Latenzen und Amplituden für beide Reize sind in Tab. 4.2.2.1. aufgeführt.

Insgesamt fällt auf, dass die Kinder eine viel breitere Streuung der Latenzen aufweisen als die Erwachsenen. In Abb. 4.2.2.1. sind die Individualwerte der Kinder mit den einzelnen Latenzen und Amplituden als Streudiagramme dargestellt.

Die gemittelten Differenzkurven (Grand Average) auf Reiz 1 und 2 aller normal entwickelten Studienkinder sind in Abb. 4.2.2.3. dargestellt. Die Bereiche mit signifikanten Abweichungen ( $p < 0,05$ ) der Differenzkurven von der Nulllinie sind wie bei den Erwachsenen jeweils unter den Kurven gekennzeichnet. Auffällig bei beiden Reizen ist, dass sich nur in der linken Hemisphäre signifikante Differenzkurven ableiten lassen. Bei den Erwachsenen lassen sich die Kurven dagegen gleichmäßig in beiden Hemisphären darstellen.

Tab. 4.2.2.2. stellt den Anteil der Kinder dar, die jeweils eine MMN I, MMN II und eine Positivierung zeigen, und ob die Amplitude der Differenz als signifikant eingestuft wurde. Bei 90 Prozent der Kinder zeigt sich auf beide Reize eine MMN I, bei 89 bzw. 84 Prozent eine MMN II. Dabei waren jedoch nur zwischen 23 – 30 Prozent der MMN I und II-Antworten signifikant, bei den Erwachsenen dagegen war vor allem die MMN I mit 63 bzw. 64 Prozent deutlich häufiger signifikant.

Um zu untersuchen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Differenzkurven in Latenz und Amplitude auf die beiden Reize auftrat, wurde der Wilcoxon-Test

durchgeführt, getestet auf dem multiplen Signifikanzniveau von fünf Prozent nach Bonferroni-Korrektur für sechs Tests. Signifikante Differenzen zwischen den Differenzkurven finden sich nicht (s. Tab. 4.2.2.3.).

Die Lokalisationen der maximalen Amplituden der MMN I und II sind in Abb. 4.2.2.2. dargestellt. Auf Reiz 1 treten die maximalen Amplituden der MMN I und die MMN II am häufigsten links zentral auf. Auf Reiz 2 treten die maximalen Amplituden auch häufiger linkshemisphärisch auf, bei der MMN I mehr frontal und bei der MMN II eher zentral.

#### **4.2.3. Einfluss des Alters auf die MMN**

Um altersabhängige Veränderungen der Latenzen und Amplituden der MMN I, MMN II und der Positivierung der Differenzkurve zu überprüfen, wurden die Ergebnisse der 7 - 8 Jahre alten Kinder mit denen der 9 – 10 Jahre alten Kinder verglichen. Die Mittelwerte der Latenzen und Amplituden der MMN I, MMN II und Positivierung sind in Tab. 4.2.3.1. dargestellt. Dabei fällt auf, dass die Latenzen bei Reiz 1 mit zunehmenden Alter abnehmen, bei Reiz 2 jedoch deutlich zunehmen. Abb. 4.2.3.1. und Abb. 4.2.3.2. zeigen die gemittelten Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den 7- bis 8-jährigen und 9- bis 10-jährigen normal entwickelten Schulkindern auf Reiz 1 und Reiz 2.

Im Vergleich zeigt sich, dass die Latenz der MMN I auf beide Reize bei den Erwachsenen deutlich geringer ist als bei den Kindern. Bei der MMN II ist die Latenz dagegen bei den Erwachsenen verlängert. Bei der Positivierung ist die Latenz bei Reiz 1 bei den Erwachsenen länger und bei Reiz 2 kürzer als bei den Kindern. Bei den Amplituden zeigen die Erwachsenen bei allen Differenzkurven geringere Amplituden. Mittels der Varianzanalyse wurde überprüft, ob signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen der 7- bis 8-Jährigen, 9- bis 10-Jährigen und den Erwachsenen vorliegen. Dabei ergibt sich, dass bei Reiz 1 die Latenz der MMN I bei den 7- bis 8-Jährigen höchstsignifikant mit  $p < 0,001$  und bei den 9- bis 10-Jährigen signifikant mit  $p < 0,05$  im Vergleich zu den Erwachsenen verlängert ist. Die Latenz der MMN II ist bei den Erwachsenen signifikant verlängert mit  $p < 0,05$  im Vergleich zu den 9- bis 10-Jährigen, dagegen ist die Amplitude der MMN II der 9- bis 10-Jährigen signifikant mit  $p < 0,05$  zu den Erwachsenen vergrößert. Bei Reiz 2 ist die Latenz der MMN I der 9-

bis 10-Jährigen signifikant länger mit  $p < 0,05$  als bei den Erwachsenen. Ansonsten bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

#### **4.2.4. Einfluss des Geschlechts auf die MMN**

In Tab. 4.2.4.1. sind die mittleren Latenzen und Amplituden der MMN I, MMN II und der Positivierung der Differenzkurve der normal entwickelten Schulkinder getrennt nach Geschlecht dargestellt, in Tab. 4.2.4.2. die der Erwachsenen. Der U-Test nach Mann und Whitney wurde mit dem Faktor sechs korreliert und ergibt bei den Schulkindern keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Bei den Erwachsenen ist bei Reiz 1 die Latenz der MMN II mit  $p = 0,003$  bei den Frauen signifikant verkürzt. Bei Reiz 2 zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Insgesamt zeigen die weiblichen Probanden häufiger kürzere Latenzen als die männlichen. Abb. 4.2.4.1. zeigt die gemittelten Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den Frauen und Männern auf Reiz 1.

### **4.3. Ergebnisse der subjektiven Untersuchungen**

#### **4.3.1. Anamnesedaten und Lautbestandserhebung bei den normal entwickelten Studienkindern**

Hör-Anamnese: Die Eltern der teilnehmenden Kinder machten auf dem Anamnesebogen die Angaben der Tab. 4.3.1.1.

Sprachentwicklungsanamnese: Kinder mit einer anamnestisch bestehenden Sprachentwicklungsstörung (SES) oder Lese-Rechtschreibstörung (LRS) wurden von der Studie ausgeschlossen (Tab. 4.3.1.2.).

Lautbestandserhebung: Eine Logopädin erhob bei den Kindern folgenden Lautbestand. Kinder mit V.a. SES oder LRS wurden vorher ausgeschlossen (Tab. 4.3.1.3.).

#### **4.3.2. Audiometrische Untersuchungen**

Das Tonschwellenaudiogramm war bei allen untersuchten Kindern nicht pathologisch.

**Sprachverständnis:**

**Freiburger Sprachaudiometrie:**

### **a) Normal entwickelte Studienkinder**

Den Kindern wurden zehn Wörter vorgespielt. Die Auswertung erfolgte anhand der prozentualen Fehlerquote. Pro fehlerhaft verstandenem Wort wurde eine Fehlerquote von 10% bei maximal erreichbaren 100% angegeben. 57 der 62 Kinder machten keinen Fehler (91,9% des Studienkollektivs mit 0% Fehlerquote). 5 Kinder machten einen Fehler (8,1% des Studienkollektivs mit 10% Fehlerquote).

Im Störschall: 39 Kinder (62,9%) mit 0% Fehlerquote, 16 Kinder (25,8%) mit 10% Fehlerquote, 6 Kinder (9,7%) mit 20 Fehlerquote und 1 Kind (1,6%) mit 30% Fehlerquote.

### **b) Kinder mit AVWS u./o. LRS**

AVWS: Die drei Kinder mit AVWS machten keinen Fehler.

LRS: Die zehn Kinder mit LRS machten keinen Fehler.

AVWS+LRS: Von den sieben Kindern machte eines einen Fehler, die anderen waren fehlerfrei.

Im Störschall: Von den drei AVWS-Kindern hatte eines eine Fehlerquote von 20%, eines von 30% und eines von 40%. Von den zehn LRS-Kindern hatten drei 0% Fehlerquote, 5 Kinder 10% und ein Kind 50% Fehlerquote. Ein Kind wurde im Störschall nicht gemessen. Von den sieben Kindern mit einer kombinierten LRS und AVWS erreichte eines 0% Fehlerquote, vier erreichten 10%, eines 20% und eines 75% Fehlerquote.

## **Lautdiskrimination:**

### **Heidelberger Lautdifferenzierungstest (H-LAD):**

#### **a) Normal entwickelte Studienkinder**

Die Ergebnisse der einzelnen Testabschnitte des H-LAD werden in absoluten Punktzahlen im Vergleich zur maximal erreichbaren Punktzahl angegeben. Als Basis für die Korrelation mit den elektrophysiologischen Daten wurden nur die absoluten Punktwerte genutzt (Tab.4.3.2.1.).

#### **b) Kinder mit AVWS u./o. LRS (s. Tab. 4.3.2.2.)**

## **4.3.3. Psychometrische Testverfahren**

### **Intellektuelle Entwicklung / Coloured Progressive Matrices nach Raven (CPM):**

**a) Normal entwickelte Studienkinder**

Der CPM dient der Einschätzung der allgemeinen sprachfreien Intelligenz. Die Studienkinder haben einen mittleren CPM-IQ von 109,7 (STD  $\pm$  8,6). Laut Testeichung liegt der durchschnittliche CPM-IQ bei 100.

**b) Kinder mit AVWS u./o. LRS**

Die Kinder haben insgesamt einen mittleren CPM-IQ von 104,7 (STD  $\pm$  10,4). (AVWS: 102,67; LRS: 107,7; AVWS+LRS: 98; s. Abb. 4.3.3.1.).

**Visuelle Wahrnehmung/Motor-Free-Visual-Perception-Test – revised (MFVPT-R)****a) Normal entwickelte Studienkinder**

Die Kinder erreichen einen durchschnittlichen Wahrnehmungsquotienten (MFVPT-R-PQ) von 108,1 (STD  $\pm$  12,1).

**b) Kinder mit AVWS u./o. LRS**

Diese Kinder erreichen einen durchschnittlichen Wahrnehmungsquotienten (MFVPT-R-PQ) von 105,9 (STD  $\pm$  9,4). (AVWS: 105,7; LRS: 106,4; AVWS+LRS: 105,2; s. Abb. 4.3.3.2).

**Rechtschreibleistung / Diagnostischer Rechtschreibtest für die 2. und 3. Klasse (DRT 2 und DRT 3)****a) Normal entwickelte Studienkinder**

Die Ergebnisse des DRT werden als Prozentrang in Bezug auf die Gesamtfehlerzahl angegeben (Prozentrang 50 Prozent entspricht dem zu erwartenden Durchschnittswert). Zusätzlich wird die Art der Fehler nach Regel- und Wahrnehmungsfehler getrennt in Prozenträngen angegeben. Im Studienkollektiv liegt der Gesamtprozentrang durchschnittlich bei 51,69 Prozent (STD  $\pm$  25,86), wobei alle Kinder mit einem DRT <10 Prozent von der Studie ausgeschlossen worden waren. Der durchschnittliche Prozentrang für Wahrnehmungsfehler liegt bei 58,77 Prozent (STD  $\pm$  27,16) und für Regelfehler bei 47,85 Prozent (STD  $\pm$  25,98).

**b) Kinder mit AVWS u./o. LRS**

In diesem Kollektiv erreichen die Kinder einen mittleren Gesamtprozentrang von 7,12 Prozent. Der durchschnittliche Prozentrang für Wahrnehmungsfehler liegt bei 10,67 Prozent (STD  $\pm$  11,14) und für Regelfehler bei 12,75 Prozent (STD  $\pm$  19,94).

Die AVWS-Kinder erreichen einen mittleren Prozentrang von 20,5 Prozent (STD  $\pm$  13,44), die LRS-Kinder von 5,6 Prozent und die Kinder mit AVWS und LRS von 4,8 Prozent. Dabei erreichen bei den Regelfehlern die AVWS-Kinder einen mittleren Prozentrang von 8 Prozent, die LRS-Kinder von 15,6 Prozent und die AVWS+LRS-Kinder von 2,5 Prozent. Bei den Wahrnehmungsfehlern erreichen die AVWS-Kinder einen mittleren Prozentrang von 15 Prozent (STD  $\pm$  0), die LRS-Kinder von 12,22 Prozent (STD  $\pm$  12,0) und die AVWS+LRS-Kinder von 1,5 Prozent (STD  $\pm$  0,7).

### **Psycholinguistischer Entwicklungstest (PET):**

#### **a) Normal entwickelte Studienkinder**

Zahlenfolgedächtnis (ZFG): Der mittlere T-Wert beträgt 44,37 (STD  $\pm$  9,74).

Wörter ergänzen (WE): Der mittlere T-Wert beträgt 56,05 (STD  $\pm$  7,9).

Laute verbinden (LV): Der mittlere T-Wert beträgt 52,15 (STD  $\pm$  7,69).

#### **b) Kinder mit AVWS u./o. LRS**

ZFG: Der mittlere T-Wert beträgt 31,00 (STD  $\pm$  8,31).

WE: Der mittlere T-Wert beträgt 48,06 (STD  $\pm$  8,66).

LV: Der mittlere T-Wert beträgt 48,12 (STD  $\pm$  8,83).

### **Heidelberger Sprachentwicklungstest - Untertest „Imitieren grammatischer Strukturen,, (HSET-IS):**

#### **a) Normal entwickelte Studienkinder**

Es wird ein mittlerer T-Wert von 49,97 (STD  $\pm$  9,49) erreicht (ohne Dativfehler).

#### **b) Kinder mit AVWS u./o. LRS**

Es wird ein mittlerer T-Wert von 31,41 (STD  $\pm$  13,03) erreicht (ohne Dativfehler).

#### **4.3.4. Subjektive Ordnungsschwellenwerte**

Die subjektiven Ordnungsschwellenwerte korrelieren signifikant mit  $p < 0,05$  mit dem Alter der Probanden. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt  $-0,371$ . Das bedeutet je älter die Versuchsperson ist, desto geringer wird der gemessene OS-Wert (s. Abb. 4.3.4.1.).

#### **4.3.4.1. Erwachsene**

Die dreiminütige Messung der subjektiven Ordnungsschwelle mit dem Ordnungsschwellentester OAV 18 ergibt bei den Erwachsenen (N=12, mittleres Alter 29,15 Jahre) einen mittleren Wert von 85 ms mit einer Standardabweichung von 52 ms. Bester Wert ist 29 ms, schlechtester 227 ms. Die Frauen erreichen einen mittleren Wert von 100,75 ms, die Männer von 53,50 ms.

#### **4.3.4.2. Normal entwickelte Studienkinder**

Die normal entwickelten Studienkinder (N=62, mittleres Alter 8,91 Jahre) erreichen einen Mittelwert von 190,65 ms mit einer Standardabweichung von 83,15 ms. Das beste Ergebnis erreicht ein Junge (8,9 Jahre) mit 74 ms. Der schlechteste Wert wird von einem Mädchen (9,33 Jahre) mit 410 ms erzielt. Die Mädchen erreichen eine mittlere OS von 189,23 ms ( $\pm 75,99$  ms), die Jungen von 192,65 ms ( $\pm 93,45$  ms). Die Altersgruppe der 7- bis 8-Jährigen erreicht einen mittleren OS-Wert von 192,34 ms ( $\pm 81,64$  ms). Die 9- bis 10-Jährigen haben einen Mittelwert von 188,86 ms ( $\pm 86,2$  ms).

#### **4.3.4.3. Kinder mit AVWS und/oder LRS**

Die in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie gemessenen Kinder (N=12, mittleres Alter 10,28 Jahre) mit einer AVWS und/oder LRS erreichen einen Mittelwert von 230,27 ms mit einer Standardabweichung von 108,32 ms. Die Mädchen (N=5) erreichen eine mittlere OS von 243,80 ms ( $\pm 75,85$  ms), die Jungen (N=7) von 219 ms ( $\pm 136,12$  ms).

#### **4.4. Kortikale Potentialantworten und MMN-Antworten bei den Kindern mit AVWS und/oder LRS**

Bei 20 Kindern (durchschnittliches Alter 9,4 Jahre), bei denen anhand der Definition Ergebnis im DRT < 10 Prozent bei einem normalen IQ eine LRS und/oder eine AVWS (Kriterien s. Einleitung) festgestellt wurde, erfolgte die Untersuchung und Auswertung entsprechend den normal entwickelten Studienkindern. Bei allen auffälligen Kindern treten die Komponenten P1, N1, P2 und N2 in den gleichen Zeiträumen wie bei den normal entwickelten Studienkindern auf (s. Tab. 4.4.1.). Mit dem U-Test nach Mann

und Whitney wurde auf signifikante Unterschiede zwischen den auffälligen und den normal entwickelten Kindern getestet und mit Faktor acht korrigiert. Es finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Gruppen.

Innerhalb der Gruppe der auffälligen Kinder zeigt sich, dass die Latenz der Komponente N2 mit  $p=0,002$  signifikant länger bei Reiz 2 im Vergleich zu Reiz 1 ist. Getestet wurde mit dem Wilcoxon-Test, dann eine Bonferroni-Korrektur mit dem Faktor acht vorgenommen.

Die mittleren Latenzen und Amplituden der MMN auf die zwei Reize der auffälligen Kinder und die entsprechenden Ergebnisse der normal entwickelten Kinder sind in Tab. 4.4.2. dargestellt. Abb. 4.4.3. zeigt die gemittelten Differenzkurven. Auf Reiz 1 zeigen 19 der 20 untersuchten auffälligen Kinder eine MMN I und 18 eine MMN II, alle mit einer dazwischen liegenden Positivierung der Differenzkurve (PMMN). Auf Reiz 2 zeigen 17 Kinder eine MMN I und MMN II, 18 eine PMMN. Die Differenzkurven sind zwar zu einem großen Teil nicht signifikant, jedoch deutlich häufiger signifikant als bei den normal entwickelten Kindern.

Mit dem U-Test nach Mann und Whitney wurde wieder auf signifikante Unterschiede zwischen den auffälligen und den normal entwickelten Kindern getestet und mit Faktor sechs korreliert. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

In Abb. 4.4.2. sind die Lokalisationen der maximalen Amplituden der MMN I und MMN II dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die maximalen Amplituden auf Reiz 1 mehr rechts frontal und auf Reiz 2 mehr links frontal und zentral zur Darstellung kommen.

## **4.5. Zusammenhänge zwischen objektiven und subjektiven Ergebnissen**

### **4.5.1. Subjektive Ordnungsschwellenmessung – Kortikale Potentialantworten**

Die Latenzen der Komponenten P1, N1, P2, N2 und P bei C3 und die Amplituden bei der Ableitung von F3, F4, C3, C4 wurden mit der subjektiven Ordnungsschwellenmessung korreliert. Die Angaben zur Korrelation erfolgen durch den nach Spearman bestimmten Korrelationskoeffizienten einschließlich Bonferroni-Korrektur mit der Anzahl der Tests (Faktor 25). Aus Gründen der Übersicht werden nur hohe Korrelationen angegeben:

OS 200 ms:

- eine signifikante Korrelation findet sich bei Kindern mit AVWS u./o. LRS zwischen der Latenz der Komponente N2 und der subjektiven Ordnungsschwelle mit  $p= 0,001$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,838$ ;
- eine hohe Korrelation findet sich bei den Erwachsenen zwischen der Amplitude der Komponente P2 in der Ableitung F3 und der subjektiven Ordnungsschwelle mit  $p= 0,013$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,783$ ;

OS 80 ms:

- Hohe Korrelationen finden sich zwischen der subjektiven Ordnungsschwelle und
- der Amplitude der Komponente N1 in der Ableitung C4 mit  $p= 0,042$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $0,683$  bei Erwachsenen;
  - der Amplitude der Komponente N2 in der Ableitung F4 mit  $p= 0,025$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $0,733$  bei Kindern mit AVWS u./o. LRS;
  - der Amplitude der Komponente N2 in der Ableitung C4 mit  $p= 0,047$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $0,714$  bei Kindern mit AVWS u./o. LRS;

#### **4.5.2. Subjektive Ordnungsschwellenmessung – MMN-Antworten**

Die Latenzen und Amplituden der MMN I, MMN II, und der Positivierung der Differenzkurve wurden mit der subjektiven Ordnungsschwellenmessung korreliert. Die Angaben zur Korrelation erfolgen durch den Korrelationskoeffizienten nach Spearman einschließlich Bonferroni-Korrektur mit der Anzahl der Tests (Faktor sechs).

OS 200 ms:

- Hohe Korrelationen finden sich zwischen der subjektiven Ordnungsschwelle und
- der Latenz der MMN II mit  $p= 0,009$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,743$  bei Kindern mit AVWS u./o. LRS;
  - der Latenz der Positivierung der Differenzkurve mit  $p= 0,014$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,712$  bei Kindern mit AVWS u./o. LRS;
  - der Latenz der Positivierung der Differenzkurve mit  $p= 0,042$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,683$  bei Erwachsenen;

#### **4.5.3. Subjektive Ordnungsschwellenmessung – Sonstige subjektive Tests**

Keine signifikante Korrelation (Korrelation nach Spearman und Bonferroni-Korrektur mit Faktor elf) findet sich bei den Kindern zwischen der dreiminütigen Ordnungs-

schwelenmessung und der HNO-Anamnese, der Sprachentwicklungsanamnese, Lautdiskrimination, Coloured Progressive Matrices nach Raven (CPM), Diagnostischer Rechtschreibtest (DRT), Psycholinguistischer Entwicklungstest (PET)/ Wörter ergänzen (WE) und Laute verbinden (LV) und dem Heidelberger Sprachentwicklungstest - Untertest „Imitieren grammatischer Strukturen,, (HSET-IS).

Eine höhere Korrelation findet sich

- bei allen Kindern bei der visuellen Wahrnehmung, dem Motor-Free-Visual-Perception-Test – revised (MFVPT-R), mit  $p= 0,001$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,397$ ;
- bei den Kindern mit AVWS u./o. LRS bei dem psycholinguistischen Entwicklungstest (PET) im Untertest Zahlenfolgegedächtnis (ZFG) mit  $p= 0,016$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $-0,765$ ;
- bei allen Kindern beim Lautbestand mit  $p=0,012$  und einem Korrelationskoeffizienten von  $0,271$ ;

## **5. Diskussion**

### **5.1. Diskussion zu den Ergebnissen der kortikalen Potentialantworten**

#### **5.1.1. Altersentwicklung der kortikalen Potentialantworten**

Die normal entwickelten Schulkinder mit einem mittleren Alter von 8,91 Jahren zeigen alle einen deutlichen P1/N2-Komplex, wie er bereits von verschiedenen Arbeitsgruppen beschrieben wurde (u.a. Courchesne, 1990; Korpilahti und Lang, 1994; Kurtzberg et al., 1995; Johnstone et al., 1996). Die Morphologie der gemittelten Potentialantwort sieht auf beide Reize sehr ähnlich aus. Courchesne fand 1990 bei vier- bis achtjährigen Kindern auf sprachliches Stimulusmaterial einen positiven Peak mit einer Latenz von 85 bis 120 ms gefolgt von einer Negativierung bei etwa 240 ms. Die Latenz der Positivierung deckt sich in etwa mit den Ergebnissen dieser Arbeit, die mittlere P1 beträgt je nach Reiz und Altersgruppe zwischen 82 und 91 ms. Bei der Latenz der N2 finden sich in dieser Arbeit etwas kürzere Werte (204 ms bei Reiz 1, 216 ms bei Reiz 2), was mit dem höheren Alter der Kinder zusammenhängen könnte. Sharma et al. (1997) untersuchten Kinder im Alter von sechs bis 15 Jahren, diese zeigen ebenfalls eine P1 um 100 ms und eine ausgeprägte Negativität um 200 ms. Neben dem deutlichen P1/N2-Komplex beginnt sich ein N1-P2-Komplex bei den Kin-

dern abzuzeichnen. Während die N2 deutlich bei allen Kindern im negativen Bereich liegt, zeigen 31 Kinder (Reiz 1) bzw. 41 Kinder (Reiz 2) der untersuchten 62 Kinder eine negative N1 und 24 bzw. 17 Kinder eine positive P2. Andere Autoren beschreiben das erste Auftreten der N1-Komponente zwischen acht bis zehn Jahren (Csépe u. Molnar, 1997; Sharma et al., 1997; Ponton et al., 2000) . Aus der Beobachtung, dass sich die Morphologie der Komponenten auf beide Reize sehr ähnelt, lässt sich schlussfolgern, dass beide einheitlich wahrgenommen und verarbeitet werden. Dabei weist der kürzere Ordnungsschwellenreiz (OS) von 80 ms bei den Kindern längere Latenzen bei allen Komponenten, vor allem der P2, N2 und P3 auf. Dies könnte damit zusammenhängen, dass der kurze Reiz schwieriger zu verarbeiten ist. Die Amplituden der P1 und P3 sind bei dem OS-Reiz von 200 ms signifikant größer. Nach McPherson u. Ballachanda (2000) hängt die Amplitude der P1 eng mit der Vigilanz zusammen und die Amplitude der P3 mit Aufmerksamkeit und Vigilanz. Da der lange OS-Reiz von 200 ms einfacher zu differenzieren ist, haben die Kinder vielleicht trotz Videosedierung ihre Aufmerksamkeit auf die akustischen Reize gelenkt.

Bei der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Reiz 1 und Reiz 2 ergibt sich die höchste Korrelation jeweils bei den Komponenten P1 und N2. Dies ist ein weiterer Hinweis dafür, dass diese die deutlichsten und stabilsten Komponenten bei Kindern sind. Es sind die Komponenten, die sich zuerst nachweisen lassen.

Werden die zwei Altersgruppen 7 bis 8 Jahre und 9 bis 10 Jahre verglichen, zeigt sich eine Abnahme der Latenz mit steigendem Alter bei beiden Reizen. Signifikante Unterschiede zwischen den zwei Altersgruppen lassen sich jedoch nicht nachweisen.

Die ereigniskorrelierten Potentiale der Erwachsenen zeigen einen typischen Verlauf mit einem deutlichen P1-N1-P2-Komplex (Ponton et al., 2000; Eggermont u. Ponton, 2002). McPherson et al. haben 1996 typische Komponenten bei Erwachsenen beschrieben: Die P1 ist in dieser Arbeit mit 48 ms (Reiz 1) bzw. 50 ms (Reiz 2) etwas kürzer als bei McPherson, der ein Zeitfenster von 55-80 ms angibt. Jacobsen (2003) beschreibt die P1 bei 58 ms, Ponton et al. (2000) bei 40-60 ms. Die N1 (80-110 ms) und P2 (145-180 ms) entsprechen den Angaben der oben genannten Arbeitsgruppen. Bei allen Probanden treten die einzelnen Komponenten stabil auf.

Bei der weiteren Interpretation der Potentiale ist es wichtig, das gewählte Reizschema mit einzubeziehen. Es handelt sich hier um einen zusammengesetzten Reiz.

Nachdem der erste Ton auf dem rechten Ohr zu hören ist, setzt nach 200 ms (Reiz 1) bzw. 80 ms (Reiz 2) der zweite Ton auf dem anderen Ohr ein. Daher ist in der Abbildung der gemittelten kortikalen Potentialantworten aller Erwachsenen auf beide Stimuli zu erkennen, dass eine Überlagerung der zwei Reize stattfindet.

Diese Überlagerung ist besonders deutlich bei der langen OS (OS 200 ms) zu beobachten. Nach der konstanten P1, N1 und P2 setzt nach 200 ms der zweite akustische Reiz ein. Die Überlagerung wird an der zweiten Negativierung erkennbar, die genau 200 ms nach der N1 auftritt und daher als N1\* bezeichnet wird. Sie zeigt den Abstand der zwei Reize an. Vor dieser Negativierung deutet sich eine leichte Positivierung als P1\* an. Der N1\* folgt eine auffällige Positivierung, die als P2\* bezeichnet wird und im Mittel bei 386 ms liegt. Aus dem Auftreten der einzelnen Komponenten lässt sich schließen, dass beide Reize getrennt wahrgenommen und verarbeitet werden.

Auch bei der kurzen OS zeigt sich eine deutliche zweite Negativierung im Bereich um 208 ms und damit 113 ms nach der N1. Dass die N1\* nicht 80 ms, sondern 113 ms nach der N1 auftritt, könnte dahingehend gedeutet werden, dass die Verarbeitung des kurzen Reizes schwieriger ist. Auch hier zeigt sich eine deutliche P2\* mit einer Latenz von 277 ms. Die Amplitude der P2\* ist bei der langen OS größer als bei der kurzen OS.

Bei den Erwachsenen kann eine signifikante Korrelation der zwei Reize nur für die Amplitude der N1 nachgewiesen werden. Nach McPherson (2000) ist die N1-Komponente insgesamt sensibel auf Änderungen der akustischen Merkmale eines Reizes, die Amplitude ist dabei abhängig von der Aufmerksamkeit. Da beide Ordnungsschwellenreize im Bereich der subjektiv erfassbaren OS liegen, ist es gut möglich, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf die Reize richteten, auch wenn sie angewiesen waren, nicht auf die Reize zu achten und videosediert waren.

Bei den Komponenten P1, N1 und P2 besteht zwischen den zwei Reizen bei den Erwachsenen keine signifikante Differenz. Auf den ersten Ton, der bei beiden Reizen gleich ist, bildet sich damit ein typischer ereigniskorrelierter Potentialverlauf. Die darauffolgenden signifikanten Differenzen der N1\* und P2\* lassen sich durch die unter-

schiedlichen Reizschema erklären. Da eine Überlagerung der Komponenten durch den zweiten Ton stattfindet, der nach 200 ms bzw. 80 ms auftritt, sind die mittleren Latenzen dieser Potentiale bei dem langen Reiz (200 ms) später zu finden, bei dem kurzen Reiz früher. Eine Korrelation lässt sich bei den Latenzen nicht finden. Den größten Korrelationsfaktor weisen die Komponenten P1, N1 und P2 auf. Diese Komponenten stellen die Reaktion auf den ersten Ton dar. Die Beobachtung, dass die folgenden Komponenten, die durch die zwei Reize überlagert sind, nicht korrelieren, führt zu der Annahme, dass der zweite Ton daher auf unterschiedliche Weise, vielleicht von verschiedenen Generatoren, verarbeitet wird. Eventuell fällt der zweite Ton bei der OS 200 ms auch in ein anderes zeitliches Fenster der Verarbeitung. Die Hypothese des zeitlichen Integrationfensters wird von verschiedenen Autoren vertreten (Näätänen, 1990 und 1992; Tervaniemi et al., 1997; Winkler et al., 1998; Sussman et al., 1999). Diese weisen nach, dass ein zeitliches Fenster von ca. 200 ms existiert, durch das der auditive Input segmentiert wahrgenommen wird.

Die normal entwickelten Studienkinder zeigen nicht den für die Erwachsenen typischen Verlauf einer überlagerten Antwort. Die Kinder scheinen den zusammengesetzten Reiz als eine Einheit wahrzunehmen und zu verarbeiten. Damit entspricht in dieser Arbeit die P2 der Kinder der P1\* der Erwachsenen, die N2 der N1\* und die P2\* der P3.

Außerdem fällt auf, dass die Probanden (Erwachsene sowie Kinder) eine ausgeprägte Positivierung im Bereich um 300 ms aufweisen. Mehrere Autoren beschreiben die P3-Komponente im Zusammenhang mit gerichteter Aufmerksamkeit (Jakobson u. Schroeger, 2003; Sussman et al., 2004). Richtet der Proband seine Aufmerksamkeit auf den unregelmäßig auftretenden Devianten, so bildet sich diese Komponente aus. Nach McPherson u. Ballachanda (2000) tritt die P300 bei Erkennen des Reizes und Neuheit auf. Sie sei eine endogene Komponente, die sich zwischen 220 und 380 ms nachweisen lasse. Bedeutung habe sie bei der Gedächtnisüberprüfung, Informationsverarbeitung und dem Treffen von Entscheidungen. Sie habe multiple Generatoren, die überlappend aktiviert werden, v.a. frontal und temporal.

Direkt vergleichen lassen sich bei den Kindern und Erwachsenen daher nur die Komponenten P1 und N1. Die mittlere Latenz der P1 und N1 ist signifikant bei den Kindern auf beide Reize verlängert. Die Latenz der P2 unterscheidet sich zwischen

den Gruppen nicht signifikant. Bei Reiz 1 ist die Latenz der N1\*/N2 und P2\*/P3 bei den Erwachsenen signifikant verlängert, was sich aus der Überlagerung des langen Reizes (OS 200 ms) ergibt. Bei Reiz 2 ist die P2\*/P3 bei den Kindern signifikant verlängert. Bei den Amplituden zeigt sich auf beide Reize ein fast einheitliches Ergebnis: Bei Reiz 1 zeigen die Kinder bei allen Komponenten größere Amplituden. Eine Ausnahme bildet die N1, hier weisen die Erwachsenen größere Amplituden auf. Bei Reiz 2 sind die Amplituden der Erwachsenen bei N1 und P2 größer. Morphologische Veränderungen der Komponenten bis in die zweite Lebensdekade werden von verschiedenen Arbeitsgruppen beschrieben (Martin et al., 1988; Courchesne, 1990; Fuchigami et al., 1993; Tonnquist-Uhlen et al., 1995, 1996; Sharma et al., 1997; Ponton et al., 2000). So hat auch Ponton 2000 eine altersabhängige Abnahme der Latenz der P1 und N1, keine Latenzveränderung der P2 und eine Zunahme der N2-Latenz zum Erwachsenenalter hin beschrieben. Fuchigami et al. (1993) sowie Johnstone et al. (1996) beobachten eine Abnahme der Latenzen von N1, N2 und P3 mit zunehmenden Alter. Tonnquist-Uhlen et al. (1995) beschreiben eine Abnahme der Latenz der N1 bis zu einem Alter von 16 Jahren. Bezüglich der Amplituden finden sich in der Literatur keine einheitlichen Angaben. Die Amplituden korrelieren bei Fuchigami et al. (1993) nicht signifikant mit dem Alter, bei Johnstone et al. (1996) zeigt sich eine Verringerung der N1- und N2- Amplitude sowie eine Zunahme der P2- und P3-Amplitude mit zunehmenden Alter. Ponton et al. (2000) beschreiben einen abrupten Anstieg der P1-, N1- und N2-Amplitude im Alter von zehn Jahren, jedoch nur bei den Elektroden C3 und C4. Auch Martin et al. (1988) haben einen Anstieg der N1-Amplitude bis zu einem Alter von 15 Jahren beobachtet. Eine altersabhängige Entwicklung der N1-Latenz beschreibt diese Arbeitsgruppe jedoch nicht. Bei Sharma et al. (1997) zeigen die P1 sowie die frühe und die späte Negativierung eine signifikante altersabhängige Abnahme der Latenzen, die P1 auch eine altersabhängige Abnahme der Amplitude.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bezüglich der altersabhängigen Abnahme der Latenzen stimmen soweit also mit vorherigen Untersuchungen überein. Die größere Amplitude der N1 bei den Erwachsenen finden auch Martin et al. (1988) und Ponton et al. (2000). Die Latenzveränderungen werden mit einer Zunahme der Nervenleitgeschwindigkeit durch Zunahme der Axonquerschnitte oder durch Myelinisie-

rungsprozesse erklärt (Tonnquist-Uhlen, 1996, Cheour et al., 1998). Die Amplitudenveränderungen beruhen wahrscheinlich auf einer Änderung der Menge der Neuronpopulationen, die in einen Verarbeitungs- und Wahrnehmungsprozess involviert sind (Vaughan et al., 1992). Noch ist nicht ganz geklärt, welche Komponenten der kortikalen Potentialantworten der Kinder denen der Erwachsenen entsprechen. Kurtzberg et al. (1995) und Korphilati et al. (1994) sind der Ansicht, dass die N2-Komponente der Kinder der späteren Erwachsenen-N1-Komponente entspricht. Csépe et al. (1995) und Johnstone et al. (1996) dagegen gehen von zwei unterschiedlichen Negativitäten aus, da die N1-Komponente der Erwachsenen von Stimulusfrequenz und Lautstärke abhängig ist, nicht aber die N2-Komponente der Kinder. Sie vermuten, dass die bei Erwachsenen entstehende N2-Komponente mit der N2-Komponente bei Kindern identisch ist.

Insgesamt zeigen die vorliegenden Studien, dass die Reifung der einzelnen Komponenten mit ihren verantwortlichen Generatoren unterschiedlichen Zeitabläufen unterliegt (Kraus et al., 1993). Die teils kontroversen Aussagen zur altersabhängigen Entwicklung von Latenzen und Amplituden könnten durch unterschiedliche Reize, zu wenige Ableiteorte und zu geringe Altersspannen zustande kommen.

### **5.1.2. Einfluss des Geschlechts auf die kortikalen Potentialantworten**

Bei den mittleren Latenzen ergibt sich bei den normal entwickelten Schulkindern und bei den Erwachsenen hinsichtlich des Geschlechts kein signifikanter Unterschied für beide Reize. Auch bei den mittleren Amplituden zeigen sich keine signifikanten Unterschiede, einzige Ausnahme ist die N2 bei Reiz 1, die bei den Mädchen signifikant vergrößert ist. In den Abbildungen der gemittelten kortikalen Potentialantworten ist besonders bei Reiz 2 zu erkennen, dass der N1-/P2-Komplex sich bei den Jungen etwas deutlicher abzeichnet.

In der Literatur werden kürzere Latenzen bei weiblichen Kindern im Vergleich zu männlichen bei auditorisch evozierten Hirnstammpotentialen beschrieben, wobei der Effekt über die durch unterschiedliche Kopfgröße erklärable Differenzen hinausgeht (Mochizucki et al., 1983; Trune et al., 1988). Bei Erwachsenen wird vereinzelt über sich zum Teil widersprechende Amplitudenunterschiede berichtet (Hegerl et al., 1988; Golgeli et al., 1999). Außerdem wurden im auditorischen System geschlechts-

abhängige Unterschiede im Planum temporale bei Menschen gefunden (Kulynych et al., 1994).

## **5.2. Diskussion zu den Ergebnissen der MMN-Antworten**

### **5.2.1. Erwachsene und normal entwickelte Schulkinder**

Bei den Erwachsenen sowie bei den Schulkindern lassen sich auf die zwei Reize jeweils zwei negative und eine dazwischen liegende positive Differenzkurve nachweisen. Bei den Erwachsenen ist der Anteil signifikanter Differenzkurven höher als bei den Schulkindern.

Alho hat 1990 als erster die MMN bei Kindern mit einer Latenz bei 200-400 ms nachgewiesen. Kraus et al. (1992) und Čeponiemi et al. (1999) weisen die MMN bei Schulkindern auch auf gerade noch wahrnehmbare Sprachunterschiede nach. Cheour-Luhtanen et al. (1996) erhalten MMN-Antworten sogar bei Frühgeborenen der 30. – 34. Schwangerschaftswoche auf relativ geringe Änderungen der Sprachreize. Kurtzberg et al. (1995) können bei Säuglingen zwar eine Entsprechung der MMN bei Erwachsenen nachweisen, diese zeigt jedoch deutliche Unterschiede hinsichtlich der Latenz. Das Auftreten von zwei negativen Differenzkurven wurde bereits von mehreren Autoren beschrieben. So finden Kraus et al. 1993 auf gerade noch wahrnehmbare Unterschiede zwischen den Phonemen /da/ und /ga/ bei 16 Schulkindern im Alter von sieben bis elf Jahren und bei Erwachsenen eine erste Negativierung mit einer mittleren Latenz um 200 ms und eine zweite Negativierung um 400 ms in der Differenzkurve. Auch Korpilahti et al. (1995, 2001) beschreiben eine zweite Negativierung bei 400-430 ms, die vor allem der Verarbeitung von komplexen auditorischen Reizen entspricht, und bezeichnen sie als späte MMN. Die MMN I wird in dieser Arbeit bei ca. 110 ms bei den Erwachsenen und bei ca. 150 ms bei den normal entwickelten Kindern nachgewiesen. Die MMN II zeigt sich bei den Erwachsenen im Bereich um 340 ms, bei den Kindern bei ca. 310 ms. Die MMN I und die MMN II treten damit in dieser Arbeit etwas früher auf als in den oben genannten Untersuchungen. Čeponiemi et al. weisen die späte MMN 1998 auf Sinustöne nach. Cheour bezeichnet 2001 diese späte MMN als Late Discriminative Negativity (LDN). Nach der Autorin nimmt ihre Amplitude mit zunehmenden Alter ab. Das lässt sich auch in dieser Arbeit beobachten. Die Bedeutung der späten MMN ist bisher unklar. Da sie im Gegensatz

zur frühen Reifung der frühen MMN (Cheour, im Druck) ein verzögertes Reifungsverhalten zeigt, lässt sich vermuten, dass sie eher mit der biologischen Reifung des Gehirns und Entwicklung von Aufmerksamkeit als mit der sensorischen Diskrimination von akustischen Reizen in Zusammenhang steht (Čeponiemi et al., 2002). Korpilahti beschreibt die späte MMN 2001 als bedeutend bei Wortunterscheidungen. Sie reflektiere mehrere MMN-Generatoren und die Gedächtnisspurenentstehung. Auf Worte sei die LDN größer als auf Töne. Čeponiemi beschreibt in ihrer Studie 2002 bei Kindern, dass die Amplitude der LDN kleiner ist als die der MMN. Auch diese Beobachtung wird in der vorliegenden Arbeit bestätigt. Auf beide Reize bei Kindern und Erwachsenen sind die Amplituden der MMN II kleiner als bei der MMN I. Auf den Sinuston ist die LDN nach Čeponiemi (2002) am größten. Auch in dieser Arbeit kann insgesamt eine deutliche MMN II nachgewiesen werden. Bei den Erwachsenen ist sie jedoch deutlich seltener signifikant als die MMN I. Bei den Kindern sind die beiden negativen Differenzkurven ungefähr gleich häufig signifikant. Die Latenz der LDN zeigt nach Čeponiemi (2002) eine größere Variabilität als die der MMN. Bei den Erwachsenen lässt sich dies in dieser Untersuchung ebenso beobachten. Das Streudiagramm in Abb. 4.2.1.1. zeigt, dass die Latenz der MMN II sehr viel breiter streut als die MMN I. Bei den Kindern ist in Abb. 4.2.2.1. zu erkennen, dass die Latenzen der MMN I und MMN II beide breit streuen. Insgesamt betont Cheour 2001, dass die MMN und LDN wichtige Werkzeuge für die Erforschung der Wahrnehmung von Sprache und von Lernen bei Kindern seien. Dabei unterschieden sich die MMN und LDN erheblich. Die MMN sei in ihrer Entwicklung recht stabil bezüglich Amplitude und Latenz. Die LDN dagegen vermindere sich mit zunehmenden Alter. Die MMN sei eine frontozentrale Antwort, ausgedehnter und zentraler bei Kindern. Die LDN sei dagegen noch zentraler lokalisiert.

Tervaniemi et al. beschreiben 2000 bei Erwachsenen, dass komplexe Töne eine größere Amplitude und frühere Latenz der MMN bewirken. Diese Beobachtung bestätigt Čeponiemi 2002 bei Kindern. Je komplexer der Reiz ist, desto höher ist die Amplitude und früher die Latenz der MMN. Die Autorin schließt daraus, dass die Entstehung der Kurzzeitgedächtnisspur als auch der vergleichende Prozess der eingehenden Informationen durch komplexe Reize erleichtert wird. Auf den Sinuston zeigen die Kinder eine große Variation in der Latenz. Die Autorin bezieht dies auf Rei-

fungsunterschiede in der Diskriminationsfähigkeit von einfachen Tönen bei den Kindern. Die akustische Information der einfachen Töne ist nicht ausreichend für eine effiziente Diskrimination bei den Kindern. Es zeigt sich eine große Variabilität zwischen den Probanden. Auch in dieser Arbeit findet sich eine größere Spannweite der Latenzen der Kinder auf die Reize, die aus zwei kurz aufeinanderfolgenden Tönen bestehen, als bei den Erwachsenen. Auch Korpilahti findet 2001 bei Kindern eine größere MMN auf Worte als auf Töne. Auf Pseudoworte ist die MMN jedoch nur schwach ausgeprägt, was gegen die Vermutung spricht, dass die Reizkomplexität entscheidender Faktor ist. Damit die Gedächtnisspur Merkmale wiedererkennt, müssen die Reize in der Muttersprache sein, vermutet der Autor. Die Pseudoworte würden eher die Entstehung einer Gedächtnisspur als den vergleichenden Prozess aktivieren. Die kürzeste Latenz der MMN findet die Arbeitsgruppe jedoch wie auch Csépe 1995 auf Sinustöne. Korpilahti postuliert, dass bei Kindern die frühe MMN durch die akustischen Merkmale eines Reizes ausgelöst wird, während die späte MMN im Zusammenhang mit der automatischen Wahrnehmung von Worteigenschaften steht. Wie oben schon beschrieben, stellt sich jedoch in dieser Untersuchung bei den Kindern bei der frühen als auch bei der späten MMN nur ein geringer Anteil der Differenzkurven mit maximal 30 Prozent als signifikant heraus. Bei den Erwachsenen ist die MMN I mit 63 bzw. 64 Prozent doppelt so häufig signifikant wie die MMN II. Der verwendete Reiz mit Tönen eignet sich also mehr dafür, die akustischen Merkmale zu diskriminieren. Damit lässt sich auch erklären, warum die MMN II schwächer ausgeprägt ist. Es handelt sich nicht um die akustische Wahrnehmung von Worteigenschaften, die, wie oben beschrieben, eine größere MMN II auslösen als Töne. Es beeinflussen jedoch viele Einflussfaktoren die Entstehung der Differenzkurven.

Auch positive Differenzkurven wurden bereits beschrieben. So beobachteten Trainor et al. (2001) auf einen zeitlichen Reiz (innerhalb des Devianttones traten kurze Pausen bis 12 ms auf) bei sechs bis sieben Monate alten Kindern zwei deutliche Positivierungen der Differenzkurve bei 95-230 ms und nach der MMN bei 300-350 ms. Desjardins (1999) hat bei Erwachsenen keine positive Differenzkurve bei gleichem Reizschema beobachtet. Die frühe Positivierung soll nach Trainor bei seltenen Ereignissen entstehen, die späte ist mit der Aufmerksamkeit gekoppelt. Der Autor vermutet,

dass die Erwachsenen in der Lage sind, irrelevante Informationen herauszufiltern. Je kleiner die Pause in Trainors Arbeit im Deviantreiz wird, desto länger ist die Latenz der späten Positivierung. In der vorliegenden Arbeit wird die positive Differenzkurve bei Erwachsenen und Kindern im Bereich zwischen 225 ms und 260 ms nachgewiesen und befindet sich zwischen den beiden negativen Differenzkurven. Bei den Erwachsenen lassen sich häufiger signifikante positive Kurven nachweisen als bei den Kindern. Bei den Kindern verlängert sich wie bei Trainor die mittlere Latenz der positiven Differenzkurve von 233 ms auf den längeren Reiz OS 200 ms auf 241 ms auf den kürzeren Reiz OS 80 ms.

Eine objektive Darstellung von vorbewussten Diskriminationsprozessen mittels MMN unter Verwendung der zwei Ordnungsschwellenreize von 200 ms und 80 ms ist damit bei den Erwachsenen möglich. Die Differenzkurven auf die zwei Reize unterscheiden sich nicht. Damit kann mittels der Differenzkurven keine Aussage getroffen werden, ob der Proband eher eine Ordnungsschwelle von 200 ms oder von 80 ms hat. Ein Anteil von maximal 64 Prozent signifikanten MMN-Kurven bei den Erwachsenen wirft zudem die Frage auf, ob damit eine klinische Anwendung stattfinden kann.

### **5.2.2. Altersentwicklung der MMN-Antworten**

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die Resultate anderer Arbeitsgruppen, dass die MMN vom Kindes- zum Erwachsenenalter umfangreiche Reifungs- und Veränderungsprozesse durchläuft.

Hinsichtlich der Latenzentwicklung lassen sich zwei Beobachtungen machen. Die Latenz der MMN I ist bei den Kindern auf beide Reize länger als bei den Erwachsenen. Die Abnahme der Latenz mit zunehmenden Alter deckt sich mit den Beobachtungen anderer Autoren. So beschreiben u.a. Korpilahti und Lang (1994), Kurtzberg et al. (1995) sowie Shafer et al. (2000), dass sich die Latenz signifikant im Schulalter vermindert. Andere Autoren wie Kraus et al. (1992,1993) und Csépe (1995) dagegen geben an, dass es zwischen Schulkindern und Erwachsenen keine großen Unterschiede bezüglich der Latenz gibt. Cheour et al. (1997, 1998) beschreiben, dass die Latenz bei Säuglingen etwas länger sein soll. Brannon et al. (2004) weisen bei Er-

wachsenen und zehn Monate alten Kindern eine MMN bei 110-140 ms und eine Positivierung bei 330-520 ms (Kinder) bzw. 585-705 ms (Erwachsene) nach. Nach Gumenyuk et al. (2003) weisen Kinder eine längere Latenz und höhere Amplitude als Erwachsene auf. Martin et al. (2003) beschreiben Reifungsvorgänge der MMN mit zunehmenden Alter frontal und links lateral.

In der vorliegenden Arbeit lässt sich eine Latenzabnahme der MMN I mit zunehmenden Alter beobachten. Interessanterweise finden sich bei der Latenz der MMN I bei den Kindern zwei Häufigkeitspeaks. Dabei fällt auf, dass sich der frühere Peak den Erwachsenenwerten fast angeglichen hat. Diese Beobachtung führt zu der Vermutung, dass die Kinder vielleicht gerade in dem Zeitraum getestet wurden, in dem sich die MMN den Werten der Erwachsenen anpasst. Sollte sich diese Vermutung bestätigen, hieße das, dass sich die Werte eher sprunghaft und nicht in einer kontinuierlichen Entwicklung anpassen. Bei der MMN II lassen sich ebenfalls zwei Peaks beobachten. Hier gleicht sich der zweite Peak den Erwachsenenwerten an.

Wie schon von mehreren Arbeitsgruppen beschrieben, erweist sich das Ausmaß der MMN auch in dieser Arbeit bei Schulkindern als größer im Vergleich zu den Erwachsenen (Kraus et al., 1992, 1993; Csépe, 1995; Shafer et al., 2000). Im Vergleich der 7- bis 8-jährigen mit den 9- bis 10-jährigen Kindern findet sich keine Amplitudenentwicklung. Auch Shafer et al. haben 2000 beschrieben, dass im Alter von vier bis zehn Jahren sich die Amplitude nicht verändert. Kraus hat 1999 in einer großen Studie bei 71 Kindern die MMN auf unterschiedliche gerade noch wahrnehmbare Differenzen von /da/ vs. /ga/ und bei 81 Kindern von /ba/ vs. /wa/ im Alter von 6 bis 15 Jahren untersucht. Die mittlere Latenz der maximalen Negativierung befindet sich bei 230 ms. In der Latenz finden sich keine Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern. Die Amplitude ist bei den Kindern größer und nimmt tendenziell bei der MMN I und deutlich bei der MMN II (LDN) mit zunehmenden Alter ab. Bezüglich der Latenzen gibt es also widersprüchliche Angaben. In dieser Arbeit nehmen sie im Einklang mit den meisten oben genannten Autoren ab. Bezüglich der Amplitudenentwicklung decken sich ebenfalls die Ergebnisse mit den Resultaten vieler Arbeitsgruppen. Insgesamt stellt Cheour 2001 fest, dass trotz aller Fortschritte nicht bei allen Individuen eine zuverlässige MMN oder LDN auslösbar ist. Es sei weiterhin nicht bekannt,

wieso bei Kindern, die subjektiv in der Lage sind, den Reiz zu diskriminieren, keine MMN oder LDN nachzuweisen ist.

Auch in der vorliegenden Arbeit zeigt nur ein kleiner Teil der Kinder signifikante Differenzkurven. Wie die akustisch evorzierten Potentialverläufe zeigen, wird der zusammengesetzte akustische Reiz von den meisten Kindern als eine Einheit verarbeitet. Um den Devianten zu erkennen, muss der Proband den Seitenwechsel des ersten Tons auf das andere Ohr vorbewusst wahrnehmen. Dafür muss er zwei Töne wahrnehmen. Die Erwachsenen sind dazu mehrheitlich in der Lage, wie der Anteil an signifikanten Differenzkurven zeigt. Bei den Kindern sind es deutlich weniger. Als Ursache lassen sich zwei Gründe angeben. Einmal handelt es sich um ein altersabhängiges Antwortmuster. Auch andere Autoren beobachten, dass die MMN bei Kindern weniger stabil in der Auslösbarkeit ist als bei Erwachsenen. So vermuten Čeporiené et al. (2002) z.B. als Ursache ein weniger ausgereiftes Diskriminationsvermögen bei Kindern. Zum anderen ist, wie der subjektive Ordnungsschwellentest zeigt, der Reiz für die Kinder schwieriger zu verarbeiten.

### **5.2.3. Lokalisation der Amplitudenmaxima der MMN-Antworten**

Es wird die Ansicht vertreten, dass Sprache bei Menschen in der linken Hemisphäre verarbeitet wird. So zeigen auch mehrere MMN-Studien, dass Vokale ( Näätänen et al., 1997; Alho et al., 1998; Rinne et al., 1999; Tervaniemi et al., 2000) und Silben (Alho et al., 1998; Shtyrov et al., 2000) im linken auditorischen Kortex diskriminiert werden. Alho (1995) und Gumenyuk et al. (2003) beschreiben, dass bei Erwachsenen die MMN typischerweise frontozentral am ausgeprägtesten sei, nach Paavilainen et al. (1991) bei nicht sprachlichen Stimuli über der rechten Hemisphäre. Auch Rinne et al. (1999) finden die maximale MMN-Amplitude bei Tönen über der rechten Hemisphäre und bei Vokalen über der linken Hemisphäre.

Die Lokalisation der MMN ist bei den Erwachsenen in dieser Arbeit mehr zentral ausgeprägt. Die Kinder dieser Untersuchung zeigen die maximalen Amplituden auf Reiz 1 am häufigsten links zentral. Auch auf Reiz 2 dominiert die linke Hemisphäre, bei der MMN I mehr frontal und bei der MMN II eher zentral. Als Alho 1990 seine erste MMN bei Kindern mit einem Standardton von 1200 Hz und einem 1000-Hz-Devianten beschreibt, ist diese frontozentral ausgelöst worden. Csépe (1995) unter-

suchte die MMN-Antwort bei acht bis zehnjährigen ungarischen Kindern auf Sprach- und Nichtsprachreize. Für alle Reize kann eine deutliche MMN nachgewiesen werden, aber die Lokalisation der maximalen Amplitude ist abhängig vom Reiz. Die MMN auf Sinustöne und Vokale hat ein frontozentrales Maximum über der rechten Hemisphäre. Die MMN auf Stoppkonsonanten ist gleichmäßig über beide Hemisphären verteilt. Am ausgeprägtesten ist die Amplitude auf Vokale. Außerdem untersuchte sie siebenjährige normal entwickelte und LRS-Kinder. Sie findet bei den normal entwickelten Kindern auf Sinustöne eine Rechtshirndominanz und auf Sprachreize eine Linkshirndominanz der MMN. Die LRS-Kinder zeigen dagegen keine Dominanz der beiden Hemisphären.

Kraus et al. weisen 1999 nach, dass die MMN bei Kindern eher zentral abgeleitet werden sollte. Da die frontalen Anteile des Gehirns später myelinisieren, könnte daher auch die frontale Komponente der MMN später reifen (Alho, 1995). In dieser Arbeit treten bei allen Probanden die maximalen Amplituden eher zentral auf. Damit wird den Beobachtungen der oben genannten Autoren im wesentlichen entsprochen, auch wenn für die Erwachsenen zusätzlich eine frontale Ausrichtung erwartet werden konnte. Nach den oben genannten Autoren wird eine Lokalisation der maximalen Amplituden auf die Tonreize in der rechten Hemisphäre erwartet. Bei den Erwachsenen finden sich die Amplitudenmaxima jedoch in beiden Hemisphären, bei den Kindern sogar in der linken Hemisphäre. Neben der Toneigenschaft des Reizes scheinen also noch andere Faktoren für die Hemisphäre von Bedeutung zu sein. Vielleicht ist bei diesem Reizschema wichtig, dass die Lateralität des Tones bestimmt wird. Dass bei den Erwachsenen beide Hemisphären beteiligt sind, könnte auch ein Hinweis dafür sein, dass verschiedene Generatoren an der Verarbeitung der Reize beteiligt sind.

#### **5.2.4. Einfluss des Geschlechts auf die MMN-Antworten**

Bis auf eine signifikant verkürzte Latenz der MMN II bei den Frauen auf Reiz 1 lassen sich zwischen den Geschlechtern keine signifikanten Unterschiede nachweisen. In der Literatur finden sich nur relativ wenige Beschreibungen zu diesem Aspekt. Die Ergebnisse sind zu einem großen Teil widersprüchlich. Keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei Schulkindern beschreiben auch Kraus et al. (1999). Kasai et

al. (2002) finden ebenfalls keinen Unterschied zwischen Männern und Frauen bei Latenz und Amplitude. Barrett et al. (1998) können ebenfalls bei Erwachsenen keine signifikanten Effekte bei der Latenz nachweisen, beschreiben jedoch eine signifikant größere Fläche unter der Differenzkurve und eine größere Peak-to-Peak-Amplitude bei Frauen. Aaltonen et al. (1994) dagegen finden eine kürzere Latenz der MMN bei männlichen Probanden. Es sollte insgesamt jedoch beachtet werden, dass häufig verschiedene Auswertungsverfahren hinsichtlich der MMN verwendet werden und daher Vorsicht beim Vergleich der Ergebnisse angebracht ist.

### **5.3. Diskussion zu den Ergebnissen der subjektiven Ordnungsschwellenmessung**

In Übereinstimmung mit anderen Autoren ( u.a. Kegel, 1991; Nickisch, 1999; Maier, 1999) nehmen die subjektiv gemessenen Ordnungsschwellenwerte (OS) mit zunehmenden Alter ab. In dieser Arbeit beträgt der durchschnittliche Ordnungsschwellenwert für Erwachsene 85 ms und liegt damit etwas über den Werten anderer Autoren, die Ordnungsschwellenwerte für Erwachsene bei 30-40 ms (Pöppel, 1985; Ilmberger, 1986) bzw. 20 ms (Kegel, 1991) angeben. Auch die gemessenen Werte der normal entwickelten Kinder mit durchschnittlich 191 ms bei einem mittlerem Alter von 8,91 Jahren liegen über den Referenzwerten von Nickisch (1999), der für Kinder im Vor- und Grundschulalter einen Mittelwert von 132 ms angibt. Warnke (1996) gibt die OS ab dem neunten Lebensjahr sogar mit 30 – 40 ms an. Bei Sechsjährigen läge sie bei etwa 60 ms. Bei sprachauffälligen Kindern beträgt die OS nach Kegel im Mittel 306 ms, in dieser Arbeit 230 ms. Nach Warnke sei sie bei sprachauffälligen Kindern zumeist um das Zwei- bis Dreifache verlängert.

Meister beschreibt 2000, dass sich deutlich unterschiedliche Werte ergeben können, je nachdem, welche Wahrscheinlichkeit für eine richtige Antwort als Schwelle zugrunde gelegt werde. Damit sei ein direkter Vergleich von Ergebnissen, die mit verschiedenen Messverfahren ermittelt wurden, nicht ohne weiteres möglich. Es könnten im Normkollektiv Werte von ca. 20 bis 100 ms nachgewiesen werden, was im Widerspruch zu den sonst üblichen Angaben von 30-40 ms stünde. Die Arbeitsgruppe bezweifle wegen der hohen Variabilität der Daten, dass sich die Erfassung der OS zur Diagnostik zentral auditiver Verarbeitungsstörungen eigne. Da sich in dieser Ar-

beit eine noch größere Spannweite der Ordnungsschwellenwerte zeigt, halte ich diese Zweifel für berechtigt. Zudem muss in Erwägung gezogen werden, dass die OS-Messung von verschiedensten zusätzlichen Faktoren abhängig ist wie Konzentration, Aufmerksamkeit und Vigilanz. Zusätzlich ist sie trainierbar. Außerdem stellt sich die Frage, ob die auditive OS wirklich das zeitliche Auflösungsvermögen des zentral-auditiven Systems widerspiegelt. Nickisch fragt schon 1999, welche Einzelkomponenten und Einflußfaktoren in den Messablauf neben der tatsächlichen Fähigkeit zur auditiv-zeitlichen Verarbeitung der Testaufgabe eingegangen sind. Er nennt neben der Zeitverarbeitung des zentralen Hörsystems u.a. die Faktoren Konzentration, Lernfähigkeit, Feinmotorik, motorische Reaktionsgeschwindigkeit und –sicherheit, Frustrationstoleranz, selektiv-auditive und allgemeine Aufmerksamkeit sowie Auffassungsgabe entscheidend bedeutsam, ebenso die Art der Testinstruktion, deren Ausführlichkeit und die Einfühlsamkeit des Testleiters. Die Fülle der vorgenannten, zusätzlich in die Messung einfließenden Variablen ließen die Validität der OS-Messungen im Hinblick auf die zeitlichen Informationsverarbeitungsprozesse fragwürdig erscheinen. So seien insbesondere für die verlängerten Ordnungsschwellenwerte der sprachgestörten Kinder neben dem eventuell eingeschränkten Zeitauflösungsvermögen des zentralauditiven Systems zusätzlich auch sämtliche vorgenannte Faktoren zu diskutieren, ohne dass sich entscheiden ließe, welche der Faktoren oder Faktorkombinationen tatsächlich die wesentliche Ursache für die verlängerten Ordnungsschwellenwerte darstellt. Es könne angenommen werden, dass für ältere Schulkinder und Erwachsene der Anteil der tatsächlich in die Ordnungsschwellenmessung eingegangenen zentralauditiven Zeitverarbeitungsleistungen im Gegensatz zu den 5- bis 9-Jährigen relativ höher sei, da das Ausmaß der bei älteren Schulkindern oder Erwachsenen zusätzlich in die Messung mit eingehenden Variablen geringer als bei jüngeren Kindern sein müsste. Dies könnte auch einen Grund für die zwischen fünf und neun Jahren langsam geringer werdenden Ordnungsschwellenwerte darstellen. Denn die Phonemerkennung und die Umsetzung in ein bestimmtes Lautmuster seien ja bereits zum Abschluss der Sprachentwicklung mit vier Jahren möglich, zumal Kleinkinder in der Regel die korrekte Plosivlautbildung beherrschen. Insofern müsste das zur Plosivlautdifferenzierung und –erkennung notwendige zeitliche Auflösungsvermögen des zentralauditorischen Systems bereits

im Vorschulalter die zur Phonemdetektion entscheidenden Eigenschaften besitzen. So seien es also eher die anderen, vom Zeitaufklärungsvermögen des Hörsystems unabhängigen Variablen, die die Ordnungsschwellenwerte im Kleinkindalter und beginnenden Schulalter noch nicht an Werte von Erwachsenen heranreichen ließen. Analog hierzu sei aus denselben Gründen damit zu rechnen, dass sich die Ordnungsschwellenwerte nach wenigen weiteren Messungen aufgrund allein des Trainingseffektes verkürzen müssten, ohne dass dies zwangsläufig eine Verbesserung der zentralauditiven Zeitverarbeitung bedeuten würde. Insgesamt wisse man noch sehr wenig über die physiologischen Mechanismen der zeitlichen Spracherkennung und die eventuell notwendigen Voraussetzungen hierfür von seiten des zentralauditiven Systems. Zum derzeitigen Stand der Kenntnisse sei es nicht erlaubt anzunehmen, dass ein OS-Training direkte Auswirkungen auf die Phonemdetektion haben könnte. Noch weniger erscheine es gerechtfertigt, das OS-Training in anderen therapeutischen Bereichen einzusetzen. Bislang fehlten wissenschaftliche Studien, die den therapeutischen Effekt der Trainingsgeräte hinreichend belegen.

Auch Kegel (1991) stellt die OS-Messung in Frage. Die von ihm befragten Erwachsenen finden durchweg die Angelegenheit schlichtweg langweilig. Man höre minutenlang immer wieder dasselbe, nämlich Geräusche ohne irgendeine Bedeutung. Andererseits habe man eine ungewöhnliche Aufgabe zu erfüllen, die hohe Konzentration fordere. So werde die Situation insgesamt als sehr künstlich empfunden. Man müsse seine Aufmerksamkeit ganz bewusst auf einem hohen Niveau halten. Anfangs sei man noch einigermaßen befriedigt und motiviert, da bei großen Interstimulusintervallen (ISI) relative Sicherheit hinsichtlich der Richtigkeit des Urteils vorherrsche. Näherte sich aber das ISI der persönlichen OS, verlöre sich diese Sicherheit. Man werde schwankend, angestrengt und unzufrieden. Bald sehe man das Ende des Versuchs herbei. Auch nach Kegel erfordert die OS-Messung Konzentration und Aufmerksamkeit.

Aus diesen Gründen ist die Messung der OS aus meiner Sicht nicht geeignet, eine Aussage zur zeitlichen Verarbeitung als Aspekt auditiver Wahrnehmung zu treffen und damit in der Diagnostik eingesetzt zu werden.

In der Therapie soll das OS-Training einen positiven Effekt bei auditiven Wahrnehmungsstörungen haben. Minning (2001) beschreibt, dass sich das OS-Training posi-

tiv auf die Konzentration und Merkfähigkeit auswirkt. Ein OS-Training könne deutliche Verbesserungen bewirken, wenn es um die Kopplung der auditiv-taktilen oder visuell-taktilen Modalitäten ginge. Denn durch das Drücken der Antworttaste in Koordination mit der auditiven und/oder visuellen Wahrnehmung der Reize würden Einzelleistungen der Wahrnehmung und intermodale Fähigkeiten trainiert. Größere Untersuchungen zu diesem Aspekt sind meines Wissens bisher jedoch nicht erfolgt.

#### **5.4. Diskussion zu den Zusammenhängen zwischen subjektiven und objektiven Tests**

Eine allgemeine Korrelation für alle untersuchten Gruppen findet sich nicht. Es zeigen sich lediglich Korrelationen einzelner Komponenten, zum Teil nur einzelner Ableitorte, mit einzelnen Probandenuntergruppen.

##### Subjektive Ordnungsschwellenmessung – Kortikale Potentialantworten:

Die einzige signifikante Korrelation findet sich bei Reiz 1 bei den Kindern mit AVWS u./o. LRS zwischen der Latenz der Komponente N2 und der subjektiven Ordnungsschwelle. Je besser die subjektive Ordnungsschwellenmessung ist, desto später ist die Latenz der N2. Außerdem korrelieren bei Reiz 2 bei den Kindern mit AVWS u./o. LRS hohe Amplituden der Komponente N2 in den Ableitungen F4 und C4 mit einer hohen subjektiven OS.

Die Interpretation der Ergebnisse ist schwierig durch die komplexe altersabhängige Entwicklung aller Parameter. Zusätzlich zeigen gerade die subjektiven OS-Ergebnisse eine große Spannweite. Insgesamt lässt sich jedoch schlussfolgern, dass eine objektive Ermittlung des individuellen OS-Wertes anhand der Potentialverläufe mit diesem Versuchsaufbau nicht möglich ist. Ob die längere Latenz und geringere Amplitude der N2 bei gutem OS-Wert wirklich charakteristisch bei auffälligen Kindern ist, müssten folgende Studien mit einem größeren Studienkollektiv überprüfen. Vielleicht geben die hier gefundenen Korrelationen einen Hinweis auf eine entscheidende Bedeutung der Komponente N2 bei auffälligen Kindern. In der Literatur ist die Latenz der N2 bedeutsam für Änderungen der akustischen Merkmale (Mc Pherson u. Ballachanda, 2000). Nach Ponton (2000) wird die N2 durch Aufmerksamkeit und Reizeigenschaften wie Intensität, Wahrscheinlichkeit und Modalität beeinflusst.

##### Subjektive Ordnungsschwelle - MMN-Antworten:

Nur bei Reiz 1 finden sich hohe Korrelationen zwischen der der subjektiven Ordnungsschwelle und der Latenz der MMN II sowie der Latenz der Positivierung der Differenzkurve bei Kindern mit AVWS u./o. LRS, außerdem korreliert die Latenz der Positivierung der Differenzkurve bei den Erwachsenen. Eine niedrige subjektive OS korreliert mit langen Latenzen. Eigentlich ist zu erwarten, dass niedrige OS-Werte mit einer kurzen Latenz korrelieren. Tervaniemi beschreibt 2000 eine Korrelation zwischen einer großen MMN, ausgelöst durch komplexe Töne, und guten Ergebnissen im subjektiven Diskriminationstest. Erschwerender Faktor ist jedoch auch hier die Altersentwicklung der Differenzkurve und die große Spannweite der Werte. Auch ist über die Bedeutung der positiven Differenzkurve bisher nur wenig bekannt. Da diese Potentialantwort mit Aufmerksamkeit in Zusammenhang gebracht wird (Trainor, 2001) und die subjektive OS abhängig von der Aufmerksamkeit des Probanden ist, ließe sich hier vielleicht der Zusammenhang herleiten. Eine eindeutige Korrelation zwischen subjektivem OS-Wert und Ausprägung der Differenzkurve lässt sich jedenfalls nicht nachweisen. Die individuelle Ordnungsschwelle lässt sich damit mit der objektiven EKP-bzw. MMN-Messung nicht darstellen.

Betrachtet man die objektive und subjektive OS-Messung genauer, ist festzuhalten, dass sich die objektive OS bei den Erwachsenen insgesamt durch Ermittlung der signifikanten Differenzkurven auf 55 bis 70 ms eingrenzen lässt. Die subjektive OS beträgt im Mittel 85 ms. Die Werte liegen damit zeitlich nicht weit auseinander, so dass sich hier ein Zusammenhang vermuten lässt. Eine signifikante Korrelation lässt sich jedoch nicht nachweisen. Die „wahre“ OS würde damit etwas niedriger sein als die subjektiv ermittelte. Dies ist zu erwarten, da die subjektive OS durch die zahlreichen anderen oben genannten Einflussfaktoren beeinflusst wird. Für die Kinder ist es mit diesem Versuchsaufbau nicht gelungen, eine objektive OS zu ermitteln. Es ist zudem unklar, welches Gewicht die Einflussfaktoren bei der subjektiven OS haben, d.h. es ist nicht klar, wie weit die objektive OS von der mittleren subjektiv ermittelten OS entfernt liegt.

#### Subjektive Ordnungsschwelle – sonstige subjektive Tests:

Es findet sich lediglich eine Korrelation zwischen der subjektiven OS und der visuellen Wahrnehmung bzw. dem Kurzzeitgedächtnis. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, welche Parameter bei der subjektiven OS-Messung auch eine wichtige Rolle spielen.

Auch Nickisch (1999) betont die Rolle des Kurzzeitgedächtnisses. Der Proband muss sich rasch aufeinanderfolgende Reize merken und dann angeben, aus welcher Richtung der erste Ton kam.

### **5.5. Diskussion zu den Ergebnissen der Kinder mit AVWS u./o. LRS**

Bei den Kindern mit AVWS u./o. LRS treten die EKP-Komponenten in den gleichen Zeiträumen wie bei den normal entwickelten Schulkindern auf. In der Literatur sind die Ergebnisse bei sprachentwicklungsgestörten Kindern uneinheitlich. Mehrfach werden verlängerte N1-Latenzen festgestellt, teilweise in Abhängigkeit vom Ableitort und/oder ISI (Dawson et al., 1989; Lincoln, 1995; Tonnquist-Uhlen, 1996; Warnke et al., 1998). Aber auch verlängerte Latenzen der P2 (Tonnquist-Uhlen, 1996) sowie P300 (Warnke et al., 1998) werden beschrieben. Es finden sich abweichende N1- bzw. N250-Amplituden, jedoch ist die Richtung der Abweichung nicht einheitlich (Korpilahti und Lang, 1994; Neville et al., 1993; Lincoln et al., 1995). Diese uneinheitlichen Ergebnisse könnten daher zustande kommen, dass eigentlich verschiedene Komponenten ausgewertet werden. Einig ist sich jedoch die Mehrheit der Autoren, dass bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen Latenzverzögerungen auftreten als Ausdruck eines verlangsamten sensorischen Verarbeitungsprozesses. Auf die in dieser Arbeit verwendeten Ordnungsschwellenreize bilden alle Kinder gleich gute Potentiale aus. Das bedeutet, dass der Reiz nicht geeignet ist, um Kinder mit AVWS u./o. LRS zu erkennen. Erwachsene unterscheiden sich dagegen deutlich im Potentialverlauf von den Kindern. Wie oben dargestellt, verarbeiten sie die zwei Töne. Kinder dagegen nehmen eine akustische Einheit wahr. Sie zeigen damit altersabhängig eine verzögerte zeitliche Verarbeitung. Um auffällige und normal entwickelte Kinder zu unterscheiden, sind die Abstände der Töne anscheinend zu kurz gewählt.

Auch bei den Amplituden und Latenzen der Differenzkurven zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen normal entwickelten und auffälligen Kindern. Überraschenderweise lassen sich bei den Kindern mit AVWS u/o. LRS deutlich mehr signifikante Differenzkurven nachweisen als bei den unauffälligen Kindern. Dies könnte durch das höhere Alter der Kinder mit AVWS u./o. LRS (mittleres Alter 10,11 Jahre) erklärbar sein. Das mittlere Alter der normal entwickelten Kinder betrug 8,91 Jahre.

Es wurden zudem viel weniger Kinder untersucht. Korpilahti und Lang haben 1994 erstmals bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen (SES) MMN-Messungen durchgeführt. Es wurden gesunde 7- bis 13-Jährige mit gleichaltrigen SES-Kindern verglichen. Hier zeigt sich, dass die MMN-Amplitude in der SES-Gruppe bei Frequenzänderung (500 vs. 533 Hz) und bei deutlicher Tonlängenänderung (50ms vs. 500ms) signifikant reduziert ist. Bei den Kontrollkindern verkürzt sich im Gegensatz zu den SES-Kindern die Latenz der MMN mit dem Alter. Holopainen et al. bestätigen 1997 diese Ergebnisse bei drei- bis siebenjährigen SES-Kindern. Auch Kraus et al. können 1996 bei Kindern mit Lernschwäche einen Zusammenhang zwischen der MMN-Fläche und der Diskriminationsleistung nachweisen. Schulte-Körne et al. (1998) vergleichen 10- bis 11-Jährige unauffällige mit dyslektischen Kindern. Die auffälligen Kinder zeigen auf Sprachreize eine verminderte MMN. Interessanterweise finden sich auf Tonreize keine Unterschiede. Csépe und Gyurkocza (im Druck) finden bei Kindern mit Dyslexie auf Töne keinen Unterschied der MMN-Amplitude im Vergleich mit unauffälligen Kindern, während auf Vokale und Stoppkonsonanten die auffälligen Kinder eine signifikant kleinere MMN zeigen. Uwer et al. bestätigen 2002 dieses Ergebnis. Sie vergleichen in ihrer Studie ebenfalls unauffällige mit sprachbeeinträchtigten fünf- bis zehnjährigen Kindern. Sie verwenden einfache Tonreize, die sich in Dauer und Frequenz ändern sowie Silben. Die auffälligen Kinder zeigen auf die Silben eine verminderte MMN, jedoch nicht auf die Tonreize. Auf den Tonreiz findet sich kein Unterschied zwischen den Gruppen. Uwer et al. schließen daraus, dass die sprachbeeinträchtigten Kinder unter einem Defizit in der automatischen Verarbeitung von Sprachreizen leiden, ihre Fähigkeit, einfache Tonunterschiede zu verarbeiten, jedoch intakt ist. Dass das Defizit der sensorischen Gedächtnisspur bei den auffälligen Kindern nur auf bestimmte Reize auftritt, weist auf die Existenz von verschiedenen MMN-Generatoren hin. Schon Kraus et al. haben 1994 beschrieben, dass reine Tonreize eine MMN im Thalamus auslösen, während Sprachreize Abweichungen im auditorischen Kortex zeigen. In dieser Arbeit korreliert die subjektive Diskriminationsaufgabe nicht mit der MMN, obwohl die auffälligen Kinder deutlich schlechter abschneiden. Eventuell waren die frontalen und zentralen Ableitungen in dieser Arbeit nicht die optimale Lokalisation, um die maximalen Amplituden abzuleiten.

Die maximalen Amplituden der Differenzkurven finden sich bei den auffälligen Kindern auf Reiz 1 mehr rechts frontal und auf Reiz 2 mehr links frontal und zentral. Die normal entwickelten Kinder zeigen dagegen auf Reiz 1 die maximalen Amplituden am häufigsten links zentral. Auf Reiz 2 stimmen die maximalen Amplituden bei beiden Gruppen überein. Korpilahti und Lang (1994) beschreiben in ihrer Arbeit, dass bei den unauffälligen Kindern die MMN rechtshemisphärisch am ausgeprägtesten sei, insbesondere bei der Frequenzänderung, während die MMN bei den SES-Kindern linkshemisphärisch ausgeprägter sei. In dieser Arbeit ist die MMN bei den auffälligen Kindern nicht auf eine bestimmte Hemisphäre lokalisiert.

Bei der Auswertung fällt zudem auf, dass die EKP-Komponente N2 bei den Kindern mit AVWS u./o. LRS eine größere Bedeutung als die restlichen Komponenten zu haben scheint, da sie bei Vergleichen und Korrelationen immer wieder in Erscheinung tritt. So zeigt sich innerhalb der Gruppe der auffälligen Kinder, dass die Latenz der Komponente N2 signifikant länger bei Reiz 2 im Vergleich zu Reiz 1 ist. Bei den subjektiven Tests ergibt sich bei Reiz 1 eine signifikante Korrelation zwischen der Latenz der Komponente N2 und der subjektiven Ordnungsschwelle. Bei Reiz 2 ergibt sich eine hohe Korrelationen zwischen der subjektiven Ordnungsschwelle und der Amplitude der N2 in der Ableitung F4 und C4. Die Komponente N2 soll nach Ponton et al. (2000) durch Aufmerksamkeit und durch die Reizeigenschaften Intensität, Wahrscheinlichkeit und Modalität beeinflusst werden. Weitere Studien mit einem großen Patientenkollektiv sind jedoch notwendig, um die Bedeutung der N2 bei Kindern mit AVWS u./o. LRS zu klären. Eine hohe Korrelation findet sich zudem bei Reiz 1 zwischen der subjektiven Ordnungsschwelle und der Latenz der MMN II sowie der Latenz der Positivierung der Differenzkurve. Beiden Kurven wird von mehreren Autoren u.a. eine Aufmerksamkeitsabhängigkeit zugeordnet (Trainor et al., 2001; Čeponieme et al., 2002). Auch hier müssten größere Studien erfolgen, um Zusammenhänge zu klären.

## **5.6. Fazit**

Bezug nehmend auf die oben genannten Hypothesen lässt sich folgendes feststellen:

Mit Reiz 1 (OS 200 ms) und Reiz 2 (OS 80 ms) lassen sich ereigniskorrelierte Potentiale bei gesunden Erwachsenen, normal entwickelten Kindern und Kindern mit AVWS u./o. LRS darstellen.

Dabei zeigt sich jedoch, dass die Kinder einen anderen Potentialverlauf als die Erwachsenen aufweisen. Sie nehmen den aus zwei Tönen zusammengesetzten Standardreiz als Einheit wahr. Die Erwachsenen nehmen zwei zeitlich kurz nacheinander auftretende Töne wahr und bilden darauf einen entsprechenden zusammengesetzten Potentialverlauf aus.

Mit Reiz 1 (OS 200 ms) und Reiz 2 (OS 80 ms) lassen sich Differenzkurven (MMN) bei gesunden Erwachsenen, normal entwickelten Kindern und Kindern mit AVWS u./o. LRS darstellen. Dabei zeigen die Erwachsenen häufiger signifikante Differenzkurven als die Kinder. Für die Kinder ist der Abstand zwischen den Tönen zu kurz gewählt. Nur ein geringer Teil der Kinder kann zwei Töne wahrnehmen, damit unbewusst den Devianten erkennen (Seitenwechsel des ersten Tones) und Differenzkurven ausbilden. Mit diesem Reizschema kann damit bei den Kindern eine Altersentwicklung nachgewiesen werden. Normal entwickelte und Kinder mit AVWS u./o. LRS unterscheiden sich bei der Ausbildung der Differenzkurven nicht. Die im Mittel etwas älteren Kinder mit AVWS u./o. LRS schneiden sogar etwas besser ab. Da Kinder mit AVWS u./o. LRS in der zeitlichen Verarbeitung beeinträchtigt sind, eignet sich dieses Reizschema zur Überprüfung der zeitlichen Verarbeitung und damit Diagnosefindung der AVWS und LRS bei Kindern nicht.

Reiz 1 (OS 200 ms) und Reiz 2 (OS 80 ms) messen das zeitliche Auflösungsvermögen objektiv mittels MMN. Es besteht jedoch keine Korrelation zwischen der subjektiven OS und der Differenzkurve. Die Differenzkurve bildet sich auf zwei schnell aufeinanderfolgende akustische Reize aus. Dabei ist der abweichende Reiz der erste Ton, der plötzlich auf dem anderen Ohr zu hören ist. Es liegt die Vermutung nahe, dass die entscheidende Eigenschaft des Devianten der Wechsel der Seite des ersten Tons ist. Voraussetzung, um diesen Wechsel zu erkennen, ist jedoch die Fähigkeit, zwei Töne wahrzunehmen. Wird nur ein Ton wahrgenommen, kann auch nicht die Seite des ersten Tones bestimmt werden. Damit wird objektiv das zeitliche Auflö-

sungsvermögen überprüft. Die Frage dieser Arbeit ist jedoch, ob eine objektive Darstellung der OS mittels MMN möglich ist. Die Ordnungsschwelle ist definiert als der minimale zeitliche Abstand zweier Ereignisse, die noch getrennt wahrgenommen werden, also in eine zeitliche Abfolge und damit in eine Ordnung gebracht werden können (Nickisch, 1999; Meister, 1998). Mittels der MMN-Messung ist es hier möglich, den minimalen zeitlichen Abstand zweier Töne zu bestimmen, der diskriminiert werden kann. Es muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass zusätzlich ein Seitenwechsel des akustischen Reizes geschieht. So wird nicht nur die reine OS bestimmt, sondern andere Einflußfaktoren wie die Lateralitätsbestimmung spielen eine Rolle.

Die subjektive OS korreliert nicht mit der Differenzkurve. Da die Differenzkurve das zeitliche Auflösungsvermögen repräsentiert, lässt sich schlussfolgern, dass die subjektive OS-Messung nicht allein die zeitliche Verarbeitung darstellt, sondern vielen Einflussfaktoren unterliegt, die im einzelnen noch geklärt werden müssen. Die subjektive OS korreliert mit dem Alter, ist bei Kindern mit AVWS u./o. LRS erhöht und zeigt eine große Variabilität. Zur alleinigen Diagnostik einer AVWS u./o. LRS in der Klinik ist sie nicht geeignet.

Es wird also weder mittels der subjektiven OS-Messung noch durch die MMN-Messung die reine OS, wie sie oben definiert ist, ermittelt. Die objektive MMN-Messung ist jedoch weniger Einflussfaktoren unterworfen als die subjektive Methode. Sie ist damit als Instrument zur Darstellung der zeitlichen Verarbeitung der subjektiven Messung vorzuziehen.

### **5.7. Methodenkritische Erörterungen und relevante Aspekte für eine perspektivische Nutzung der MMN im klinischen Alltag**

Der Messaufbau insgesamt ist gut geeignet, um im klinischen Alltag eine kindgerechte EKP-/MMN-Messung durchzuführen. Das Verfahren ist technisch wenig aufwendig und bietet eine Software, die eine Auswertung schon während der Messung ermöglicht. Das Auswertverfahren in Anlehnung an Tervaniemi et al. (1999) erscheint mit der engen Filterung zur Verbesserung des Signal- Rauschverhältnis sinnvoll und hat mit der aktuellen Literatur vereinbare Messergebnisse erzielt. Bei einigen Messungen findet sich eine erhebliche Artefaktüberlagerung. Ein Teil der individuel-

len MMN-Antworten ist damit nur eingeschränkt beurteilbar, die Artefaktkontrolle sollte also möglichst verbessert werden. Das schlechte Signal-Rauschverhältnis (Bewegungsartefakte u.ä.) bleibt jedoch sicher ein prinzipielles Problem der kindlichen MMN-Messung. Eine Erhöhung der Deviantenzahl wäre ein Weg, das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Dies lässt sich allerdings in Anbetracht der Belastbarkeit und einer möglichen klinischen Anwendung nicht beliebig variieren. Es ist nicht endgültig geklärt, welche Mindestanzahl an gemittelten Deviantantworten notwendig ist, um ein valides Ergebnis zu erzielen. Die Messung ist mit ca. 30 Minuten pro Kind nicht zu zeitintensiv. Es zeigt sich jedoch eine große interindividuelle Variabilität. Es bedarf weiterer methodischer und messtechnischer Verbesserungen für eine individuelle Beurteilung. Da zur Zeit unterschiedliche Auswertverfahren bei EKP- und MMN-Messungen angewandt werden, ist eine direkte Vergleichbarkeit der Daten schwer. Dies betrifft beispielsweise Prozesse wie die Filterung der Daten, Artefaktbereinigung, verwendete Referenzelektroden oder Lokalisation der Masselektrode. Weitere Unterschiede bestehen in der statistischen Auswertung, wie beispielsweise die Auswertung von mittleren Amplituden (in definierten Zeitfenstern), Peak-Amplituden, Latenzen oder der Fläche unter einer Kurve. Es muss ein standardisiertes Verfahren zur Auswertung der Messdaten und zur Erstellung von Normwerten etabliert werden. Dabei sollten sowohl die kortikalen Standardantworten als auch die MMN-Antworten berücksichtigt werden, da beide geeignet erscheinen, bestimmte Korrelate der vorbewussten Verarbeitung zu objektivieren. Die intraindividuelle Entwicklung der EKP und MMN sollte in Längsschnittstudien weiter an größeren Kollektiven untersucht werden, um die Reifung und Entwicklung dieser neurophysiologischen Korrelate auditiver Wahrnehmung und Diskrimination zunächst bei normal entwickelten Kollektiven besser zu verstehen. Zudem müssen Kinder mit AVWS und/oder LRS systematisch untersucht werden, um beurteilen zu können, welchen Stellenwert das Untersuchungsverfahren zukünftig in der klinischen Diagnostik bei diesen Kindern einnehmen könnte. Erst dann wird sich zeigen, ob eine genügend sichere Abgrenzung zu normal entwickelten Kindern möglich ist.

Die zur Auslösung der MMN verwendeten Ordnungsschwellenreize betragen 200 ms und 80 ms. Die subjektive OS-Messung ergab jedoch deutlich höhere Werte für die Kinder, und die Kinder bildeten kaum signifikante Differenzkurven aus. Der Abstand

zwischen den zwei Tönen wurde für die Kinder zur Diskriminierung zu klein gewählt. Interessant wäre es, in einer folgenden Untersuchung zu überprüfen, ob bei längeren Tonabständen die Kinder deutlichere MMNs darstellen.

Die zur Anwendung kommenden Messmethoden zur Erfassung der subjektiven Ordnungsschwelle sind uneinheitlich. Auch hier fehlt ein standardisiertes Messverfahren. Desweiteren ist weiterhin unklar, welche Parameter bei der Erfassung der subjektiven Ordnungsschwelle alle erfasst werden. Auch hier fehlen Studien mit größeren Kollektiven normal entwickelter und auffälliger Kinder.

## **6. Zusammenfassung**

Zahlreiche Kinder im schulpflichtigen Alter sind in den letzten Jahren in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie mit der Verdachtsdiagnose „auditive Wahrnehmungsstörung“ vorgestellt worden. Auffällig werden diese Kinder ungefähr ab dem 2. und 3. Schuljahr. Als auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) werden Störungen des zentralen Hörvorgangs bezeichnet. Zentrale Prozesse ermöglichen u.a. die vorbewusste und bewusste Analyse von Zeit-, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen akustischer Signale sowie Prozesse der binauralen Interaktion (z.B. zur Geräuschlokalisierung, Lateralisation und Störgeräuschbefreiung). Die Prävalenz auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen bei Kindern beträgt nach Chermak et al. (1999) zwei bis drei Prozent. Dabei sind Jungen doppelt so häufig betroffen wie Mädchen. Nach Definition der American Speech, Hearing and Language Association (ASHA) werden unter zentral-auditiven Verarbeitungsstörungen (ZAVST) Defizite in einem oder mehreren zentral-auditorischen Verarbeitungsprozessen verstanden, die für die Erzeugung akustisch evorzierter Potentiale sowie folgende psychoakustische Leistungen verantwortlich sind (Meister et al., 2000): Schalllokalisierung, auditive Diskrimination, auditive Mustererkennung, zeitliche Aspekte des Hörens einschließlich zeitlicher Auflösung, zeitlicher Maskierung und Integration, auditive Wahrnehmung bei konkurrierenden Signalen, auditive Wahrnehmung bei reduzierten akustischen Signalen und zeitlicher Ordnung. Es wird angenommen, dass bei Kindern mit durch AVWS bedingten Sprachentwicklungsstörungen ein wesentliches Element die mangelnde zeitliche Auflösung ist (u.a. Tallal und Piercy, 1973; Veit, 1994; Meister, 2000; Gross et al., 2001). Mehrere Ar-

beitsgruppen weisen nach, dass Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen vor allem Defizite in der zeitlichen Verarbeitung und Erkennung schnell gesprochener Sprachlemente haben und dass die Defizite der zeitlichen Verarbeitung durch konsequentes Training überwunden werden können (u.a. Merzenich et al.; 1996, Tallal et al., 1996).

Die Bestimmung der Ordnungsschwelle (OS) wird als ein mögliches Verfahren zur Diagnose der AVWS kontrovers diskutiert (Meister et al., 2000). Die Ordnungsschwelle ist definiert als der minimale zeitliche Abstand zweier Ereignisse, die noch getrennt wahrgenommen werden, also in eine zeitliche Abfolge und damit in eine Ordnung gebracht werden können (Nickisch, 1999; Meister, 1998). Üblicherweise wird die OS derart ermittelt, dass zwei Klicks mit randomisierten Zeitdifferenzen im Bereich mehrerer Millisekunden getrennt rechts und links vorgespielt werden. Der Proband muss angeben, von welcher Seite der erste Stimulus kommt. Dabei nehmen die Ordnungsschwellenwerte mit zunehmenden Alter ab (Pöppel, 1985; Ilmberger, 1986; Kegel, 1991; Nickisch, 1999). Sprachauffällige Kinder zeigen höhere Ordnungsschwellenwerte (Kegel, 1991; Warnke, 1993, 1996; Nickisch, 1999).

Von Vorteil wäre jedoch ein objektives Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der OS. Eine Objektivierung und mögliche Frühdiagnostik von zeitlichen Verarbeitungsstörungen könnte möglicherweise einen Ausgangspunkt für eine Frühintervention bei Sprachentwicklungsstörungen (SES) darstellen.

An 62 normal entwickelten Kindern der 2. und 3. Schulklasse (unauffälliges Tonschwellenaudiogramm,  $IQ > 90$ , keine bekannte Lese-Rechtschreib- oder Sprachentwicklungsstörung), 20 Kindern mit in der Klinik diagnostizierter AVWS u./o. LRS sowie 16 unauffälligen Erwachsenen wurden die akustisch ereigniskorrelierten Potentiale (EKP) und eine ihrer Teilkomponenten, die MMN, mit zwei verschiedenen Reizen gemessen. Die Reize bestanden aus binaural zeitlich versetzt beginnenden Sinustönen (200 ms bzw. 80 ms Differenz).

Die Messung der EKP und der MMN stellen ein Verfahren zur Objektivierung des Diskriminationsvermögens auditiver Ereignisse dar. Die MMN tritt auf, wenn in einer homogenen Sequenz von auditorischen Standardreizen („Standard“) ein Reiz dargeboten wird, der sich in mindestens einer Reizeigenschaft vom Standard unterscheidet.

det („Deviant“). Die MMN scheint als weitgehend aufmerksamkeitsunabhängiges messbares Potential geeignet zu sein, um Sprachwahrnehmung, auditives Gedächtnis und auditive Diskrimination zu untersuchen. Durch verschiedene Studien an kleineren klinischen Populationen gelang es zudem, Teilleistungsstörungen bei Patienten zu objektivieren. Bevor dieses Verfahren in der klinischen Diagnostik angewendet wird, bedarf es allerdings der Untersuchung größerer, normal entwickelter Kollektive. Entsprechend dem Messplatzaufbau von Nubel et al. (1998) erfolgten die Messungen der MMN über einen 4-Kanal-EEG-Verstärker unter Verwendung handelsüblicher Silberchlorid-Elektroden in Anlehnung an das internationale 10-20 EEG-System an den Orten F3, F4, C3 und C4. Die Reize wurden mit handelsüblicher Audio-Software generiert bzw. aufgenommen, als Wave-Dateien auf dem Rechner abgelegt und dann als „Passive Oddball“-Paradigmen binaural über Kopfhörer dargeboten. Die EKPs und die MMN wurden bei zwei verschiedenen Reizen mit binaural zeitlich versetzt beginnenden Sinustönen gemessen (200 ms Differenz bei Gesamtreizlänge von 250 ms (Reiz 1) bzw. 80 ms Differenz bei Gesamtreizlänge von 130 ms (Reiz 2). Der Deviantreiz (links vor rechts beginnend) wurde in einer Reihe von Standardreizen (rechts vor links beginnend) randomisiert im Verhältnis 5:1 dargeboten und die Rohdaten anschließend digital gefiltert. Die Messungen erfolgten im abgedunkelten Raum mit „kindgerechter“ Videosedierung. Zusätzlich wurde bei allen Probanden die Ordnungsschwelle subjektiv mittels Ordnungsschwellentester OAV 18C bestimmt, indem der nach drei Minuten erreichte Wert in die Auswertung genommen wurde.

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurden zum einen die kortikalen Potentialantworten und zum anderen die MMN-Antworten anhand der Differenzkurven zwischen den jeweiligen Deviant- und Standardantworten ausgewertet.

Bei den EKPs ergeben die zwei kurz aufeinander folgenden akustischen Standardreize (200 ms bzw. 80 ms) bei den Erwachsenen einen typischen ereigniskorrelierten Potentialverlauf mit einem deutlichen N1-/P2-Komplex und ausgeprägten N1\*/P2\*-Komplex. Die Morphologie der Potentiale liefert den Schluss, dass die Erwachsenen den zusammengesetzten akustischen Reiz getrennt wahrnehmen und verarbeiten. Die Komponenten P1, N1 und P2 weisen auf beide Reize ähnliche La-

tenzen und Amplituden auf. Die Latenzen der N1\* und P2\* sind dann bei Reiz 1 signifikant verlängert, was sich auf den mit 200 ms später einfallenden zweiten akustischen Reiz zurückführen lässt. Eine signifikante Korrelation der zwei Reize kann nur für die Amplitude der N1 nachgewiesen werden.

Auch bei den 62 normal entwickelten Schulkindern zeigt sich ein typischer Potentialverlauf mit einem auffälligen P1-/N2-Komplex. Die Kinder verarbeiten beide Reize als Einheit. Beim Vergleich der Potentialantwort auf die zwei Reize zeigt sich, dass die Latenzen aller Komponenten bei der OS 80 ms verlängert sind, davon die P2, N2 und die P3 signifikant. Bei den Amplituden sind die P1 und die P3 signifikant bei der OS 200 ms vergrößert. Zwischen den zwei Reizen kann keine signifikante Korrelation von Latenz oder Amplitude nachgewiesen werden. Es fällt jedoch auf, dass die Latenz der P1 und N1 den höchsten Korrelationskoeffizienten aufweisen.

Die Latenz der Komponenten verkürzt sich mit zunehmenden Alter, wobei wegen der Überlagerung der Reize der direkte Vergleich zwischen Erwachsenen und Kindern nur bei den Komponenten P1, N1 und P2 vorgenommen werden kann. Die mittlere Latenz der P1 und N1 ist signifikant bei den Kindern im Vergleich zu den Erwachsenen auf beide Reize verlängert. Die Latenz der P2 unterscheidet sich zwischen den Gruppen nicht signifikant. Bei Reiz 1 ist die Latenz der N1\*/N2 und P2\*/P3 bei den Erwachsenen signifikant verlängert, was sich aus der Überlagerung des langen Reizes (OS 200 ms) ergibt. Bei Reiz 2 ist die P2\*/P3 bei den Kindern signifikant verlängert.

Bei den Amplituden zeigt sich auf beide Reize ein fast einheitliches Ergebnis: Bei Reiz 1 zeigen die Kinder bei allen Komponenten größere Amplituden. Eine Ausnahme bildet die N1, hier weisen die Erwachsenen größere Amplituden auf. Bei Reiz 2 sind die Amplituden der Erwachsenen bei der N1 und P2 größer.

Zwischen den Geschlechtern ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in Latenzen und Amplituden. Einzige Ausnahme ist die größere Amplitude der N2 der Mädchen bei Reiz 1.

Die Auswertung der Differenzkurven ergibt folgende Ergebnisse: Alle 16 Erwachsenen zeigen auf Reiz 1 und 14 Erwachsene auf Reiz 2 eine MMN I im ersten Zeitfenster zwischen 70 und 164 ms nach Reizbeginn. Die mittlere Latenz der MMN I auf

Reiz 1 liegt bei 106 ms und auf Reiz 2 bei 110 ms. Bei Reiz 1 sind 63 Prozent der MMN I signifikant, bei Reiz 2 sind es 64 Prozent.

Bei 16 (auf Reiz 1) bzw. 15 (auf Reiz 2) Erwachsenen kommt es anschließend zu einer Positivierung der Differenzkurve mit einer mittleren Latenz um 260 ms bei Reiz 1 und 225 ms bei Reiz 2, davon sind 38 Prozent bzw. 47 Prozent signifikant.

Im Zeitfenster zwischen 267 ms und 390 ms zeigen 13 (auf Reiz 1) bzw. 15 (auf Reiz 2) Erwachsene eine MMN II mit einer mittleren Latenz von 347 ms auf Reiz 1 und 330 ms auf Reiz 2 mit einer Signifikanz von 31 Prozent bzw. 33 Prozent.

Von den 62 normal entwickelten Kindern der 2. und 3. Schulklasse zeigen 56 auf Reiz 1 eine MMN I zwischen 80 und 240 ms mit einer mittleren Latenz bei 154 ms. Im Zeitfenster zwischen 240 ms und 390 ms zeigen 55 Kinder auf Reiz 1 eine MMN II mit einer mittleren Latenz von 313 ms. Bei 59 Kindern kommt es auf Reiz 1 zwischen der MMN I und MMN II zu einer Positivierung der Differenzkurve im Zeitfenster zwischen 130 und 340 ms mit einer mittleren Latenz von 234 ms.

Auf Reiz 2 zeigen 56 der normal entwickelten Kinder eine MMN I mit einer mittleren Latenz bei 150 ms. Im Zeitfenster zwischen 200 ms und 400 ms zeigen 52 Kinder auf Reiz 2 eine MMN II mit einer mittleren Latenz von 309 ms. Bei 58 Kindern kommt es auf Reiz 2 zu einer Positivierung der Differenzkurve mit einer mittleren Latenz von 242 ms.

Von den 56 Kindern, bei denen jeweils auf Reiz 1 und Reiz 2 eine MMN I nachweisbar ist, ist diese bei 23 Prozent bzw. 30 Prozent der Kinder signifikant. Die MMN II ist auf Reiz 1 bei 26 Prozent und auf Reiz 2 bei 25 Prozent der Kinder signifikant. Die Positivierung ist bei 17 Prozent bzw. 10 Prozent der Kinder signifikant.

Insgesamt lassen sich bei den Erwachsenen deutlich mehr signifikante Differenzkurven nachweisen als bei den Kindern. Die Kinder zeigen eine viel breitere Streuung der Latenzen als die Erwachsenen.

Die Latenz der MMN I ist bei beiden Reizen bei den Kindern signifikant länger als bei den Erwachsenen. Die Latenz der MMN II dagegen ist bei den Erwachsenen länger. Die Amplituden sind auf beide Reize bei den Erwachsenen geringer.

Geschlechtsspezifische Unterschiede zeigen sich keine bis auf eine Ausnahme. Bei den Erwachsenen ist bei Reiz 1 die Latenz der MMN II bei den Frauen signifikant verkürzt.

Signifikante Unterschiede der Differenzkurven auf die zwei Reize finden sich weder bei den normal entwickelten Kindern noch bei den Erwachsenen.

Die Lokalisation der MMN ist bei den Erwachsenen mehr zentral bei beiden Hemisphären ausgeprägt. Bei den Kindern treten die maximalen Amplituden der MMN I und der MMN II auf Reiz 1 am häufigsten links zentral auf. Auf Reiz 2 treten die maximalen Amplituden auch häufiger linkshemisphärisch auf, bei der MMN I mehr frontal und bei der MMN II eher zentral.

Zusätzlich wurden 20 Kinder untersucht, bei denen eine LRS u./o. AVWS diagnostiziert worden war. Weder bei den Amplituden noch bei den Latenzen der EKPs und der Differenzkurven finden sich Unterschiede zwischen den normal entwickelten und den auffälligen Kindern. Es fällt auf, dass die Kinder mit LRS u./o. AVWS deutlich mehr signifikante Differenzkurven aufweisen als die unauffälligen Kinder, was an dem höheren Alter der Kinder liegen könnte. Die maximalen Amplituden auf Reiz 1 kommen eher rechts frontal und auf Reiz 2 eher links frontal und zentral zur Darstellung. Innerhalb der Gruppe der auffälligen Kinder zeigt sich, dass die Latenz der Komponente N2 bei Reiz 2 signifikant länger im Vergleich zu Reiz 1 ist.

Die dreiminütige Messung der subjektiven Ordnungsschwelle mit dem Ordnungsschwellentester OAV 18 ergibt bei den Erwachsenen einen mittleren Wert von 85 ms, bei den normal entwickelten Schulkindern von 191 ms und bei den Kindern mit einer AVWS und/oder LRS von 230 ms.

Die Latenzen und Amplituden der EKPs und Differenzkurven wurden mit der subjektiven Ordnungsschwellenmessung korreliert. Eine aussagefähige Korrelation ergibt sich nicht.

Zusätzlich wurde die subjektive Ordnungsschwelle mit den anderen subjektiven Tests korreliert. Eine hohe Korrelation findet sich bei den unauffälligen Kindern bei der visuellen Wahrnehmung und bei den Kindern mit AVWS u./o. LRS bei dem psycholinguistischen Entwicklungstest (PET) im Untertest Zahlenfolgedächtnis (ZFG).

Bei diesen Kindern korreliert eine niedrige OS mit einem guten Ergebnis der visuellen Wahrnehmung bzw. im Kurzzeitgedächtnis.

Mit dem gewählten Messverfahren lassen sich akustisch evorzierte Potentiale bei unauffälligen Erwachsenen, normal entwickelten Kindern und Kindern mit AVWS u./o. LRS darstellen. Dabei zeigt sich jedoch, dass die Kinder einen anderen Potentialverlauf als die Erwachsenen aufweisen, da sie den zusammengesetzten Reiz als Einheit wahrnehmen und verarbeiten.

Es lassen sich auch Differenzkurven (MMN) bei allen Probanden darstellen. Dabei zeigen die Erwachsenen häufiger signifikante Differenzkurven als die Kinder. Für die Kinder ist der Abstand zwischen den Tönen zu kurz gewählt. Mit diesem Reizschema kann bei den Kindern eine Altersentwicklung nachgewiesen werden. Normal entwickelte und auffällige Kinder unterscheiden sich bei der Ausbildung der Differenzkurven nicht.

Letztendlich ist festzuhalten, dass die Reize das zeitliche Auflösungsvermögen objektiv mittels MMN messen. Es werden neben der OS, wie sie oben definiert ist, jedoch auch andere Faktoren objektiv mitbestimmt, wie die Lateralitätszuordnung der Töne.

Es besteht keine Korrelation zwischen der subjektiven OS und der Differenzkurve. Da die Differenzkurve im wesentlichen das zeitliche Auflösungsvermögen repräsentiert, lässt sich schlussfolgern, dass die subjektive OS-Messung nicht allein die zeitliche Verarbeitung darstellt, sondern vielen Einflussfaktoren unterliegt, die im einzelnen noch geklärt werden müssen. Die subjektive OS korreliert mit dem Alter, ist bei Kindern mit AVWS u./o. LRS erhöht und zeigt eine große Variabilität. Zur alleinigen Diagnostik einer AVWS u./o. LRS in der Klinik ist sie nicht geeignet.

Es wird also weder mittels der subjektiven OS-Messung noch durch die MMN-Messung die reine OS, wie sie oben definiert ist, ermittelt. Die objektive MMN-Messung ist jedoch weniger Einflussfaktoren unterworfen als die subjektive Methode. Sie ist damit als Instrument zur Darstellung der zeitlichen Verarbeitung der subjektiven Messung vorzuziehen.

## 7. Anhang

### 7.1. Literaturliste

#### Name, Titel, Zeitschrift oder Buch, Band, Seite (Jahr)

Aaltonen, O., Eerola, O., Lang, A.H., Uusipaikka, E., Tuomainen, J.: Automatic discrimination of phonetically relevant and irrelevant vowel parameters as reflected by mismatch negativity; *J Acoust Soc Am* 96, 1489-1493 (1994)

Alho, K., Sainio, K., Sajaniemi, N., Reinikainen, K., Näätänen, R.: Event-related brain potentials of human newborns to pitch change of an acoustic stimulus; *Electroenceph clin Neurophysiol* 77, 151-155 (1990)

Alho, K.: Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterparts (MMNm) elicited by sound changes; *Ear and Hearing* 16 (1), 38-51 (1995)

Alho, K., Connolly, J.F., Cheour, M.: Hemispheric lateralization in preattentive processing of speech sounds; *Neurosci. Lett.* 258, 9-12 (1998)

Angermaier, M., *Psycholinguistischer Entwicklungstest (PET)*, Weinheim, 1974

Barrett, K.A., Fulfs, J.M.: Effect of gender on the mismatch negativity auditory evoked potential; *J Am Acad Audiol*, 9 (6), 444-51 (1998)

Becker, P. et al: *Dt. Bearbeitung des Coloured Progressive Matrices nach Raven (CPM)*, 1980

Brannon, E.M., Roussel, L.W., Meck, W.H., Woldorff, M.: Timing in the baby brain; *Cognitive Brain Research* 21, 227-233 (2004)

Brunner, M. et al: Heidelberger Lautdifferenzierungstest (H-LAD), Prüfung der auditiv-kinästhetischen Wahrnehmungstrennschärfe zur Differenzierung der Ursachen bei Lese-Rechtschreibschwäche; (Handanweisung). 1999

Bühl, A., Zöfel, P.: SPSS 11, Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows; Pearson Studium, 8. Auflage (2002)

Čeponiemi, R., Cheour, M., Näätänen, R.: Interstimulus interval and auditory event-related potentials in children: Evidence for multiple generators; *Electroenceph Clin Neurophys* 108, 345-354 (1998)

Čeponiemi, R., Service, E., Kurjenluoma, S., Cheour, M., Näätänen, R.: Children's performance on pseudoword repetition depends on auditory trace quality: evidence from event-related potentials; *Dev Psychol* 35, 709-720 (1999)

Čeponiemi, R., Yaguchi, K., Shestakova, A., Alku, P., Suominen, K., Näätänen, R.: Sound complexity and speechness effects on pre-attentive auditory discrimination in children; *International Journal of Psychophysiology* 43, 199-211 (2002)

Cheour-Luhtanen, M., Alho, K., Kujala, T., Sainio, K., Reinikainen, K., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O., Näätänen, R.: Mismatch negativity indicates vowel discrimination in newborns; *Hearing Research* 82, 53-58 (1995)

Cheour-Luhtanen, M., Alho, K., Sainio, K., Rinne, T., Reinikainen, K., Pohjavuori, M., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O., Näätänen, R.: The ontogenetically earliest discriminative response of the human brain; *Psychophysiology (Special Report)* 33, 478-481 (1996)

Cheour, M., Alho, K., Sainio, K., Reinikainen, K., Renlund, M., Aaltonen, O., Eerola, O., Näätänen, R.: The mismatch negativity to changes in speech sounds at the age of three months; *Dev Neurophysiol* 13, 167-174 (1997)

Cheour, M., Alho, K., Ceponiemi, R., Reinikainen, K., Sainio, K., Pohjavuori, M., Aaltonen, O., Näätänen, R.: Maturation of mismatch negativity in infants; *Int J Psychophysiol* 29(2), 217-226 (1998)

Cheour, M., Ceponiemi, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., Näätänen, R.: Development of language-specific phoneme representations in the infant brain; *Nat Neurosci* 1, 351-353 (1998)

Cheour, M., Leppänen, P.H., Kraus, N.: Mismatch Negativity (MMN) as a tool for investigating auditory discrimination and sensory memory in infants and children; *Clinical Neurophysiology* 11, 4-16 (2000)

Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O., Lang, A.-H.: Mismatch Negativity and Late Discriminative Negativity in Investigating Speech Perception and Learning in Children and Infants; *Audiology and Neuro-Otology* 6, 2-11 (2001)

Cheour, M., Ceponiemi, R., Rinne, T.: Auditory event-related potentials in children and adults: MMN matures early, LDN does not; (im Druck)

Chermak, G.D., Hall, J.W., Musiek, F.E.: Differential diagnosis and management of central auditory processing disorder and attention deficit hyperactivity disorder; *J Am Acad Audiol* 10(6), 289-303 (1999)

Coles, M.G.H., Rugg, M.D. : Event-related brain potentials: An introduction. In Rugg, M. D. and Coles, M. G. H., *Electrophysiology of mind. Event-related brain potentials and cognition. Oxford Psychology Series, Vol. 25*, Oxford: Oxford University Press (1996)

Courchesne, E.: Event related potentials. In: Rohrbaugh, J., Parasuraman, R. and Johnson, R. (Eds.), *Chronology of postnatal human development: Event related po-*

tentials, positron emission tomography; myelinogenesis and synaptogenesis, New Oxford University Verlag, 1990, S. 210-241

Csépe, V.: On the origin and development of the mismatch negativity; *Ear Hearing* 16(1), 90-104 (1995)

Csépe, V. and Molnar, M.: Towards the possible clinical application of the mismatch negativity component of event-related potentials; *Audiol Neurotol* 2, 354-369 (1997)

Csépe, V., Gyurkocza, E.E.: Abnormal mismatch negativity to phonetic deviations in developmental dyslexia; *Dev. Neuropsychol.* (im Druck)

Dawson, G., Finley, C., Phillips, S., Lewy, A.: A comparison of hemispheric asymmetries in speech-related brain potentials of autistic and dysphasic children; *Brain Lang* 37, 26-41 (1989)

Desjardins, R.N., Trainor, L.J., Hevenor, S.J., Polak, C.P.: Using mismatch negativity to measure auditory temporal resolution thresholds; *Neuroreport* 10, 2079-2082 (1999)

Döring, W.H.: Neuer Sprachverständlichkeitstest in der Klinik: Aachener Logatomtest „Dreisilbertest“ im Sörschall. Median Verlag, Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Heidelberg, 1992, S. 137-168

Eggermont, J.J., Ponton, C.W.: The Neurophysiology of Auditory Perception: From Single Units to Evoked Potentials; *Audiology and Neuro-Otology* 7, 71-99 (2002)

Fuchigami, T., Okubo, O., Fujita, Y., Okuni, M., Noguchi, Y., Yamada, T.: Auditory event-related potentials and reaction time in children: evaluation of cognitive development; *Dev Med Child Neurol* 35, 230-237 (1993)

Giard, M-H., Perrin, F., Pernier, J., Bouchet, P.: Brain generators implicated in the processing of auditory stimulus deviance: A topographic event-related potential study; *Psychophysiology* 6, 627-639 (1990)

Golgeli, A., Suer, C., Ozesmi, C., Dolu, N., Ascioğlu, M. and Sahin, O.: The effect of sex differences on event-related potentials in young adults; *Int J Neurosci* 99, 69-77 (1999).

Grimm, H., S.H., Heidelberg Sprachentwicklungstest, Braunschweig, 1978

Grimm, S., Widmann, A., Schroeger, E.: Differential processing of duration changes within short and long sounds in humans; *Neuroscience Letters* 356 (2), 83-86 (2004)

Gross, M., Nubel, K., Wohlleben, B.: Auditive Verarbeitung- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS): Komplexe Störbilder, In: Böhme, G. (Hrsg.): Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen, Band 2 (3. Aufl) Urban und Fischer, (2001) 263-287

Gumenyuk, V., Korzyukov, O., Alho, K., Winkler, I., Paavilainen, P., Näätänen, R.: Electric brain responses indicate preattentive processing of abstract acoustic regularities in children; *Neuroreport* 14 (11), 1411-1415 (2003)

Hammill, D.: Motor-Free Visual Perception Test – Revised (MVPT-R), 1996

Hegerl, U., Gaebel, W., Gutzman, H. and Ulrich, G.: Auditory evoked potentials as possible predictors of outcome in schizophrenic outpatients; *Int J Psychophysiol* 6, 207-214 (1988)

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

Holopainen, I.E., Korpilahti, P., Juottonen, K., Lang, H., Sillanpaa, M.: Attenuated auditory event-related potentials (mismatch negativity) in children with developmental dysphasia; *Neuropediatrics* 28(5), 253-256 (1997)

Hugdahl, K., Heiervang, E., Nordby, H., Smievoll, A., Steinmetz, H., Stevenson, J., Lund, A.: Central auditory processing, MRI morphometry, and brain laterality: applications to dyslexia; *Scandinavian Audiology* 27 (49), 26-34 (1998)

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

Jacobsen, T., Schroeger, E.: Measuring duration mismatch negativity; *Clinical Neurophysiology* 114 (6), 1133-1143 (2003)

Johnstone, S., Barry, R.J., Anderson, K.W., Coyle, S.F.: Age-related change in child and adolescent event-related potential component morphology, amplitude and latency to standard and target stimuli in an auditory oddball task; *Int J Psychophysiol* 24, 223-238 (1996)

Kasai, K., Nakagome, K., Iwanami, A., Fukuda, M., Itoh, K., Koshida, I., Kato, N.: No effect of gender on tonal and phonetic mismatch negativity in normal adults assessed by a high resolution EEG recording; *Brain Res Cogn Brain Res* 13 (3), 305-12 (2002)

Kegel, G: *Olaf – Kind ohne Sprache*. Westdeutscher Verlag, Opladen 1991

Keller, F.: Verschiedene Aufsprachen des Sprachverständlichkeitstest nach Din 45621 „Freiburger Test“, *Biomed Techn*, 22 (1977), 292-298

Korpilahti, P., Lang, H.A.: Auditory ERP components and mismatch negativity in dysphasic children; *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 91, 256-264 (1994)

Korpilahti, P., Lang, A.H., Aaltonen, O.: Is there a late-latency mismatch negativity (MMN) component? *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 95, 96-96 (1995).

Korpilahti, P., Krause, C., Holopainen, I., Lang, A.: Early and Late Mismatch Negativity Elicited by Words and Speech-Like Stimuli in children; *Brain and Language* 76, 332-339 (2001)

Kraus, N., McGee, T., Sharma, A., Carrell, T., Nicol, T.: Mismatch negativity event-related potential elicited by speech stimuli; *Ear Hear* 13, 158-164 (1992)

Kraus, N., McGee, T., Micco, A., Sharma, A., Carrell, T., Nicol, T.: Mismatch negativity in school-age children that are just perceptibly different; *Electroenceph clin Neurophysiol* 88, 123-130 (1993)

Kraus, N., McGee, T., Carrell, T., Sharma, A., Micco, A., Nicol, T. : Speech-evoked cortical potentials in children; *J Am Acad Audiol* 4, 238-248 (1993)

Kraus, N., McGee, T., Carrell, T., King, C., Littman, T., Nicol, T. : Discrimination of speech-like contrasts in the auditory thalamus and cortex; *J Acoust Soc Am* 96(5), 2758-2768 (1994)

Kraus, N., McGee, T., Carrell, T.D., King, C., Tremblay, K., Nicol, T.: Central auditory system plasticity associated with speech discrimination training; *J Cogn Neurosci* 16, 25-32 (1995)

Kraus, N., McGee, T.J., Carrell, T.D., Zecker, S.G. Nicol, T.G., Koch, D.B.: Auditory neurophysiologic responses and discrimination deficits in children with learning problems; *Science* 273, 971-973 (1996)

Kraus, N., Koch, D.B., McGee, T.J., Nicol, T.G., Cunningham, J.: Speech-sound discrimination in school-age children: psychophysical and neurophysiologic measures; *J Speech Lang Hear Res* 42(5), 1042-60 (1999)

Kulynych, J.J., Vldar, K., Jones, D.W. and Weinberger, D.R.: Gender differences in the normal lateralization of the supratemporal cortex: MRI surface-rendering morphometry of Heschl's gyrus and the planum temporale; *Cereb Cortex* 4, 107-118 (1994)

Kurtzberg, D., Vaughan, H.G.J., Kreuzer, J.A., Fliegler, K.Z.: Developmental studies and clinical application of mismatch negativity: problems and prospects; *Ear Hear* 16, 105-117 (1995)

Lange, K.B. (2002). Untersuchung der Phonemdiskrimination bei normalentwickelten Schulkindern mit ereigniskorrelierten Potenzialen; Inaugural Dissertation zur Erlangung der medizinischen Doktorwürde, aus der Klinik für Audiologie und Phoniatrie des Universitätsklinikum Benjamin Franklin der Freien Universität Berlin.

Lenz, S.: Entwicklung eines Programms zur Ableitung der Mismatch Negativity. Studienarbeit des Fachbereichs Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin. 1998

Leppänen, P.H., Eklund, K.M., Lyytinen, H.: Event-related potentials to change in newborns; *Dev Neuropsych* 13, 175-204 (1997)

Leppänen, P.H., Pihko, E., Eklund, K.M., Lyytinen, H.: Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: II. Group effects; *NeuroReport* 10, 969-973 (1999)

Lincoln, A.J., Courchesne, E., Harms, L., Allen, M.: Sensory modulation of auditory stimuli in children with autism and receptive developmental language disorder: event-related brain potential evidence; *J Autism Dev Disord* 25, 521-539 (1995)

Maier, R.: Die „Ordnungsschwelle“ in der klinischen Diagnostik. Ein Verfahren zur Bewertung der Sprachentwicklungsverzögerung? In: Gross, M. (Hrsg.): Aktuelle phoniatrisch-pädaudiologische Aspekte 1998/99, Band 6, Median-Verlag, Heidelberg 1999, 311-315

Martin, L., Barajas, J.J., Fernandez, R., Torres, E.: Auditory event-related potentials in well-characterized groups of children; *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 71, 375-381 (1988)

Martin, B.A., Shafer, V.L., Morr, M.L., Kreuzer, J.A., Kurtzberg, D.: Maturation of Mismatch Negativity: A Scalp Current Density Analysis; *Ear and Hearing* 24 (6), 463-471 (2003)

McPherson, W.B., Ackermann, P.T., Oglesby, D.M., Dykman, R.A.: Event-related brain potentials elicited by rhyming and non-rhyming pictures differentiate subgroups of reading disabled adolescents; *Integr Physiol Behav Sci* 31, 3-17 (1996)

Mc Pherson, D.L., Ballachanda, B.: Middle and Long Latency Auditory Evoked Potentials;

In: Roeser, Valente and Hosford-Dunn (Hrsg.): *Audiology: Diagnosis*. Thieme Medical Publishers, Inc., New York (2000)

Meister, H., Klüser, H., Dück, M., Walger, M., von Wedel, H.: Adaptive Verfahren zur Messung der Ordnungsschwelle; *Zeitschrift für Audiologie* 2, 110-120 (1998)

Meister, H., Klüser, H., Ernst, S., Foerst, A., Walger, M., von Wedel, H.: Auditive Ordnungsschwellen normalhörender Versuchspersonen; *Sprache Stimme Gehör* 24, 65-70 (2000)

Merzenich, M. M., Jenkins, W.M., Johnston, P., Schreiner, Ch., Miller, S., Tallal, P.: Temporal Processing Deficits of Language-Learning Impaired Children Ameliorated by Training; *Science* 271, 77-81 (1996)

Minning, S., Minning, U.: Förderung der auditiven Wahrnehmung mit Lateral-, Hochton- und Ordnungsschwellentraining; *Päd* 7, 12-18 (2001)

Mochizuki, Y., Go, T., Ohkubo, H. and Motomura, T.: Development of human brain-stem auditory evoked potentials and gender differences from infants to young adults; *Prog Neurobiol*, 20, 273-285 (1983)

Müller, Diagnostischer Rechtschreibtest für 2. Klasse (DRT 2), Weinheim und Basel, 1994

Müller, Diagnostischer Rechtschreibtest für 3. Klasse (DRT 3), Weinheim und Basel, 1997

Näätänen, R., Gaillard, A.W., Mantysalo, S.: Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted; *Acta Psychol*, 313-329 (1978)

Näätänen, R.: The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function; *Behav brain Sci* 13, 201-288 (1990)

Näätänen, R.: *Attention and brain function*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum (1992)

Näätänen, R., Schroger, E., Karakas, S., Tervaniemi, M., Paavilainen, P.: Development of a memory trace for a complex sound in the human brain; *NeuroReport* 4 (5), 503-506 (1993)

Näätänen, R. et al: Attention and mismatch negativity; *Psychophysiology* 30, 436-450 (1993)

Näätänen, R.: The Mismatch Negativity: A Powerful Tool for Cognitive Neuroscience; *Ear & Hearing* 16, 6-18 (1995)

Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Ilvonen, A., Vainio, M., Alku, P., Ilmoniemi, R.J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen, J., Alho, K.: Language - specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses; *Nature* 358 (30), 432-434 (1997)

Näätänen, R., Alho, K.: Mismatch negativity – the measure for central sound representation accuracy; *Audiol Neurootol* 2, 341-353 (1997)

Näätänen, R. et al.: Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses; *Nature* 385, 432-434 (1997)

Näätänen, R., Escera, C.: Mismatch Negativity: Clinical and other application; *Audiol Neurootol* 5, 105-110 (2000)

Neville, H.J., Coffey, S.A., Holcomb, P.J., Tallal, P.: The neurobiology of sensory and language processing in language-impaired children. *J Cogn Neurosci* 5, 235-253 (1993)

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

Nordby, H., Hammerborg, D., Roth, W.T., Hugdahl, K.: ERPs to infrequent omissions and inclusions of stimulus elements; *Psychophysiology* 28 (Suppl), 42 (1991)

Northern, J.I., Downs, M.P.: Hearing and hearing loss in children; Hearing in children, Williams & Wilkins Verlag, Baltimore, 1991, S. 1-31

Nubel, K. et al: Vorstellung eines Messaufbaus zur Ableitung der Mismatch Negativity. In: Gross, M. (Hrsg.), Aktuelle Phoniatische-Pädaudiologische Aspekte, Vol. 1997/1998, Median Verlag, Heidelberg, 1998

Paavilainen, P., Karlsson, M.L., Reinikainen, K., Näätänen, R.: Mismatch negativity to change in spatial location of an auditory stimulus; *Electroenceph clin Neurophysiol* 78, 464-479 (1989)

Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K., Sams, M., Näätänen, R.: Right hemisphere dominance of different mismatch negativities; *Electroenceph clin Neurophysiol* 78, 466-479 (1991)

Paavilainen, P., Jiang, D., Lavikainen, J., Näätänen, R.: Stimulus duration and the sensory memory trace: an event-related potential study; *Biol Psychol* 35; 139-152 (1993)

Paavilainen, P., Degerman, A., Takegata, R., Winkler, I.: Spectral and temporal stimulus characteristics in the processing of abstract auditory features; *Neuroreport* 14 (5), 715-718 (2003)

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

Ponton, C.W., Eggermont, J.J., Kwong, B., Don, M.: Maturation of human central auditory system activity: evidence from multi-channel evoked potentials; *Clin Neurophysiol* 111, 220-236 (2000)

Ptok, M., Berger, R., von Deuster, C., Gross, M. Lamprecht-Dinnesen A, Nickisch A, Radu HJ, Uttenweiler V. : Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen – Konsensus-Statement; HNO 48, 357-360 (2000)

Rinne, T., Alho, K., Alku, P.: Analysis of speech sounds is left-hemisphere predominant at 100-150 ms after sound onset; Neuroreport 10, 1113-1117 (1999)

Schulte-Körne, G., Deimel, W., Bartling, J., Remschmidt, H.: Die Bedeutung der auditiven Wahrnehmung und der phonologischen Bewußtheit für die Lese-Rechtschreibschwäche; Sprache Stimme Gehör 22, 25-30 (1998)

Schulte-Körne, G., Ptok, M.: Lese-Rechtschreibstörung; Sprache Stimme Gehör 22, 1-2 (1998)

Shafer, V.L., Morr, M.L., Kreuzer, J.A., Kurtzberg, D.: Maturation of mismatch negativity in school-age children; Ear Hear 21(3), 242-251 (2000)

Sharma, A., Kraus, N., McGee, T.J., Nicol, T.G.: Developmental changes in P1 and N1 central auditory responses elicited by consonant-vowel syllables; Electroencephalogr Clin Neurophysiol 104, 540-545 (1997)

Shtyrov, Y., Kujala, T., Palva, S., Ilmoniemi, R.J., Näätänen, R.: Discrimination of speech and of complex non-speech sounds of different temporal structure in the left and right cerebral hemispheres; Neuroimage 12, 657-663 (2000)

Sussman, E., Winkler, I., Ritter, W., Alho, K., Näätänen, R.: Temporal integration of auditory stimulus deviance as reflected by the mismatch negativity; Neuroscience Letters 264 (1-3), 161-164 (1999)

Sussman, E., Kujala, T., Halmetoja, J., Lyytinen, H., Alku, P., Näätänen, R.: Automatic and controlled processing of acoustic and phonetic contrasts; Hearing Research 190 (1-2), 128-140 (2004)

Tallal, P., Piercy, M.: Developmental aphasia: impaired rate of non-verbal processing as a function of sensory modality; *Neuropsychologia* 11, 389-398 (1973)

Tallal, P.: Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children; *Brain&Language* 9, 182-198 (1980)

Tallal, P., Miller, S.L., Bedi, G., Byrna, G., Wang, X., Nagarajan, S.S., Schreiner, C., Jenkins, W.M., Merzenich, M.M.: Language Comprehension in Language-Learning Impaired Children Improved with Acoustically Modified Speech; *Science* 271, 81-84 (1996)

Tervaniemi, M., Schroger, E., Näätänen, R.: Pre-attentive processing of spectrally complex sounds with asynchronous onsets: an event-related potential study with human subjects; *Neuroscience Letters* 227, 197-200 (1997)

Tervaniemi, M., Radil, T., Radilova, J., Kujala, T., Näätänen, R.: Pre-attentive Discriminability of Sound Order as a Function of Tone Duration and Interstimulus Interval: A Mismatch Negativity Study; *Audiol Neurootol* 4, 303-310 (1999)

Tervaniemi, M., Lehtokoski, A., Sinkkonen, J., Virtanen, J., Ilmoniemi, R.J. and Näätänen, R.: Test-retest reliability of mismatch negativity for duration, frequency and intensity changes; *Clin Neurophysiol* 110, 1388-1393 (1999)

Tervaniemi, M., Ilvonen, T., Sinkkonen, J. et al.: Harmonic partials facilitate pitch discrimination in humans: electrophysiological and behavioral evidence; *Neurosci. Lett.* 279, 29-32 (2000)

Tonnquist-Uhlen, I., Borg, E., Spens, K.E.: Topography of auditory evoked long-latency potentials in normal children, with particular reference to the N1 component; *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 95, 34-41 (1995)

Tonnquist-Uhlen, I.: Topography of auditory evoked long-latency potentials in children with severe language impairment: the P2 and N2 components; *Ear Hear* 17, 314-326 (1996a)

Tonnquist-Uhlen, I.: Topography of auditory evoked cortical potentials in children with severe language impairment; *Scand Audiol Suppl* 44, 1-40 (1996b)

Trainor, L.J., Samuel, S., Desjardins, R., Sonnadara, R.: Measuring temporal resolution in infants using mismatch negativity; *Neuroreport* 12 (11), 2443-2448 (2001)

Trune, D.R., Mitchell, C. and Phillips, D.S.: The relative importance of head size, gender and age on the auditory brainstem response; *Hear Res* 32, 165-174 (1988)

Uwer, R.: Elektrophysiologische Korrelate der auditiven Wahrnehmung bei sprachentwicklungsgestörten Kindern; München: Dissertationsverlag NG, 2000

Uwer, R., Albrecht, R., von Suchodoletz, W.: Automatic processing of tones and speech stimuli in children with specific language impairment; *Developmental Medicine and Child Neurology* 44, 527-532 (2002)

Vaughan, H.G. and Kurtzberg, D., Electrophysiological indices of human brain maturation and cognitive development; MR.N.C. Gunnar (Ed.), *Minnesota symposia on child psychology*, Vol.24, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1-36 (1992).

Veit, S.: Sprachentwicklung, Sprachauffälligkeit und Zeitverarbeitung. Eine und Longitudinalstudie; In: Kegel, G., Arnhold, T., Dahlmeier, G. u.a. (Hrsg.): *Sprechwissenschaft und Psycholinguistik* 6, Westdeutscher Verlag 1994, 125-187

Warnke, F.: Ordnungsschwelle und Sprachtherapie; *Sprachheilarbeit* 5, 255-258 (1993)

Warnke, F.: Screeningverfahren zur Überprüfung der zentralen Hörverarbeitung; Forum Logopädie Heft 3, 10-12 (1996)

Warnke, A., Wewetzer, C., Grimm, T.: Lese-Rechtschreibstörungen: Begriffs-neurobiologische Befunde-Prognose; Sprache Stimme Gehör 22, 3-7 (1998)

Winkler, I., Czigler, I., Jaramillo, M., Paavilainen, P., Näätänen, R.: Temporal constraints of auditory event synthesis: evidence from ERPs; Neuroreport 9, 495-499 (1998)

## 7.2. Anamnesefragebogen

Liebe Eltern,

nach Absprache mit Ihnen, wurde der Termin in der Klinik für Audiologie und Phoniatrie, Fa-  
beckstr. 62, 14195 Berlin am \_\_\_\_\_ um \_\_\_\_\_ für das Kind mit der ID-Zahl  
\_\_\_\_\_ vergeben!

Bitte füllen Sie den nachfolgenden Fragen aus! Alle Angaben erfolgen freiwillig.

### Fragen zur allgemeinen Krankengeschichte

Sind in der Familie folgende Erkrankungen bekannt? (Zutreffendes bitte ankreuzen!)

Hörleiden?  ja, welche \_\_\_\_\_  
Sprachleiden?  ja, welche \_\_\_\_\_  
keine

Gab es Auffälligkeiten während der Schwangerschaft?  nein  
 ja, welche \_\_\_\_\_

War die Geburt  normal?  
Schwierigkeiten \_\_\_\_\_

Wie war die Entwicklung des Kindes?

normal  
freies Sitzen: \_\_\_\_\_ Monaten      freies Laufen: \_\_\_\_\_ Monaten  
Ganz sauber mit \_\_\_\_\_ Jahren  
 rechtshändig       linkshändig       beides

Wie war die Sprachentwicklung des Kindes?

normal       verzögert

Gab es schwerwiegende allgemeine oder vererbte Erkrankungen, Operationen des Kindes?

keine  
 ja, welche \_\_\_\_\_

Gab es Erkrankungen im Hals-, Nasen- und Ohrenbereich?

keine  
 ja, welche \_\_\_\_\_

Mittelohrentzündungen?  keine     selten     häufig

Operationen (HNO)?  keine

ja, welche \_\_\_\_\_

Logopädische Behandlungen?  nein       ja, weshalb? \_\_\_\_\_

Anmerkungen: \_\_\_\_\_

### 7.3. Technische Daten zum Verstärker

Bei den Angaben handelt es sich um Originalangaben des Herstellers

#### DEVVadv2.01

#### Technische Daten

##### Stromversorgung:

Betriebsspannung Typ.: 12V

Betriebsstrom Typ.: 0,4A

Anschluß: Max: 1,0A

Galvanische Trennung zum Patienten 4200V  $\approx$  Prüfspannung 1 min

##### Messübertragung

Auflösung 12 Bit/ Kanal

Geschwindigkeit 10 Mbit/ s

Elektrisch RS 422

##### Verstärkung

Gesamt Typ.: 106 dB

Eingang Typ.: 46 dB & 66 dB schaltbar

Nachverstärkung Typ.: 0-95 dB in 1 dB Schritten

Gleichtaktunterdrückung Min: 120 dB bei 50 Hz (Eingang 66 db)

Frequenzgang 0,031-7700 Hz (ohne Filter)

Filter : BERA: 100 Hz – 3000 Hz Bandpaß

CAN 0,031 Hz – 12 Hz Bandpaß

##### Gehäuse

Länge Ca. 250 mm

Breite Ca. 162 mm

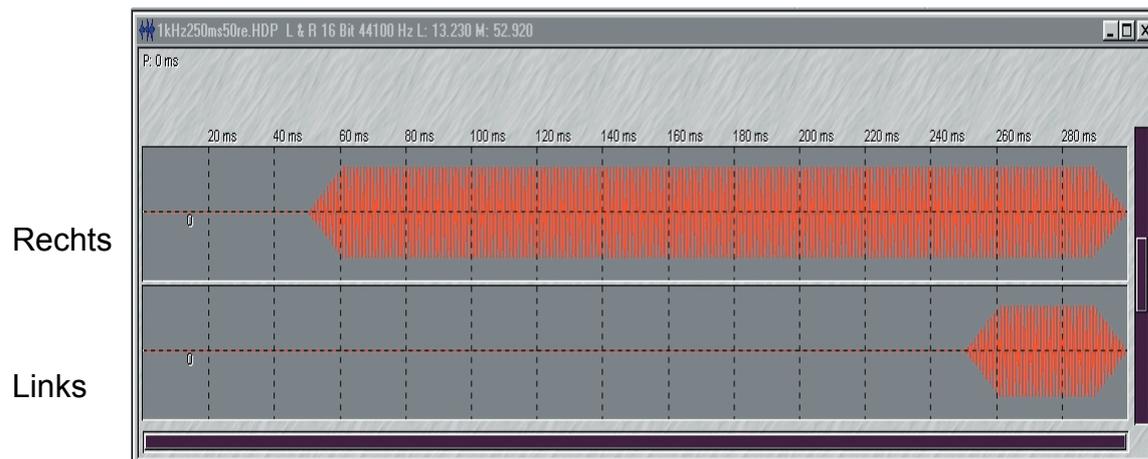
Höhe Ca. 70 mm

## 7.4. Grafiken und Tabellen

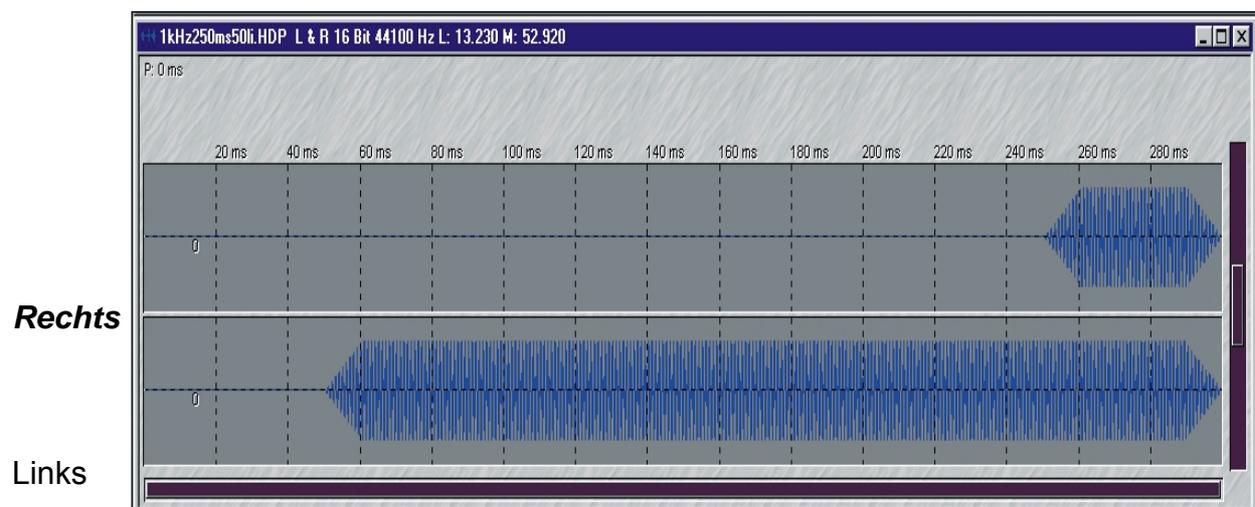
Abb. 3.7.2.1.:

**Reiz 1:** Reizdauer: 250 ms  
Binaurale Zeitdifferenz: 200 ms (= OS 200 ms)

**Standardreiz:** 250 ms rechts  
50 ms links



**Deviantreiz:** 250 ms links  
50 ms rechts

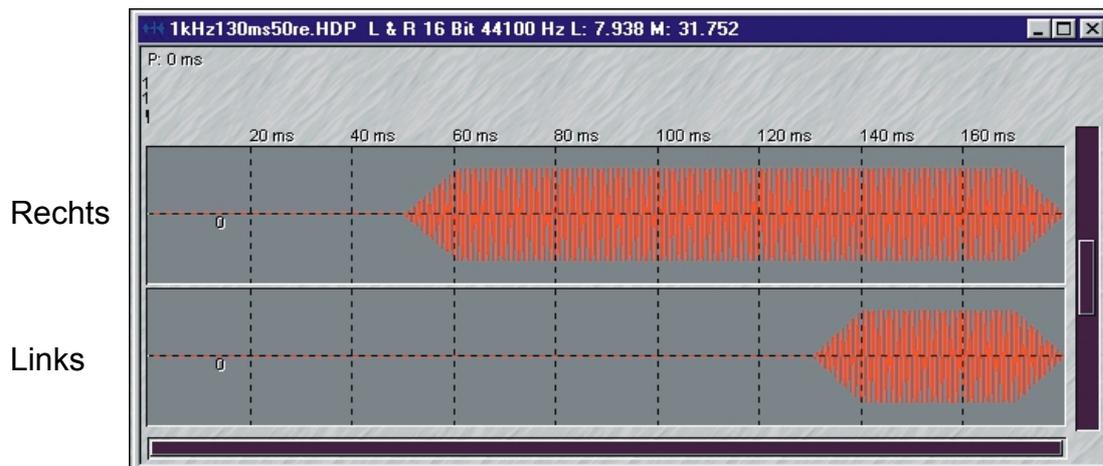


**Reiz 2:** Reizdauer: 130 ms

Binaurale Zeitdifferenz: 80 ms (= OS 80 ms)

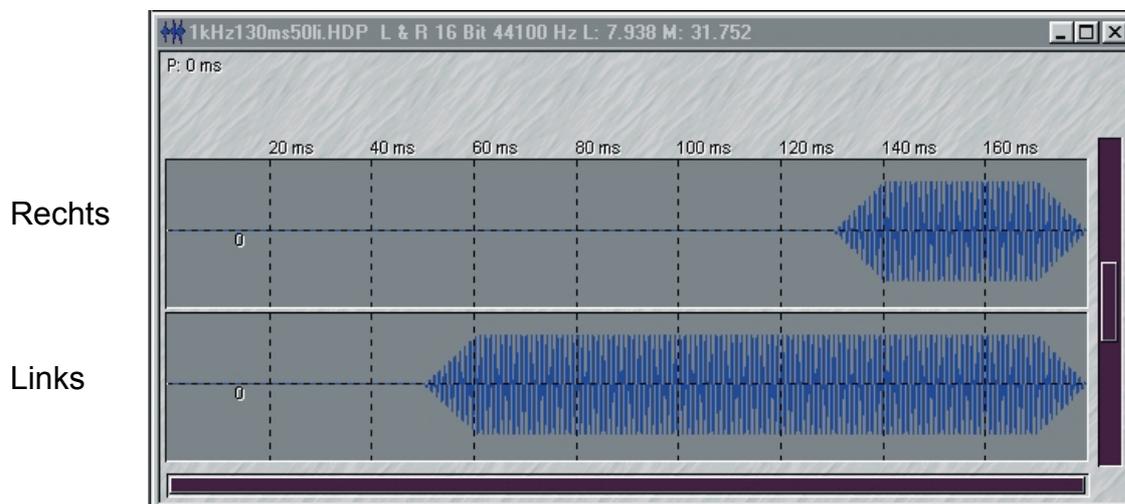
**Standardreiz:** 130 ms rechts

50 ms links



**Deviantreiz:** 130 ms links

50 ms rechts



	<b>Standardreiz</b>	<b>Deviantreiz</b>
<b>Reiz 1 (OS 200 ms)</b>	Rechts 250 ms Links 50 ms	Links 250 ms Rechts 50 ms
<b>Reiz 2 (OS 80 ms)</b>	Rechts 130 ms Links 50 ms	Links 130 ms Rechts 50 ms

Tab. 3.7.2.1.: Gewählte Reizparameter für die EKP/MMN-Messung

<b>Mittlere Latenz in ms bei C3 ± (STD) (Median/Spannweite in ms)</b>		<b>Mittlere Amplitude in µV bei C3 ± (STD) (Median)</b>	
<b>OS 200 ms</b>	<b>OS 80 ms</b>	<b>OS 200 ms</b>	<b>OS 80 ms</b>
<b>P1</b> 48,19 ± (9,4) (49,25/25-60)	<b>P1</b> 49,51 ± (9,65) (50/27-64)	<b>P1</b> 0,2 ± (0,51) (0,1)	<b>P1</b> 0,03 ± (1,20)
<b>N1</b> 96 ± (9,06) (93/82-113)	<b>N1</b> 94,88 ± (7,4) (95/80-119)	<b>N1</b> -1,55 ± (0,69) (-1,3)	<b>N1</b> -1,7 ± (0,71)
<b>P2</b> 160,06 ± (13,92) (160/134-189)	<b>P2</b> 151,75 ± (7,44) (152/138-162)	<b>P2</b> 0,85 ± (0,75) (1,03)	<b>P2</b> 1,3 ± (0,77)
<b>N1*</b> 299,13 ± (14,54) (299/263 – 324)	<b>N1*</b> 208,31 ± (10,82) (209/187–224)	<b>N1*</b> -1,7 ± (1,8) (-1,61)	<b>N1*</b> -1,29±(0,93)
<b>P2*</b> 386,38 ± (10,71) (388/368-411)	<b>P2*</b> 277,13 ± (14,56) (280/253-294)	<b>P2*</b> 2,69 ± (0,95) (2,83)	<b>P2*</b> 1,5 ± (1,43)

Tab. 4.1.1.1.: Mittlere Latenzen und Amplituden sowie der Median und die Streubreite der Komponenten P1, N1, P2, N1\* und P2\* der kortikalen Potentialantworten auf den Ordnungsschwellenreiz 200 ms bzw. 80 ms bei Erwachsenen (N=16).

Latenz	Signifikanz (2-seitig)	Amplitude	Signifikanz (2-seitig)
P1	0,168	P1	0,917
N1	0,557	N1	0,650
P2	0,123	P2	0,116
N1*	<b>0,001*</b>	N1*	0,249
P2*	<b>0,001*</b>	P2*	0,028

\* signifikant

Tab. 4.1.1.2.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden bei C3 zwischen den Reizen 1 und 2 bei den Erwachsenen mit dem Wilcoxon-Test.

OS 200 ms – OS 80 ms Korrelation	Korrelationskoeffizient (n. Pearson)	Signifikanz	OS 200 ms – OS 80 ms Korrelation	Korrelationskoeffizient (n. Pearson)	Signifikanz
P1 Latenz	0,82	<0,01	P1 Amplitude	0,56	<0,05
N1 Latenz	0,85	<0,01	N1 Amplitude	0,81	<b>&lt;0,001*</b>
P2 Latenz	0,65	<0,05	P2 Amplitude	0,31	>0,05
N1* Latenz	0,27	>0,05	N1* Amplitude	-0,24	>0,05
P2* Latenz	0,53	>0,05	P2* Amplitude	0,27	>0,05

\* signifikant

Tab. 4.1.1.3.: Korrelation nach Pearson von Latenzen und Amplituden bei C3 auf OS 200 ms und OS 80 ms bei den Erwachsenen (N=16).

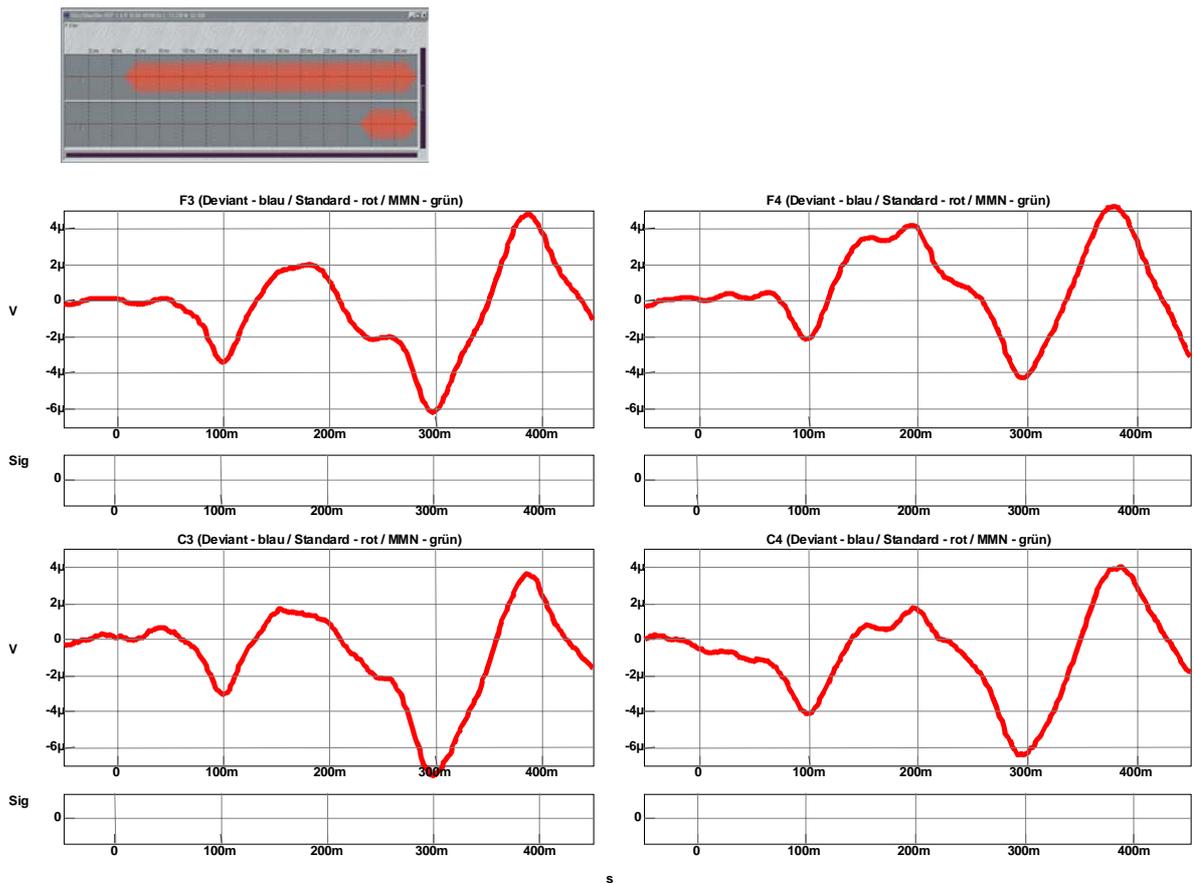
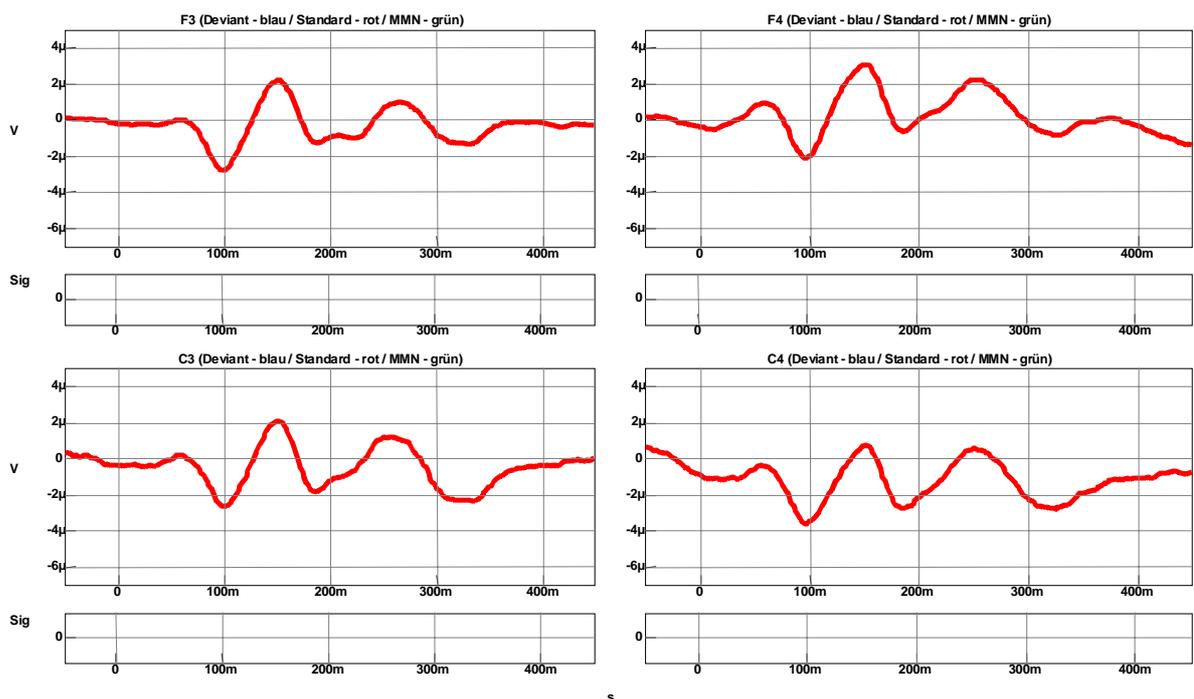


Abb. 4.1.1.1.: Beispiel kortikaler Potentialantworten bei einer erwachsenen Kontrollperson (weiblich, 26 Jahre) auf Standardreiz OS 200 ms (oben) und OS 80 ms (unten). Es stellt sich der typische kortikale Potentialverlauf beim Erwachsenen mit einer kleinen P1 um 50 ms, dem deutlichen N1/P2-Komplex und dem ausgeprägten N1\*/P2\*-Komplex dar.



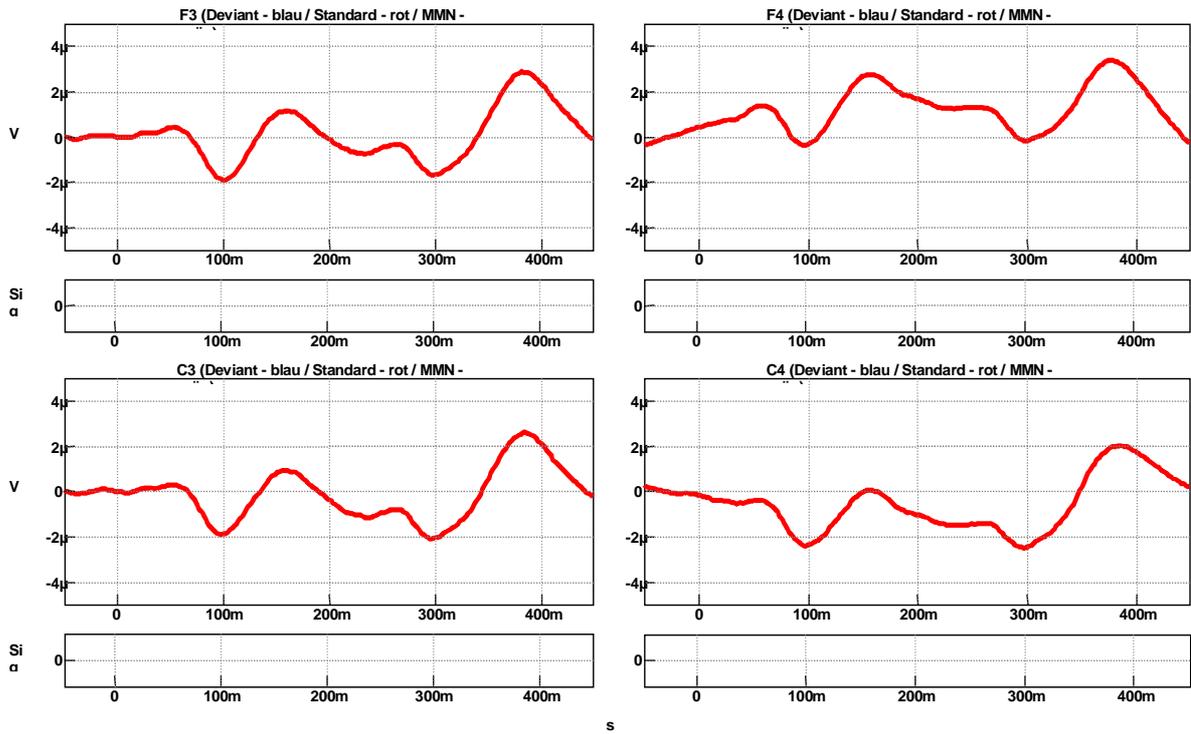
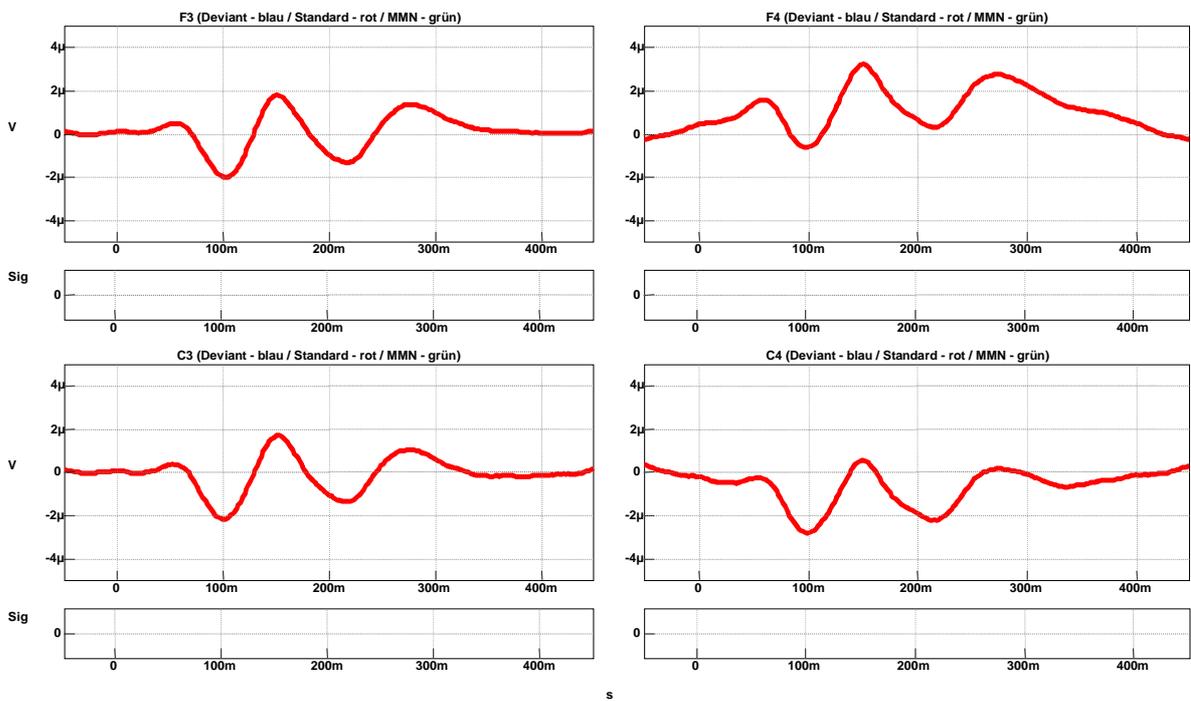


Abb. 4.1.1.2.: Gemittelte kortikale Potentialantwort (Grand Average) bei den erwachsenen Kontrollpersonen (N=16) auf Standardreiz OS 200 ms (oben/3497 Standardreize) und OS 80 ms (unten/3555 Standardreize).



Latenz in ms bei C3 ± (STD) (Median/Spannweite in ms)		Amplitude in µV bei C3 ± (STD) (Median)	
OS 200 ms	OS 80 ms	OS 200 ms	OS 80 ms
<b>P1</b> 83,44 ± (18,06) (86/11-130)	<b>P1</b> 86,93 ± (13,15) (86/60-140)	<b>P1</b> 1,57 ± (1,16) (1,65)	<b>P1</b> 1,13 ± (1,13) (1,03)
<b>N1</b> 124,02 ± (28,79) (121/54 – 187)	<b>N1</b> 129,67 ± 22,59 (126/78–187)	<b>N1</b> -0,22 ± (1,61) (-0,04)	<b>N1</b> -0,88 ± (1,61) (-0,77)
<b>P2</b> 146,05 ± (31,48) (142/78 – 214)	<b>P2</b> 159,42 ± (28,66) (159/91–234)	<b>P2</b> -0,50 ± (2,10) (-0,87)	<b>P2</b> -1,02 ± (1,59) (-1,0)
<b>N2</b> 203,48 ± (24,63) (207/144 – 238)	<b>N2</b> 215,55 ± (31,40) (225/129–269)	<b>N2</b> -3,96 ± (1,57) (-3,78)	<b>N2</b> -3,68 ± (1,37) (-3,76)
<b>P3</b> 331,15 ± (15,23) (332/291 – 367)	<b>P3</b> 360,17 ± (23,70) (361/289–396)	<b>P3</b> 3,66 ± (1,59) (3,42)	<b>P3</b> 2,29 ± (1,35) (2,02)

Tab. 4.1.2.1.: Mittlere Latenzen und Amplituden sowie Median und Spannweite der Komponenten P1, N1, P2, N2 und P3 der kortikalen Potentialantwort auf OS 200 ms und OS 80 ms bei den normal entwickelten Kindern.

Latenz	Signifikanz (2-seitig)	Amplitude	Signifikanz (2-seitig)
<b>P1</b>	0,244	<b>P1</b>	<b>0,004*</b>
<b>N1</b>	0,171	<b>N1</b>	0,038
<b>P2</b>	<b>0,004*</b>	<b>P2</b>	0,156
<b>N2</b>	<b>0,001*</b>	<b>N2</b>	0,137
<b>P3</b>	<b>&lt;0,005*</b>	<b>P3</b>	<b>&lt;0,005*</b>

\* signifikant

Tab. 4.1.2.2.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden bei C3 zwischen den Reizen 1 und 2 mit dem Wilcoxon-Test.

OS 200 ms – OS 80 ms Korrelation	Korrelationskoeffizient (n. Pearson)	Signifikanz	OS 200 ms – OS 80 ms Korrelation	Korrelationskoeffizient (n. Pearson)	Signifikanz
<b>P1 Latenz</b>	0,35	<0,01	<b>P1 Amplitude</b>	0,42	<0,01
<b>N1 Latenz</b>	0,13	>0,05	<b>N1 Amplitude</b>	0,23	>0,05
<b>P2 Latenz</b>	0,17	>0,05	<b>P2 Amplitude</b>	0,41	<0,01
<b>N2 Latenz</b>	0,36	<0,01	<b>N2 Amplitude</b>	0,52	<0,01
<b>P3 Latenz</b>	0,01	>0,05	<b>P3 Amplitude</b>	0,47	<0,01

\* signifikant

Tab. 4.1.2.3.: Korrelation nach Pearson von Latenzen und Amplituden bei C3 auf OS 200 ms und OS 80 ms bei den normal entwickelten Kindern.

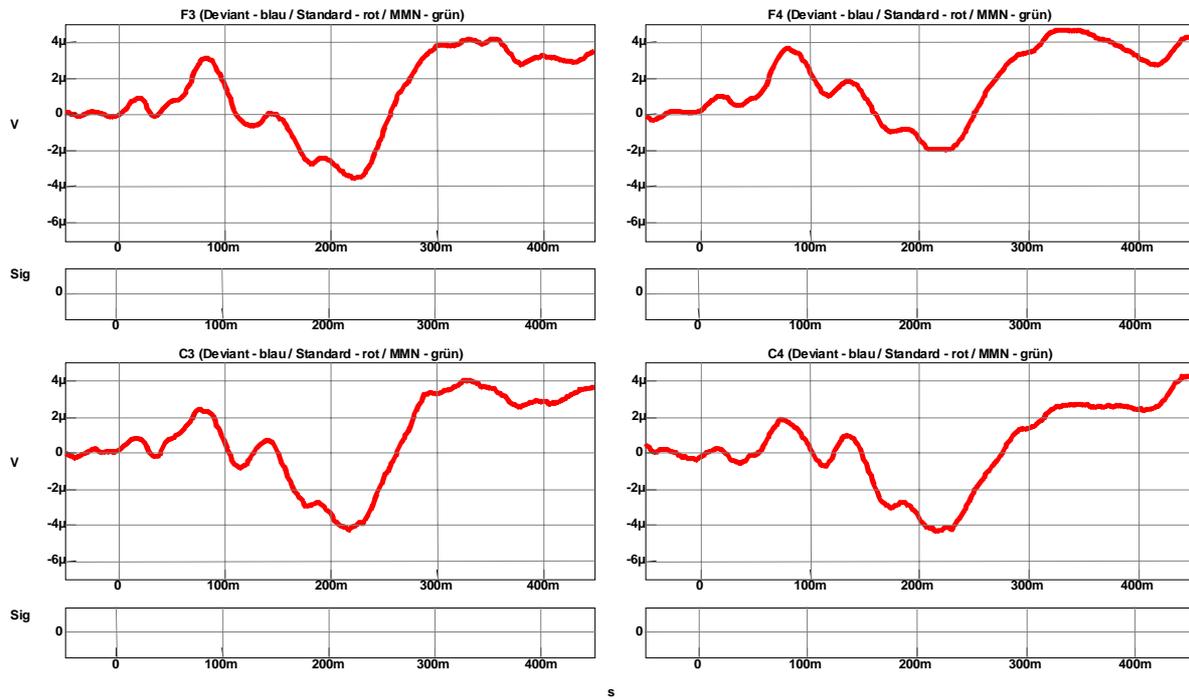
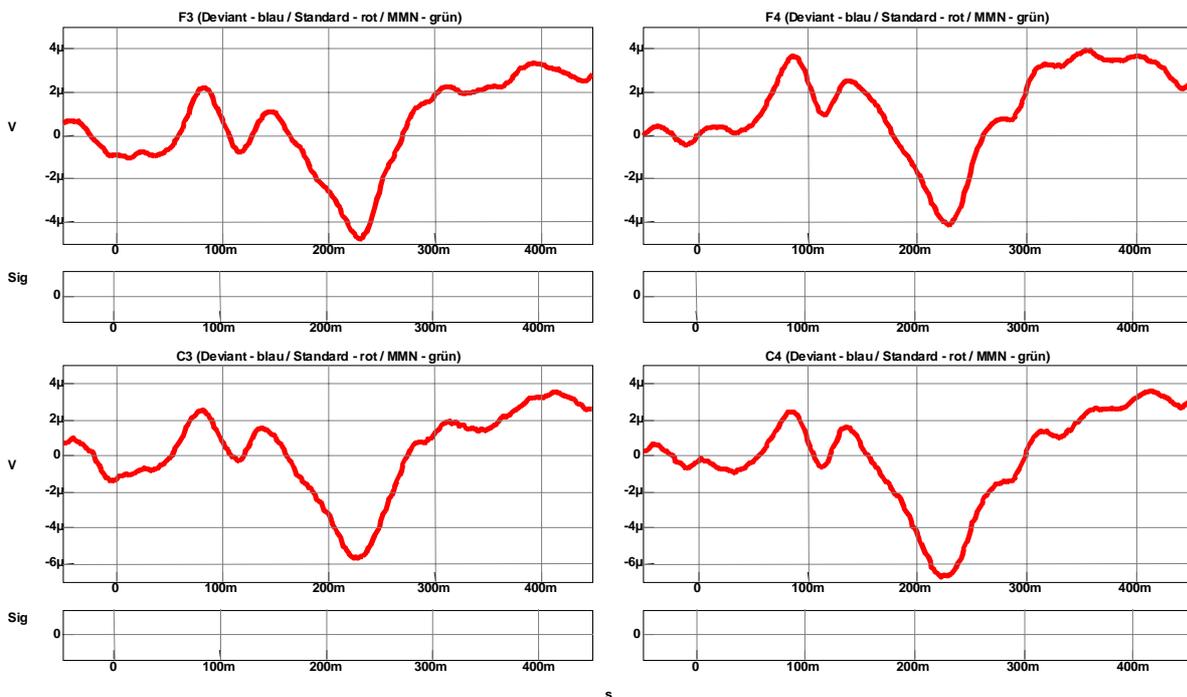


Abb. 4.1.2.1.: Beispiel kortikaler Potentialantworten auf OS 200 ms (oben) und OS 80 ms (unten) bei einem normal entwickelten Schulkind (weiblich, 9,9 Jahre). Die Potentialantworten sind noch vom P1/N2-Komplex dominiert. Auffällig ist die deutliche Positivierung im Bereich zwischen 300 und 400 ms.



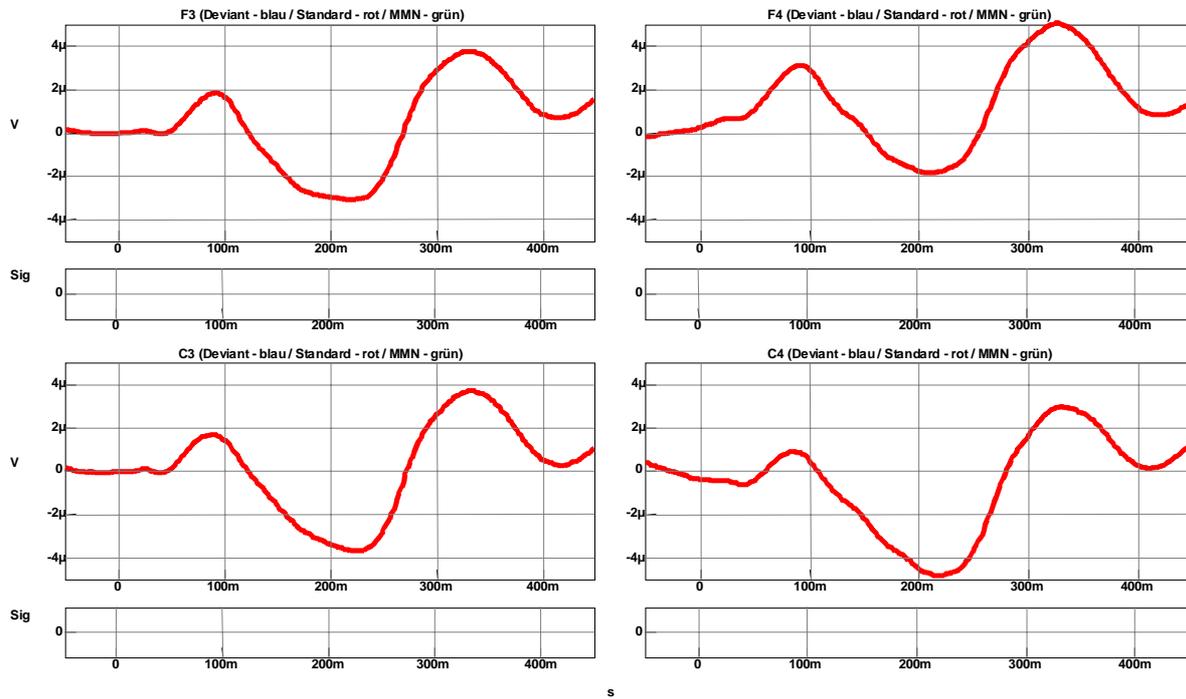
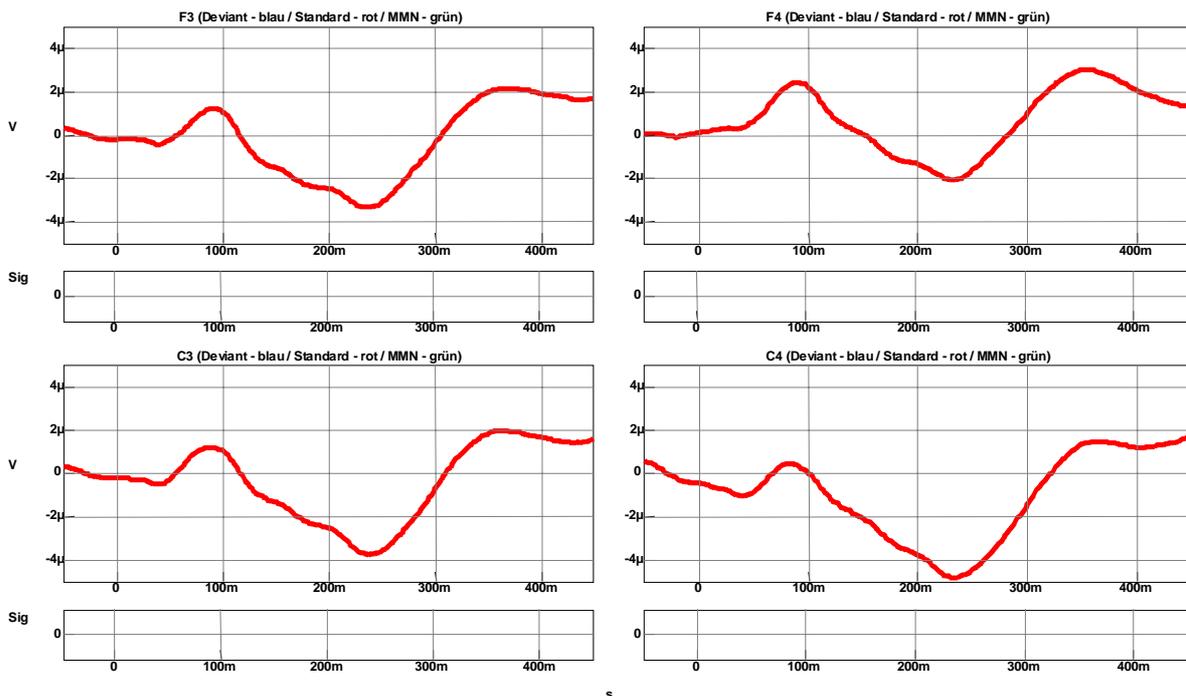


Abb. 4.1.2.2.: Gemittelte kortikale Potentialantworten auf die Standardreiz OS 200 ms (oben) und OS 80 ms (unten) bei den normal entwickelten Schulkindern (Grand Average von  $N=62$ ). Auffällig ist der P1/N2-Komplex und die Positivierung bei 331 bzw. 360 ms. Die Potentialantworten auf die beiden unterschiedlichen Reize unterscheiden sich in ihrer Morphologie kaum.



		7-8 Jahre	9-10 Jahre	7-8 Jahre	9-10 Jahre
		OS 200 ms	OS 200 ms	OS 80 ms	OS 80 ms
Latenz in ms ± (STD)	P1	84,65 ± (17,79)	82,11 ± 18,57	91,45 ± (15,92)	82,10 ± (6,76)
	N1	126,28 ± (29,95)	121,52 ± (27,75)	135,26 ± (25,27)	123,69 ± (17,88)
	P2	147,63 ± (32,56)	144,31 ± (30,71)	164,48 ± (31,59)	154,00 ± (24,54)
	N2	199,88 ± (24,93)	207,45 ± (24,09)	213,97 ± (34,64)	217,24 ± (28,04)
	P3	330,13 ± (16,83)	332,28 ± (13,45)	364,57 ± (25,88)	355 ± (20,81)
Amplitude in ms ± (STD)	P1	1,58 ± (1,33)	1,57 ± (0,95)	0,91 ± (0,98)	1,36 ± (1,24)
	N1	-0,21 ± (1,76)	-0,23 ± (1,46)	-1,34 ± (1,52)	-0,39 ± (1,58)
	P2	-0,58 ± (1,88)	-0,42 ± (2,36)	-1,49 ± (1,54)	-0,53 ± (1,52)
	N2	-3,78 ± (1,54)	-4,15 ± (1,6)	-3,58 ± (1,5)	-3,8 ± (1,24)
	P3	3,32 ± (1,69)	4,04 ± (1,39)	1,98 ± (1,21)	2,6 ± (1,44)

Tab. 4.1.3.1.: Mittelwerte von Latenzen und Amplituden der kortikalen Potentialkomponenten auf die Reize OS 200 ms und OS 80 ms bei den Studienkindern 7 - 8 Jahre (N=32) und 9 - 10 Jahre (N=30).

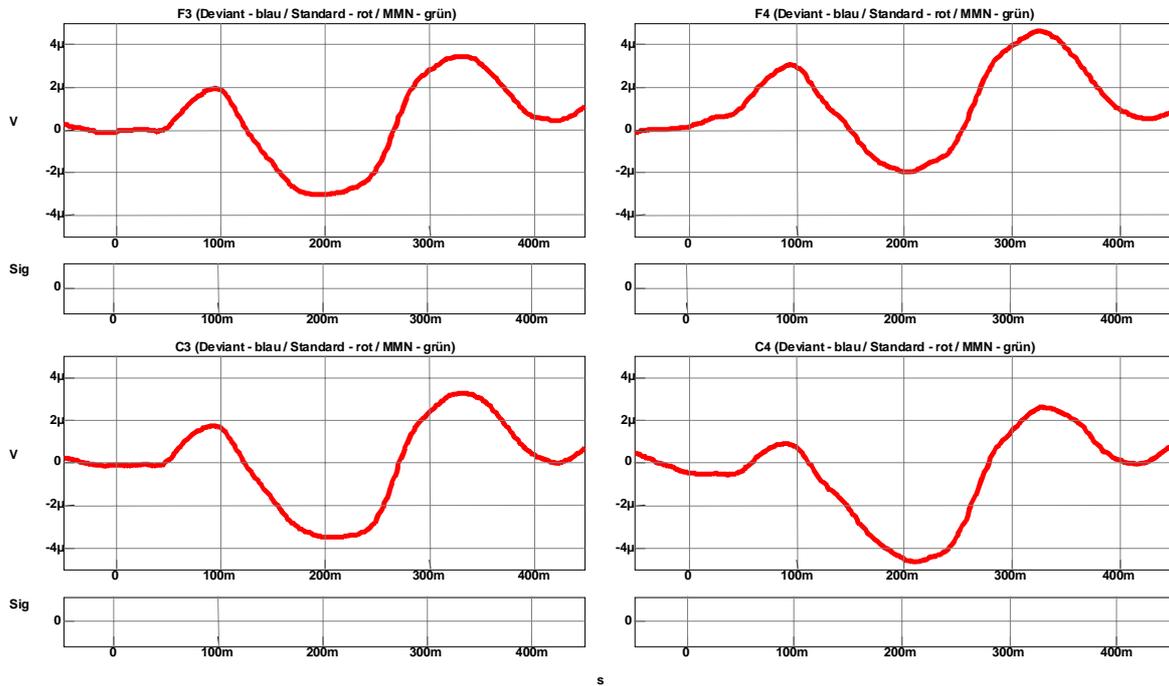
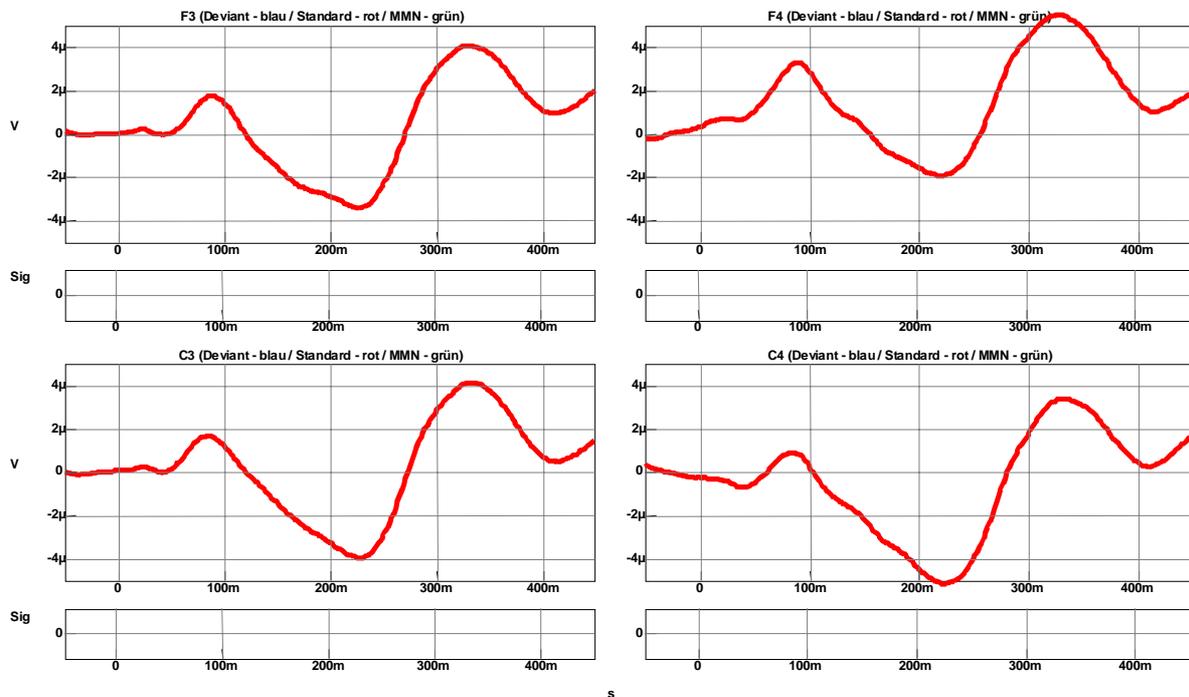


Abb. 4.1.3.1.: Altersentwicklung der kortikalen Reizantworten (Grand Average) bei jüngeren (7 - 8 Jahre; N=32; 7512 Standardreize; oben) und älteren (9 - 10 Jahre; N=30; 7006 Standardreize; unten) normal entwickelten Kindern auf Reiz 1 (OS 200 ms).



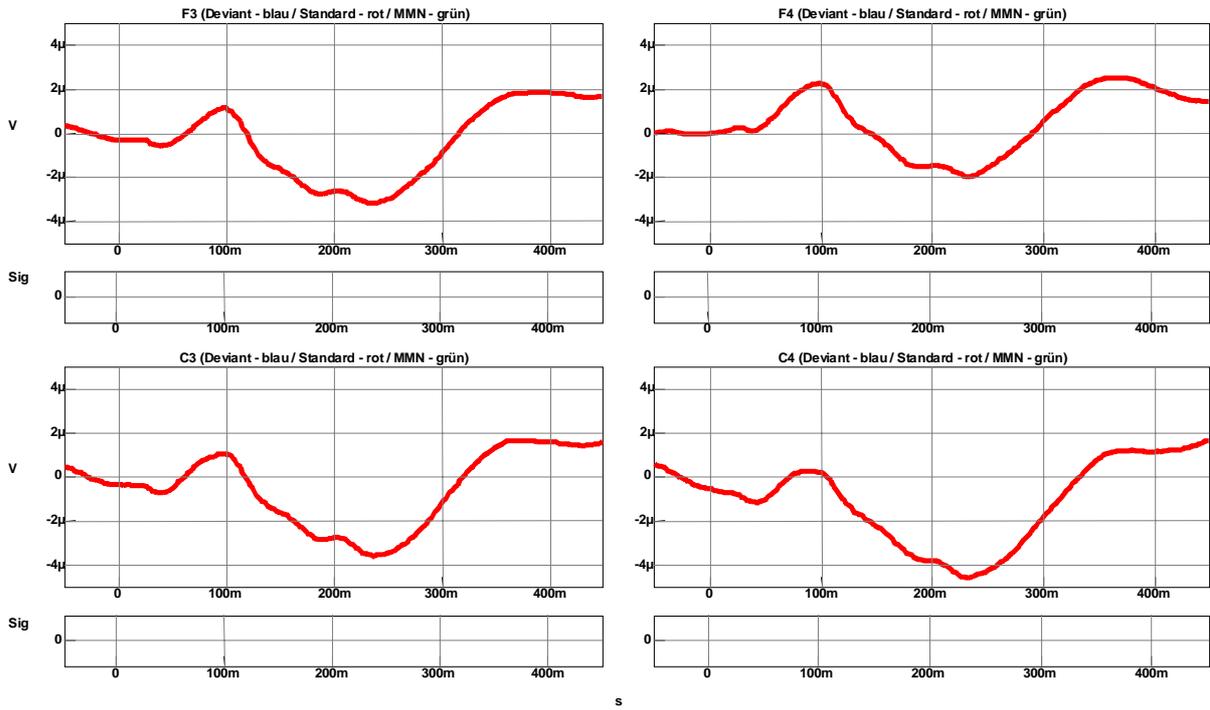
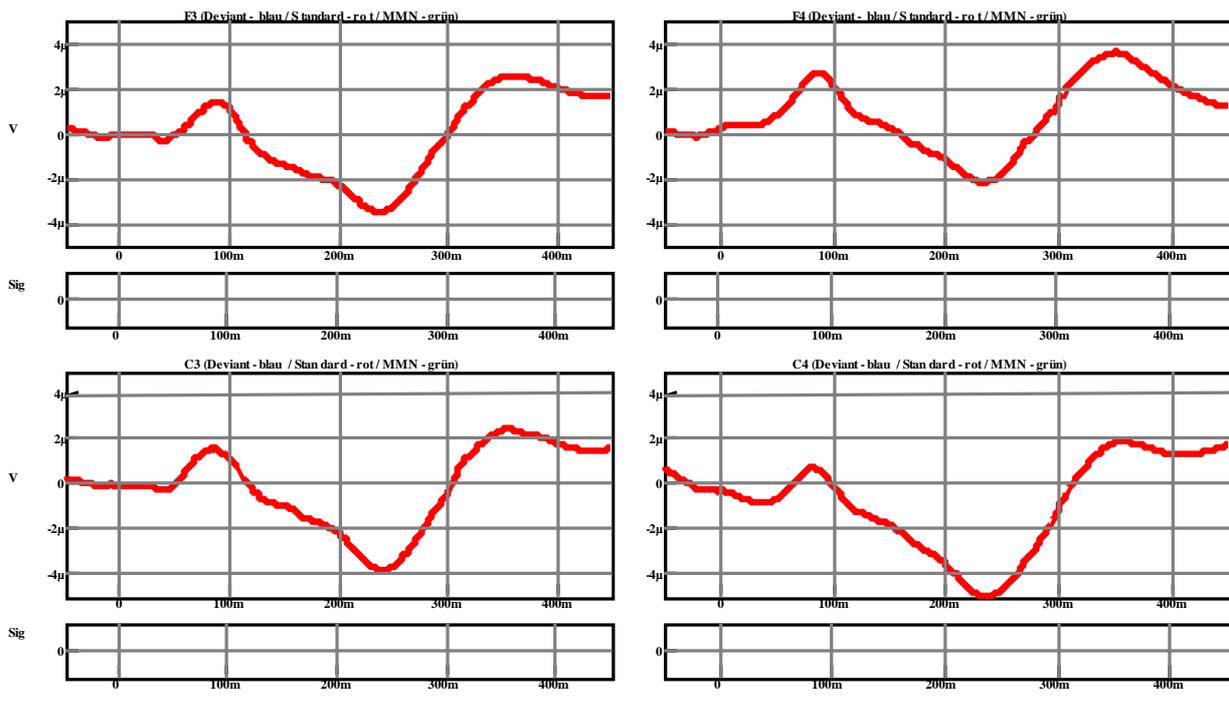


Abb. 4.1.3.2. : Altersentwicklung der kortikalen Reizantworten (Grand Average) bei jüngeren (7 - 8 Jahre; N=32; 7570 Standardreize; oben) und älteren (9 – 10 Jahre; N=30; 7006 Standardreize; unten) normal entwickelten Kindern auf Reiz 2 (OS 80 ms).



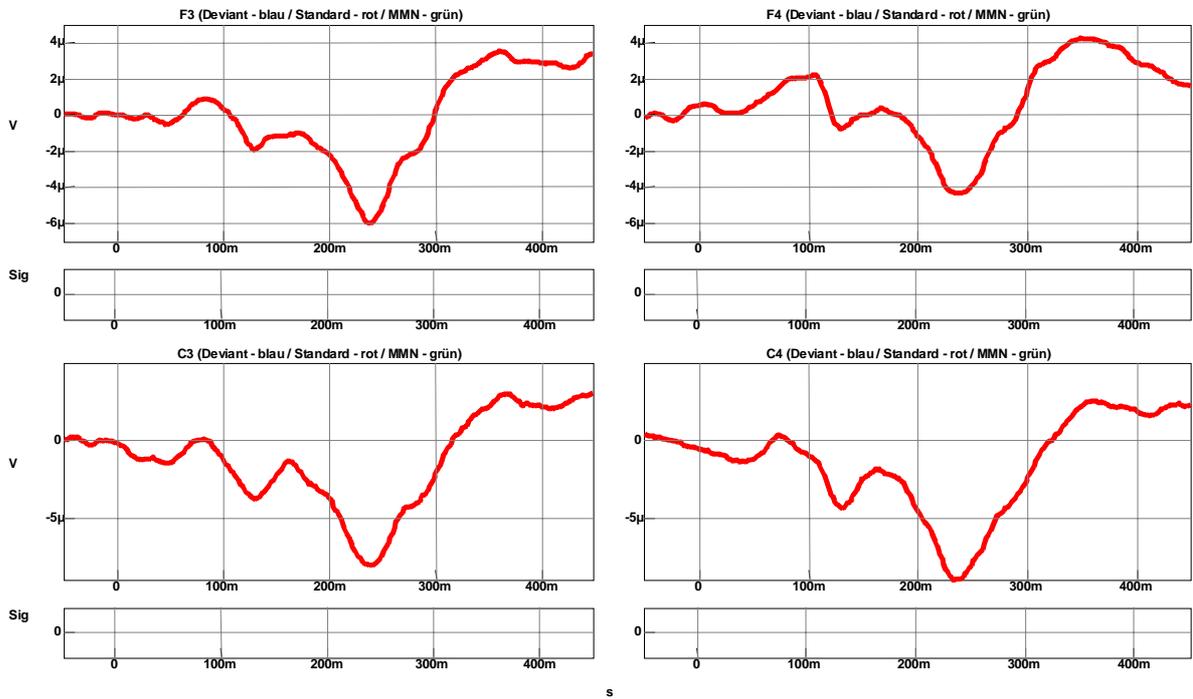
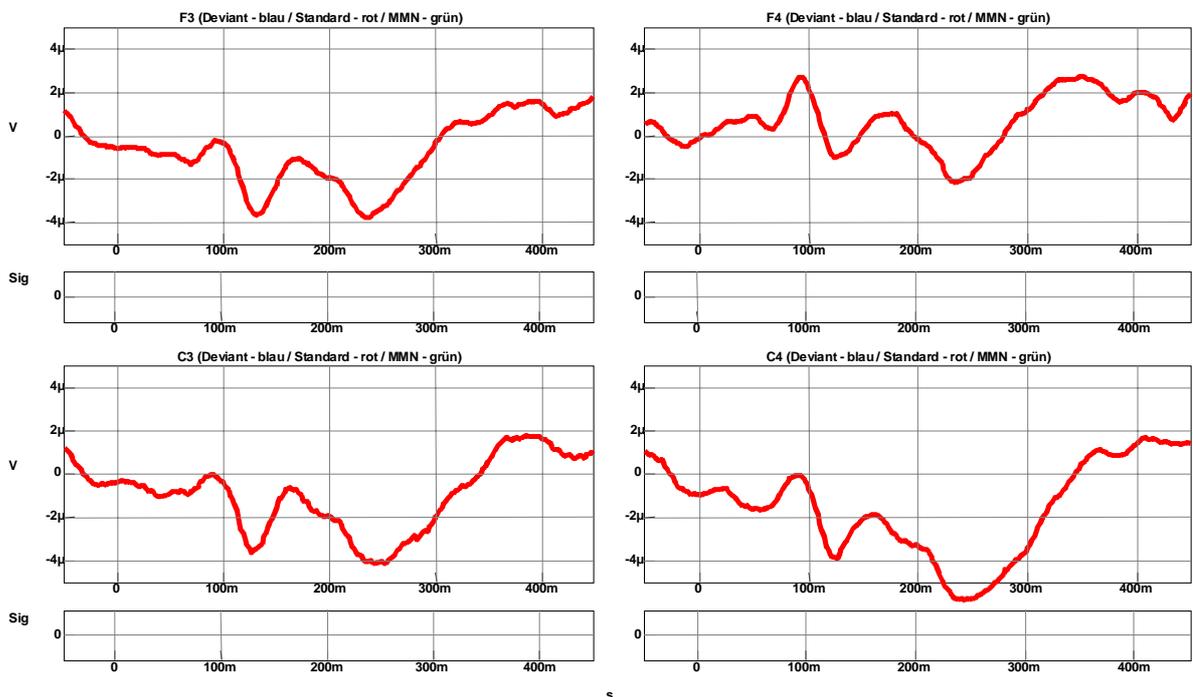


Abb. 4.1.3.3.: Kortikaler Potentialverlauf bei dem jüngsten Studienkind mit 7,8 Jahren (oben) und bei dem ältesten Studienkind mit 10,8 Jahren (unten) auf Reiz 2. Die Potentialantwort verändert sich in der Morphologie. Sie wird bei jüngsten Kind vom P1/N2-Komplex dominiert, bei dem ältesten Kind ist der N1/P2-Komplex schon deutlich zu erkennen.



		OS 200 ms		OS 80 ms	
		Mittelwert $\pm$ (STD) (Median)		Mittelwert $\pm$ (STD) (Median)	
		männlich (N=27)	weiblich (N=34)	männlich (N=25)	weiblich (N=35)
Latenz in ms	P1	83,67 $\pm$ (15,3) (86)	83,27 $\pm$ (20,21) (87)	87,32 $\pm$ (14,62) (88)	86,66 $\pm$ (12,2) (86)
	N1	127,30 $\pm$ (27,3) (123)	121,41 $\pm$ (30,06) (121)	131,20 $\pm$ (26,61) (127)	128,57 $\pm$ (19,57) (125)
	P2	149,37 $\pm$ (32,15) (142)	143,41 $\pm$ (31,15) (137)	163,44 $\pm$ (32,66) (164)	156,54 $\pm$ ( 25,53) (154)
	N2	202,70 $\pm$ (26,9) (212)	204,09 $\pm$ (23,07) (204)	215,44 $\pm$ (34,33) (230)	215,77 $\pm$ (29,65) (224)
	P*	333,22 $\pm$ (14,36) (334)	329,5 $\pm$ (15,9) (330)	358 $\pm$ (26,84) (359)	361 $\pm$ (21,26) (364)
Amplitude in $\mu$ V	P1	-0,16 $\pm$ (1,17) (1,65)	-0,10 $\pm$ (1,84) (1,74)	0,97 $\pm$ (1,13) (0,76)	1,24 $\pm$ (1,12) (1,1)
	N1	-0,27 $\pm$ (1,42) (0,07)	-0,17 $\pm$ (1,77) (-0,17)	-0,97 $\pm$ (1,49) (-1,09)	-0,81 $\pm$ (1,71) (-0,73)
	P2	-0,76 $\pm$ (1,29) (-0,84)	-0,3 $\pm$ (2,58) (-0,87)	-1,06 $\pm$ (1,45) (-1,07)	-1 $\pm$ (1,71) (-0,98)
	N2	-3,36 $\pm$ (1,52) (-2,73)	-4,44 $\pm$ (1,46) (-4,49)	-3,35 $\pm$ (1,1) (-3,18)	-3,93 $\pm$ (1,51) (-3,88)
	P3	3,27 $\pm$ (1,44) (3,14)	3,97 $\pm$ (1,65) (3,66)	2,19 $\pm$ (1,33) (1,93)	2,36 $\pm$ (1,38) (2,04)

Tab. 4.1.4.1.: Mittelwerte und Mediane der Latenzen und Amplituden der kortikalen Potentialkomponenten auf die Reize OS 200 ms und OS 80 ms bei den weiblichen und den männlichen Studienkindern.

La- tenz	Signifi- kanz (2- seitig)	Ampli- tude	Signifi- kanz (2- seitig)
<b>P1</b>	0,626	<b>P1</b>	0,115
<b>N1</b>	0,476	<b>N1</b>	0,760
<b>P2</b>	0,537	<b>P2</b>	0,586
<b>N2</b>	1,000	<b>N2</b>	<b>0,003*</b>
<b>P3</b>	0,416	<b>P*</b>	0,120

\* signifikant

Tab. 4.1.4.2.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden bei Reiz 1 mit dem U-Test nach Mann und Whitney und Bonferroni-Korrektur mit Faktor 10 bei den männlichen und weiblichen Kindern.

La- tenz	Signifi- kanz (2- seitig)	Ampli- tude	Signifi- kanz (2- seitig)
<b>P1</b>	0,845	<b>P1</b>	0,270
<b>N1</b>	0,594	<b>N1</b>	0,787
<b>P2</b>	0,189	<b>P2</b>	0,922
<b>N2</b>	0,636	<b>N2</b>	0,148
<b>P3</b>	0,811	<b>P*</b>	0,715

\* signifikant

Tab. 4.1.4.3.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden bei Reiz 2 mit dem U-Test nach Mann und Whitney und Bonferroni-Korrektur mit Faktor 10 bei den männlichen und weiblichen Kindern.

		OS 200 ms		OS 80 ms	
		Mittelwert $\pm$ (STD) (Median)		Mittelwert $\pm$ (STD) (Median)	
		männlich	weiblich	männlich	weiblich
Latenz in ms	P1	46,09 $\pm$ (11,08) (46,5)	49,82 $\pm$ (8,17) (52)	47,9 $\pm$ (10,74) (51)	50,48 $\pm$ (9,4) (48,25)
	N1	94,29 $\pm$ (7,37) (93)	97,33 $\pm$ (10,42) (93)	96,17 $\pm$ (8,01) (101)	94,10 $\pm$ (12,6) (95)
	P2	164,00 $\pm$ (14,41) (160)	157,00 $\pm$ (13,55) (160)	154,67 $\pm$ (8,82) (158)	150 $\pm$ ( 6,33) (149)
	N1*	298,00 $\pm$ (20,1) (293)	300,00 $\pm$ (9,55) (300)	211,83 $\pm$ (10,3) (211,5)	206,2 $\pm$ (11,08) (208)
	P2*	391,71 $\pm$ (11,66) (389)	382,22 $\pm$ (8,29) (386)	279,33 $\pm$ (18,28) (289)	275,80 $\pm$ (12,74) (279)
Amplitude in $\mu$ V	P1	0,02 $\pm$ (0,51) (0,01)	0,33 $\pm$ (0,5) (0,37)	-0,4 $\pm$ (1,89) (0,46)	0,28 $\pm$ (0,47) (0,19)
	N1	-1,69 $\pm$ (0,85) (-2,27)	-1,44 $\pm$ (0,57) (-1,25)	-1,7 $\pm$ (0,91) (-1,73)	-1,71 $\pm$ (0,61) (-1,7)
	P2	1,13 $\pm$ (0,63) (1,04)	0,63 $\pm$ (0,8) (0,4)	1,26 $\pm$ (0,58) (1,46)	1,33 $\pm$ (0,89) (1,25)
	N1*	-1,72 $\pm$ (1,38) (-1,96)	-1,69 $\pm$ (2,15) (-1,53)	-1,05 $\pm$ (0,73) (-1,07)	-1,43 $\pm$ (1,05) (-1,35)
	P2*	2,67 $\pm$ (1,13) (3,15)	2,71 $\pm$ (0,86) (2,67)	1,71 $\pm$ (1,74) (1,67)	1,38 $\pm$ (1,29) (1,2)

Tab. 4.1.4.4.: Mittelwerte und Mediane der Latenzen und Amplituden der kortikalen Potentialkomponenten auf die Reize OS 200 ms und OS 80 ms bei den weiblichen und den männlichen Erwachsenen.

<b>La- tenz</b>	<b>Signifi- kanz (2- seitg)</b>	<b>Ampli- tude</b>	<b>Signifi- kanz (2- seitg)</b>
<b>P1</b>	0,758	<b>P1</b>	0,351
<b>N1</b>	0,681	<b>N1</b>	0,470
<b>P2</b>	0,536	<b>P2</b>	0,252
<b>N2</b>	0,918	<b>N2</b>	0,606
<b>P*</b>	0,114	<b>P*</b>	0,918

\* signifikant

Tab. 4.1.4.5.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden bei Reiz 1 mit dem U-Test nach Mann und Whitney und Bonferroni-Korrektur mit Faktor 10 bei den weiblichen und den männlichen Erwachsenen.

<b>La- tenz</b>	<b>Signifi- kanz (2- seitg)</b>	<b>Ampli- tude</b>	<b>Signifi- kanz (2- seitg)</b>
<b>P1</b>	0,958	<b>P1</b>	0,958
<b>N1</b>	0,492	<b>N1</b>	1,000
<b>P2</b>	0,147	<b>P2</b>	0,875
<b>N2</b>	0,428	<b>N2</b>	0,562
<b>P*</b>	0,562	<b>P*</b>	0,492

\* signifikant

Tab. 4.1.4.6.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden bei Reiz 2 mit dem U-Test nach Mann und Whitney und Bonferroni-Korrektur mit Faktor 10 bei den weiblichen und den männlichen Erwachsenen.

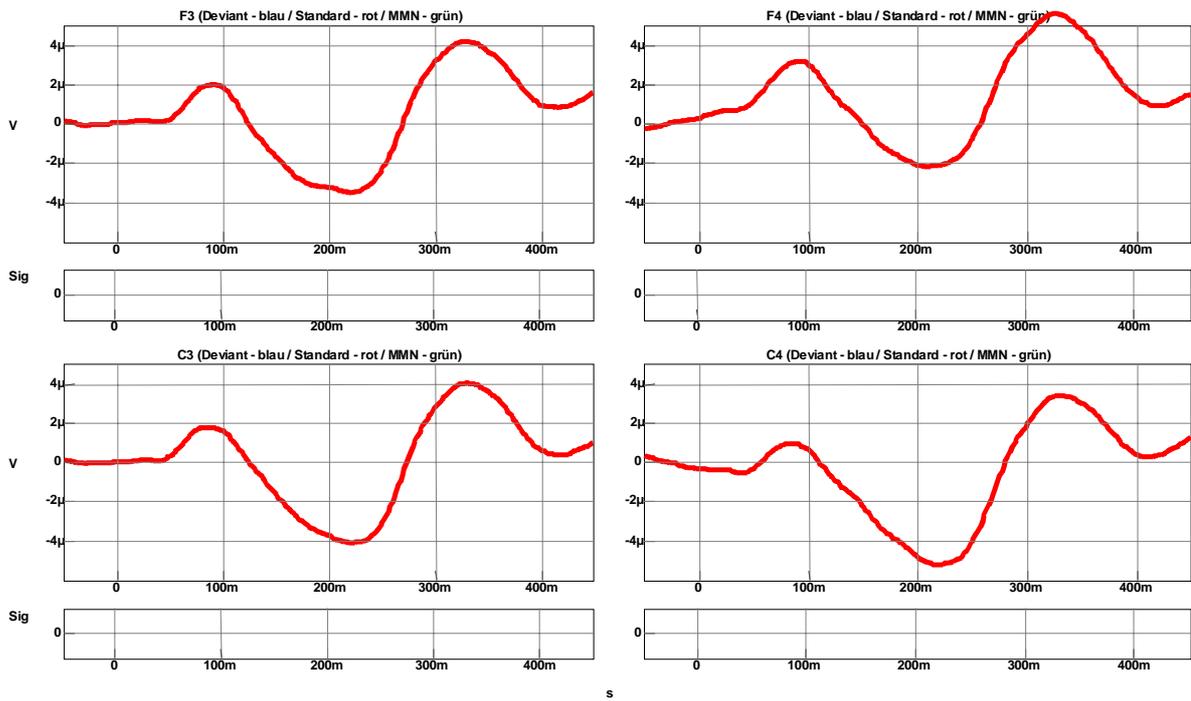
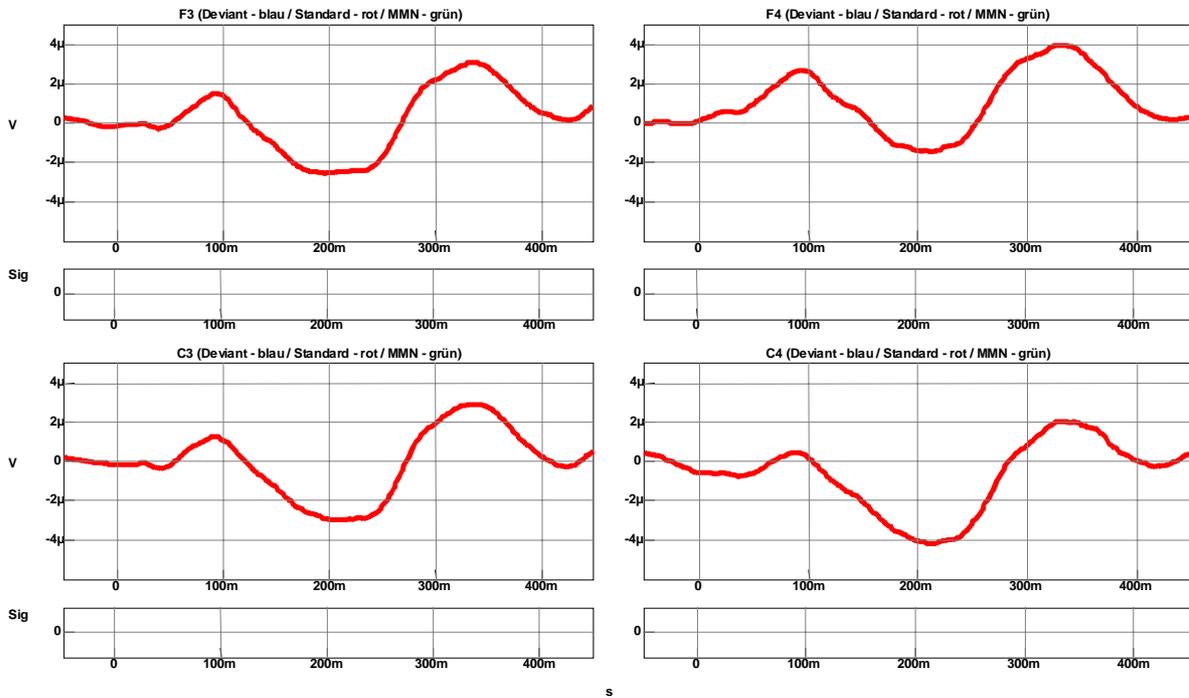


Abb. 4.1.4.1.: Gemittelte kortikale Potentialantworten bei 34 weiblichen (oben) und 27 männlichen gesunden Kindern (unten) auf den Reiz 1 (200 ms).



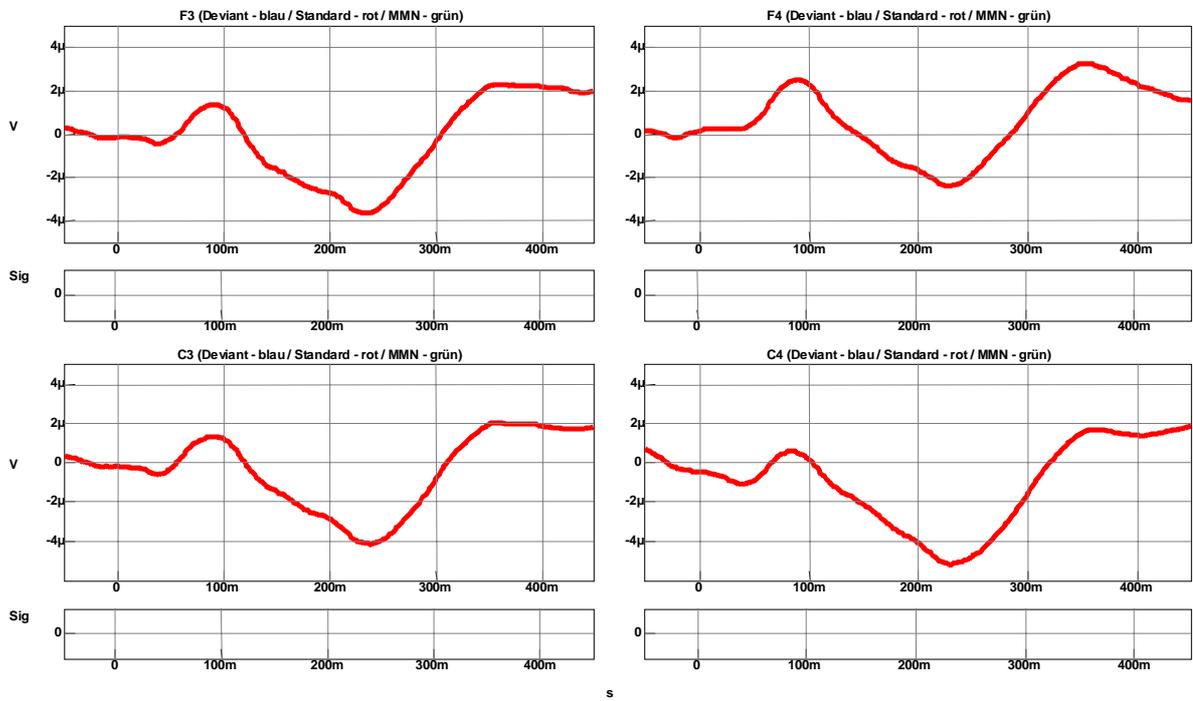
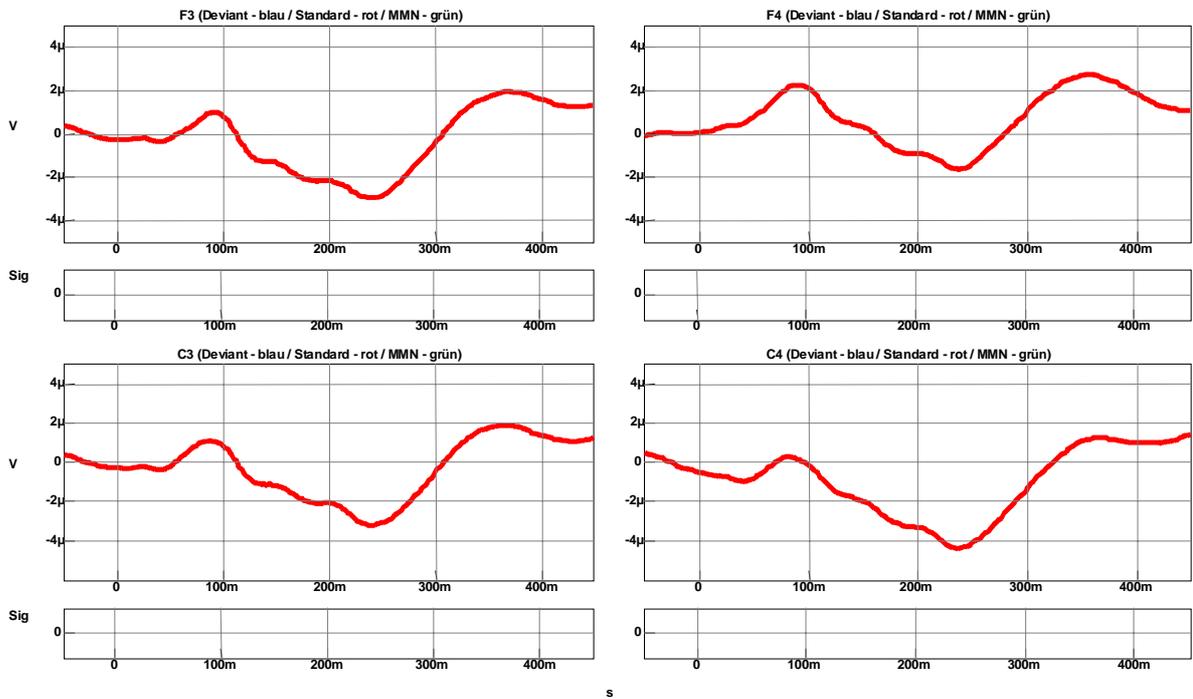


Abb. 4.1.4.2.: Gemittelte kortikale Potentialantworten bei 35 weiblichen (oben) und 25 männlichen gesunden Kindern (unten) auf den Reiz 2 (80 ms).



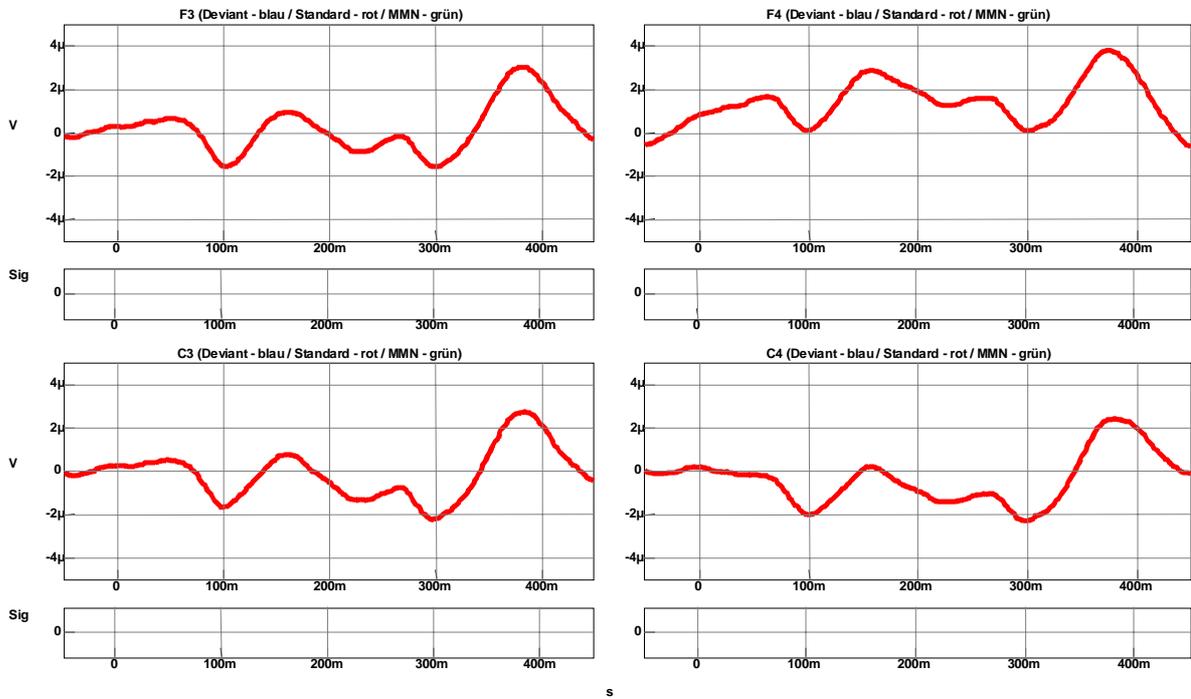
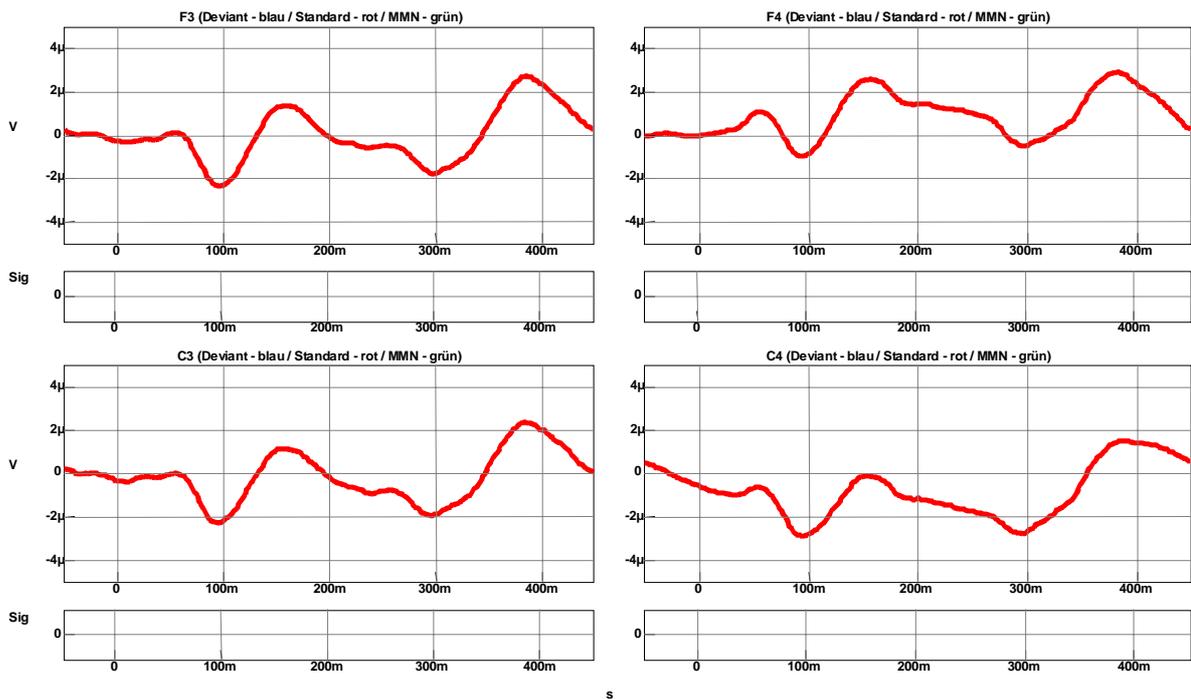
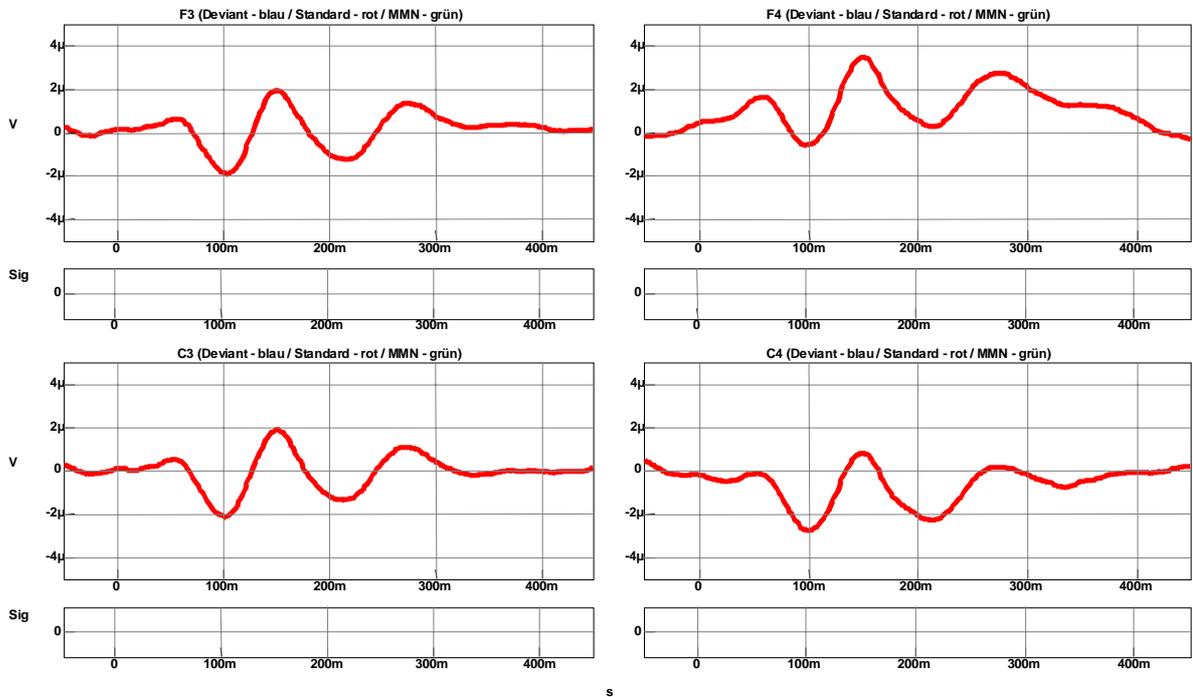


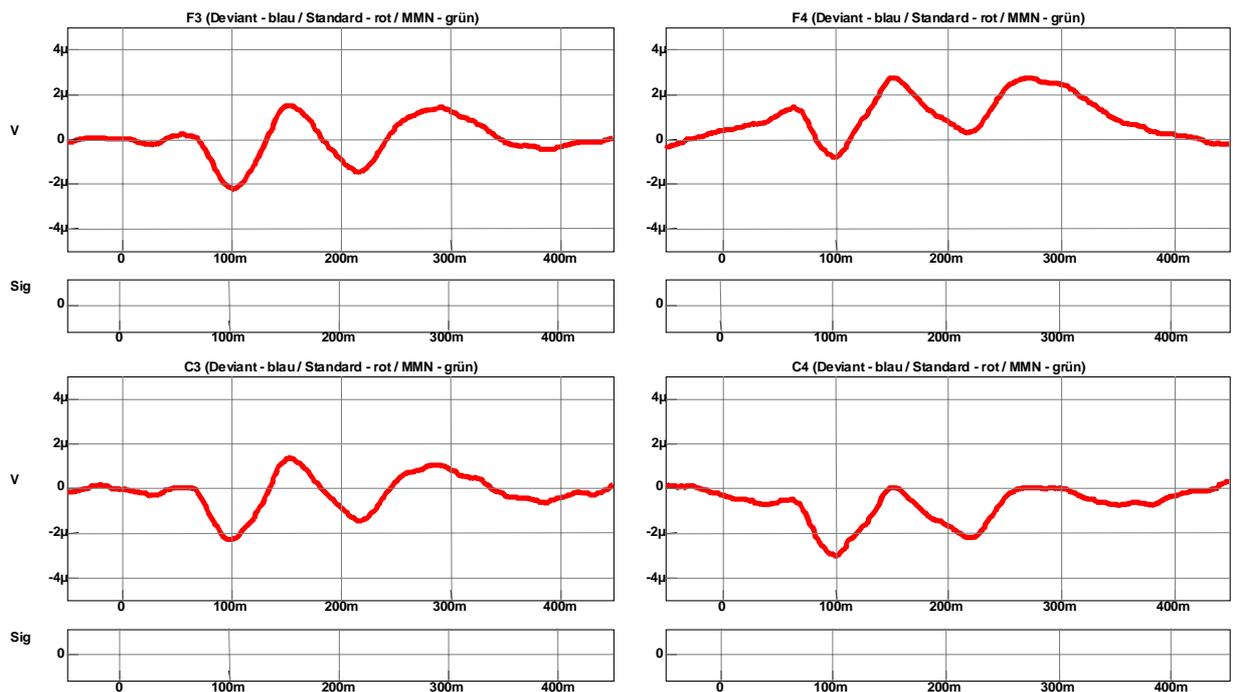
Abb. 4.1.4.3.: Gemittelte kortikale Potentialantworten bei 9 weiblichen (oben) und 7 männlichen Erwachsenen (unten) auf den Reiz 1 (200 ms).





s

Abb. 4.1.4.4.: Gemittelte kortikale Potentialantworten bei 9 weiblichen (oben) und 7 männlichen Erwachsenen (unten) auf den Reiz 2 (80 ms).



s

Erwachsene (N=16)	Differenzkurven Reiz 1 Mittelwerte $\pm$ (STD) (Median)	Differenzkurven Reiz 2 Mittelwerte ( $\pm$ STD) (Median)
<b>Latenz MMN I</b>	105,94 ms $\pm$ (15,40) (106 ms)	110,00 ms $\pm$ (23,05) (105 ms)
<b>Amplitude MMN I</b>	-2,31 $\mu$ V $\pm$ (1,07) (-2,16 $\mu$ V)	-2,02 $\mu$ V $\pm$ (0,81) (-2,11)
<b>Latenz Positivierung (zwischen MMN I und MMN II)</b>	261,44 ms $\pm$ (47,58) (268 ms)	225,47 ms $\pm$ (33,69) (226 ms)
<b>Amplitude Positivierung</b>	1,75 $\mu$ V $\pm$ (1,18) (1,51 $\mu$ V)	1,87 $\mu$ V $\pm$ (1,22) (2,02)
<b>Latenz MMN II</b>	347,08 ms $\pm$ (32,40) (341 ms)	330,87 ms $\pm$ (34,45) (322 ms)
<b>Amplitude MMN II</b>	-1,53 $\mu$ V $\pm$ (0,77) (-1,2 $\mu$ V)	-1,81 $\mu$ V $\pm$ (1,04) (-1,46)

Tab. 4.2.1.1.: Mittlere Latenzen ( $\pm$ STD) und Amplituden ( $\pm$ STD) der MMN I, MMN II und der Positivierung der Differenzkurven der kortikalen Antworten auf Reiz 1 und 2 bei den Erwachsenen (N =16).

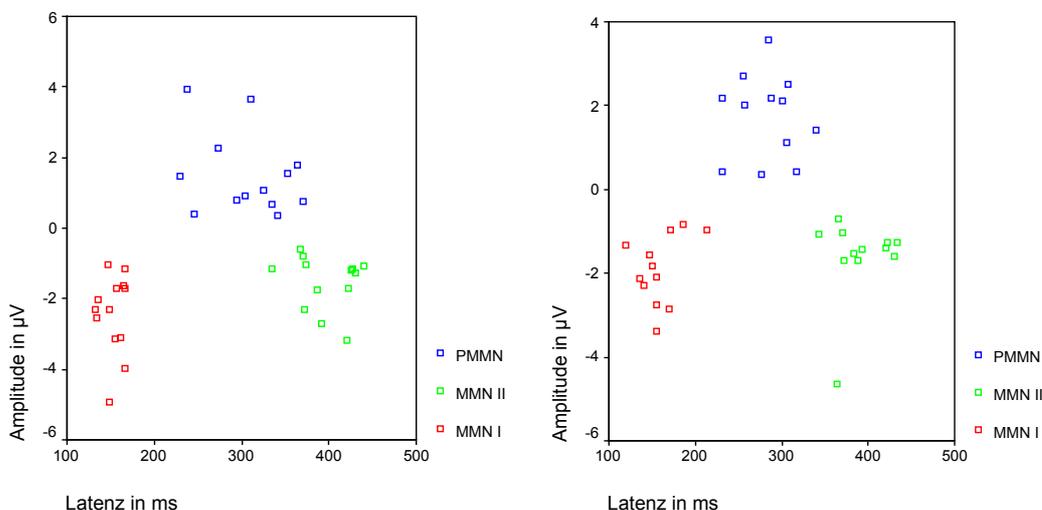


Abb. 4.2.1.1.: Auswertung der Differenzkurven der individuellen kortikalen Potentialantworten auf Reiz 1 (links) und Reiz 2 (rechts) bei den Erwachsenen.

Differenzkurve Reiz 1		Differenzkurve Reiz 2		
<b>MMN I</b>		keine	<b>MMN I</b>	
100% (16)		0%	87,5% (14)	
signifikant	nicht signifikant		signifikant	nicht signifikant
62,5% (10)	37,5% (6)		64,3% (9)	35,7%(5)
<b>Positivierung</b>		keine	<b>Positivierung</b>	
100% (16)		0%	93,8% (15)	
signifikant	nicht signifikant		signifikant	nicht signifikant
37,5% (6)	62,5% (10)		46,7%(7)	53,3%(8)
<b>MMN II</b>		keine	<b>MMN II</b>	
81,3% (13)		18,7%	93,8% (15)	
signifikant	nicht signifikant		signifikant	nicht signifikant
30,8% (4)	69,2% (9)		33,3% (5)	66,7% (10)

Tab. 4.2.1.2.: Anteil der Nachweisbarkeitshäufigkeit und Signifikanz von MMN I, MMN II und Positivierung auf Reiz 1 und Reiz 2 bei den Erwachsenen in Prozenten (Anzahl der Personen in Klammern bei gesamt N=16).

Latenz	Signifikanz (2-seitig)	Amplitude	Signifikanz (2-seitig)
<b>MMN I</b>	0,423	<b>MMN I</b>	0,247
<b>PMMN</b>	0,092	<b>PMMN</b>	0,944
<b>MMN II</b>	0,683	<b>MMN II</b>	0,575

\* signifikant

Tab. 4.2.1.3.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden der Differenzkurven zwischen den Reizen 1 und 2 bei den Erwachsenen mit dem Wilcoxon-Test.

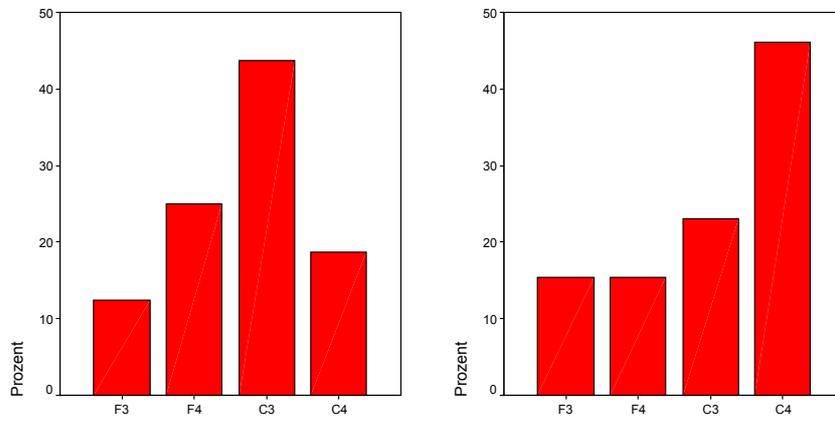
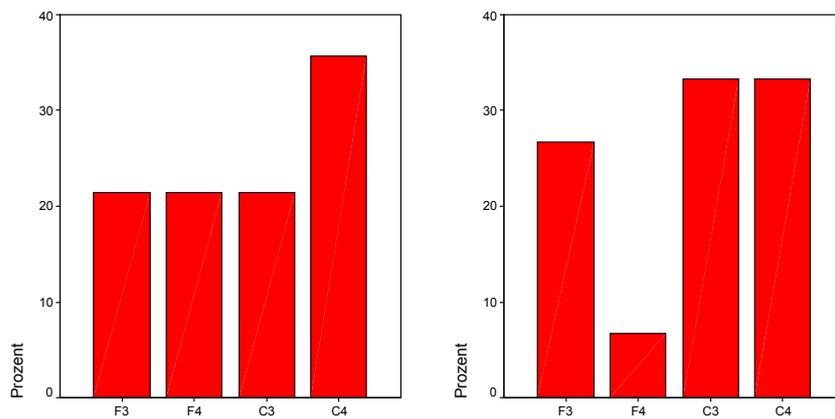


Abb. 4.2.1.2.: Prozentuale Verteilung der Elektrodenposition mit der maximalen Amplitude der MMN I (jeweils links) und MMN II (jeweils rechts) auf Reiz 1 (oben) und Reiz 2 (unten) bei den Erwachsenen.



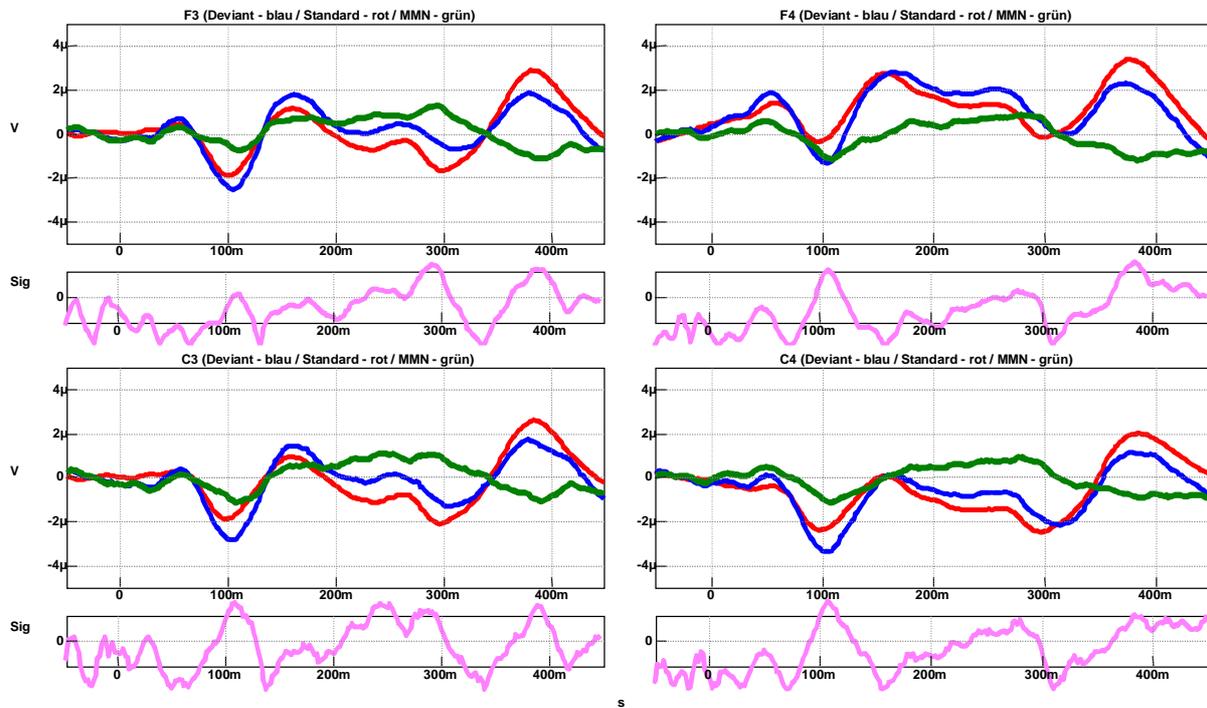
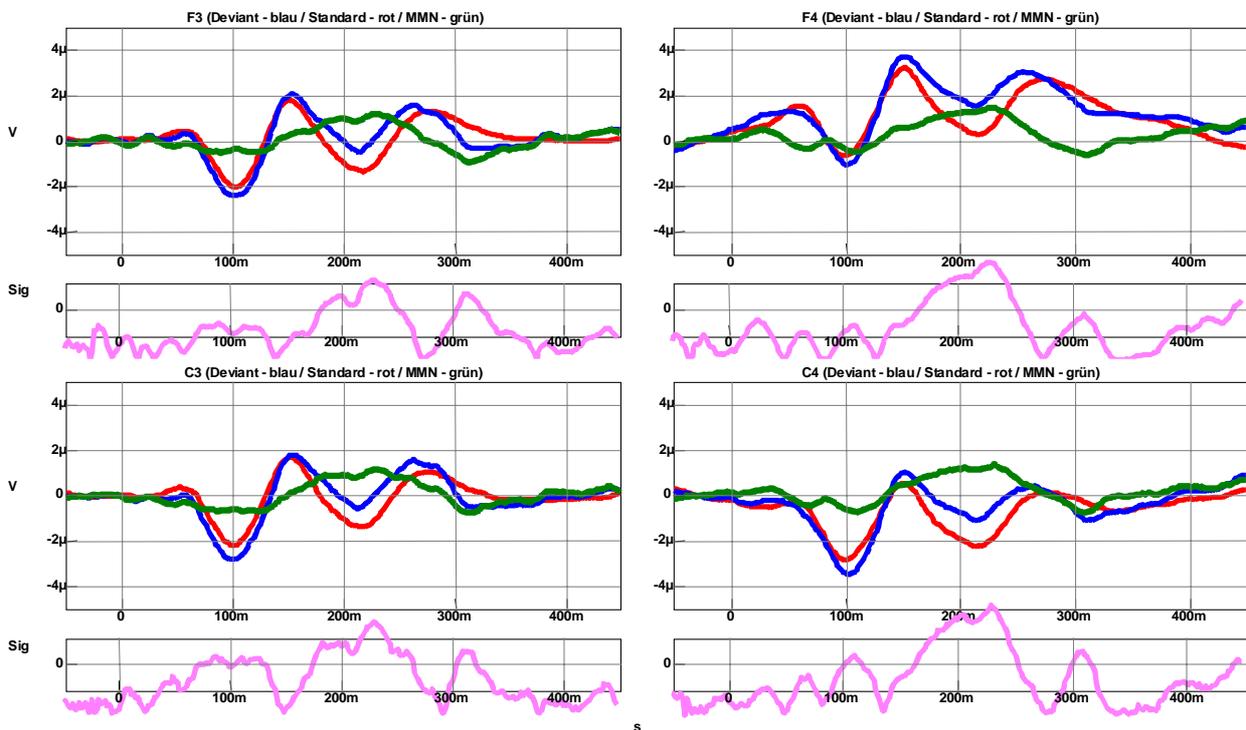


Abb. 4.2.1.3.: Gemittelte Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei Erwachsenen (N=16) auf Reiz 1 (oben) und Reiz 2 (unten). Standardantwort = rot, Deviantantwort = blau, Differenzkurve = grün. Auf beide Reize tritt eine MMN I um 110 ms und eine MMN II zwischen 300 und 400 ms auf. Dazwischen tritt eine Positivierung auf.



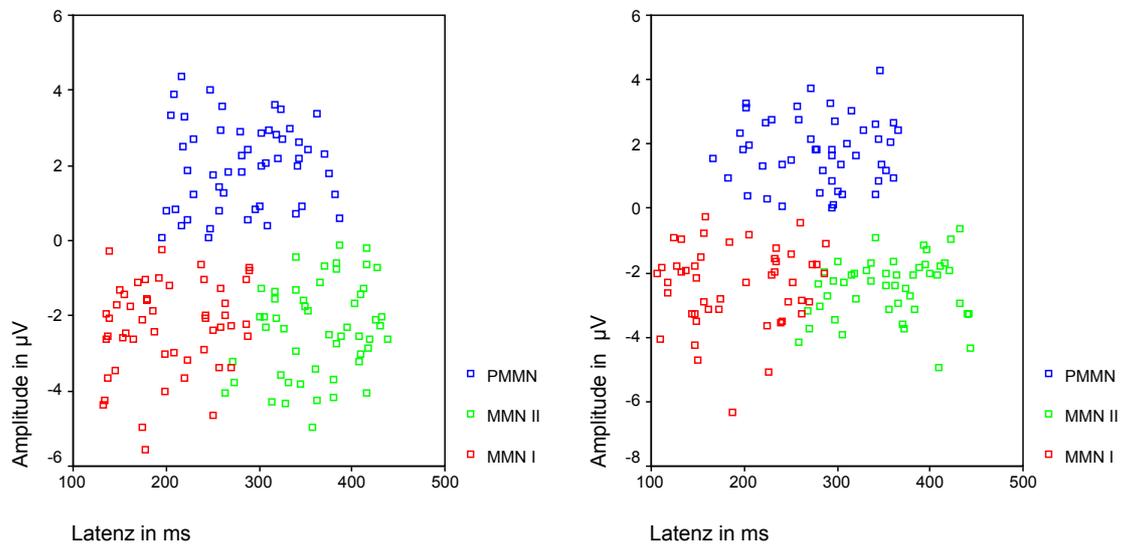


Abb. 4.2.2.1.: Auswertung der Differenzkurven der individuellen kortikalen Potentialantworten auf Reiz 1 (links) und Reiz 2 (rechts) bei 62 Schulkindern.

Studienkinder	Differenzkurven Reiz 1 Mittelwerte $\pm$ (STD)	Differenzkurven Reiz 2 Mittelwerte $\pm$ (STD)
<b>Latenz MMN I 80-240 ms</b>	153,98 ms $\pm$ (50,38)	150,11 ms $\pm$ (57,65)
Latenz MMN I früh	118,47 $\pm$ (24,04)	99,41 ms $\pm$ (26,21)
Latenz MMN I spät	207,35 $\pm$ (21,54)	204,00 ms $\pm$ (18,55)
<b>Amplitude MMN I</b>	-2,43 $\mu$ V $\pm$ (1,31)	-2,59 $\mu$ V $\pm$ (1,29)
<b>Latenz Positivierung (zwischen MMN I und MMN II)</b>	233,75 ms $\pm$ (55,63)	241,50 ms $\pm$ (62,56)
Latenz Positivierung früh	174,14 ms $\pm$ (22,66)	168,53 $\pm$ (25,17)
Latenz Positivierung spät	269,19 ms $\pm$ (34,97)	277,05 $\pm$ (40,13)
<b>Amplitude Positivierung</b>	2,23 $\mu$ V $\pm$ (1,3)	1,98 $\mu$ V $\pm$ (1,1)
<b>Latenz MMN II 240–390 ms</b>	312,79 ms $\pm$ (46,45)	308,65 ms $\pm$ (52,33)
Latenz MMN II früh	278,87 $\pm$ (17,33)	258,52 ms $\pm$ (28,63)
Latenz MMN II spät	349,68 $\pm$ (22,09)	348,41 ms $\pm$ (25,35)
<b>Amplitude MMN II</b>	-2,32 $\mu$ V $\pm$ (1,19)	-2,5 $\mu$ V $\pm$ (0,99)

Tab. 4.2.2.1.: Mittlere Latenzen ( $\pm$ STD) und Amplituden ( $\pm$ STD) der MMN I, MMN II und der Positivierung der Differenzkurven der kortikalen Antworten auf Reiz 1 und 2 bei den normal entwickelten Studienkindern (N =62).

Differenzkurve Reiz 1			Differenzkurve Reiz 2		
<b>MMN I</b>		kei-	<b>MMN I</b>		keine
90,3% (56)		9,7%	90,3% (56)		9,7%
signifikant	nicht signifikant	(6)	signifikant	nicht signifikant	(6)
23,3 (13)	76,7% (43)		30,4 (17)	69,6% (39)	
<b>Positivierung</b>		kei-	<b>Positivierung</b>		keine
95,2% (59)		20%	93,5% (58)		6,5%
signifikant	nicht signifikant	(2)	signifikant	nicht signifikant	(4)
17% (10)	83% (49)		10,3% (6)	89,7% (52)	
<b>MMN II</b>		kei-	<b>MMN II</b>		keine
88,7% (55)		11,3	83,9% (52)		16,1%
signifikant	nicht signifikant	%	signifikant	nicht signifikant	(10)
25,5% (14)	74,5% (41)		25% (13)	75% (39)	

Tab. 4.2.2.2.: Anteil der Nachweisbarkeitshäufigkeit und Signifikanz von MMN I, MMN II und Positivierung auf Reiz 1 und Reiz 2 bei den normal entwickelten Schulkindern in Prozent (Anzahl der Personen in Klammern bei gesamt N=62).

Latenz	Signifikanz (2-seitig)	Amplitude	Signifikanz (2-seitig)
<b>MMN I</b>	0,780	<b>MMN I</b>	0,506
<b>PMMN</b>	0,844	<b>PMMN</b>	0,120
<b>MMN II</b>	0,839	<b>MMN II</b>	0,289

\* signifikant

Tab. 4.2.2.3.: Signifikanzbestimmung der Differenzen von Latenzen und Amplituden der Differenzkurven zwischen den Reizen 1 und 2 bei den normal entwickelten Kindern mit dem Wilcoxon-Test.

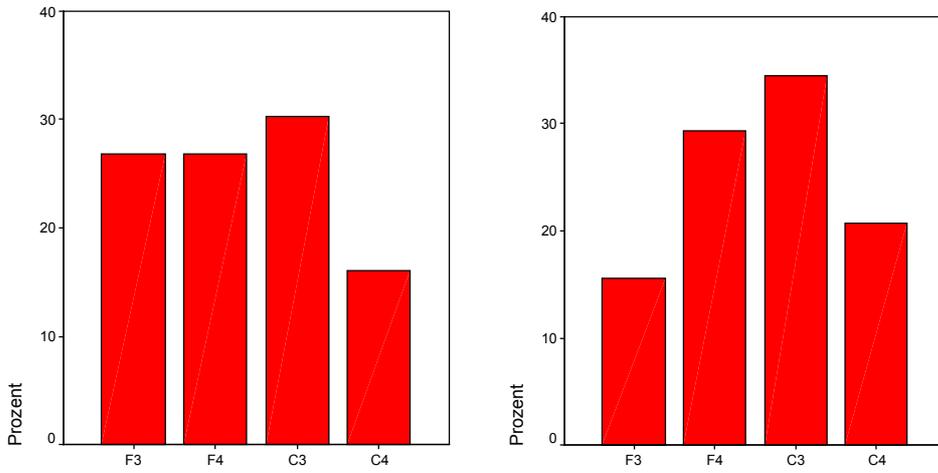
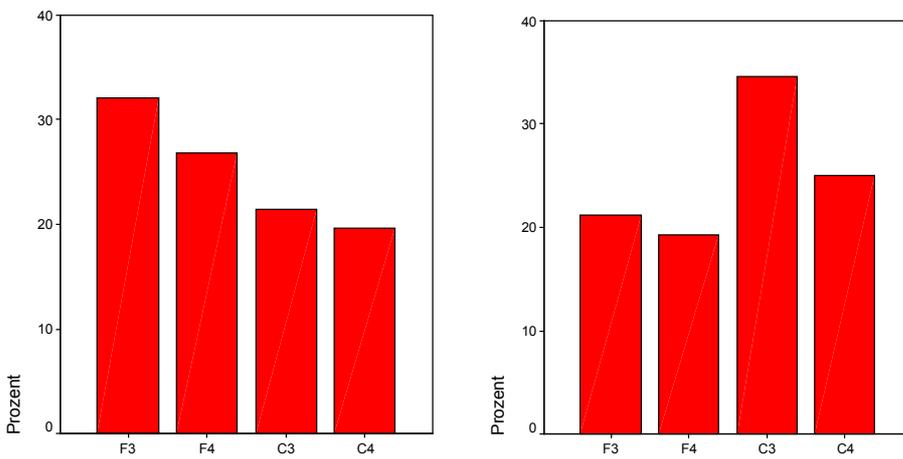


Abb. 4.2.2.2.: Prozentuale Verteilung der Elektrodenposition mit der maximalen Amplitude der MMN I (jeweils links) und MMN II (jeweils rechts) auf Reiz 1 (oben) und Reiz 2 (unten) bei den normal entwickelten Kindern.



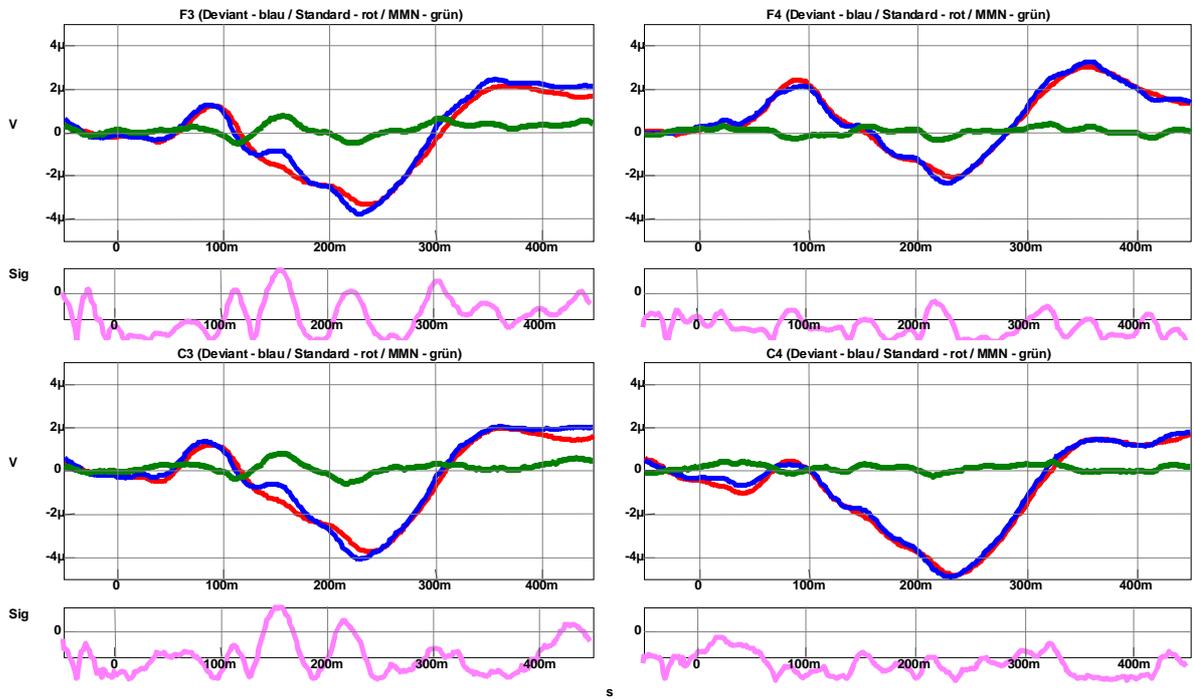
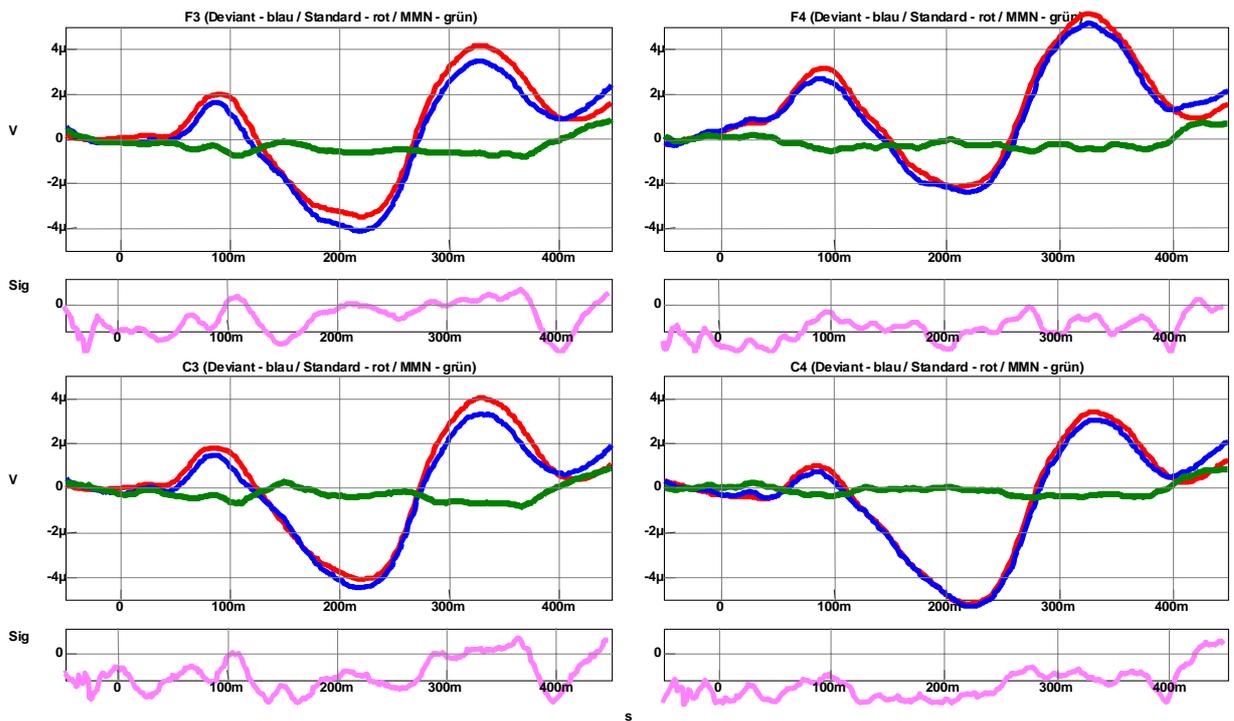


Abb. 4.2.2.3.: Gemittelte Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den normal entwickelten Schulkindern (N=62) auf Reiz 1 (oben) und Reiz 2 (unten). Standardantwort = rot, Deviantantwort = blau, Differenzkurve = grün.



	Differenzkurve Reiz 1		Differenzkurve Reiz 2	
	7 - 8 Jahre Mittelwert $\pm$ (STD)	9 – 10 Jahre Mittelwert $\pm$ (STD)	7 - 8 Jahre Mittelwert $\pm$ (STD)	9 -10 Jahre Mittelwert $\pm$ (STD)
<b>MMNI</b> Latenz	160,32 $\pm$ (50,96)	146,12 $\pm$ (49,54)	144,29 $\pm$ (54,38)	155,93 $\pm$ (61,17)
Amplitude ( $\mu$ V)	-2,53 $\pm$ (1,19)	-2,3 $\pm$ (1,45)	-2,64 $\pm$ (1,49)	-2,54 $\pm$ (1,07)
<b>MMNII</b> Latenz	319,07 $\pm$ (47,36)	306,07 $\pm$ (45,33)	295,71 $\pm$ (50,02)	323,75 $\pm$ (51,91)
Amplitude ( $\mu$ V)	-2,16 $\pm$ (1,2)	-2,49 $\pm$ (1,18)	-2,37 $\pm$ (0,86)	-2,65 $\pm$ (1,13)
<b>Positivierung</b> Latenz (ms)	239,87 $\pm$ (51,62)	226,96 $\pm$ (59,96)	229,03 $\pm$ (59,33)	255,81 $\pm$ (64,18)
Amplitude ( $\mu$ V)	2,06 $\pm$ (1,12)	2,41 $\pm$ (1,47)	1,9 $\pm$ (1,22)	2,07 $\pm$ (0,96)

Tab. 4.2.3.1.: Mittelwerte der Latenzen und Amplituden der Differenzkurve nach Altersgruppen ausgewertet, 7 – 8 Jahre (N=32) und 9-10 Jahre (N=30).

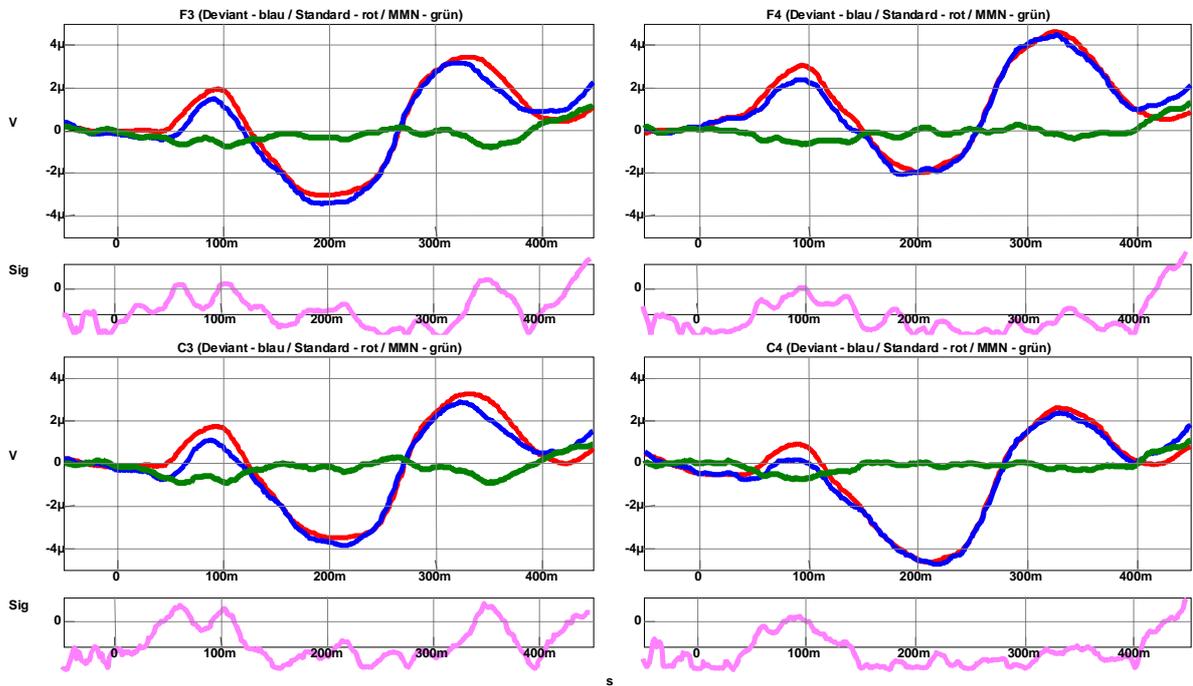
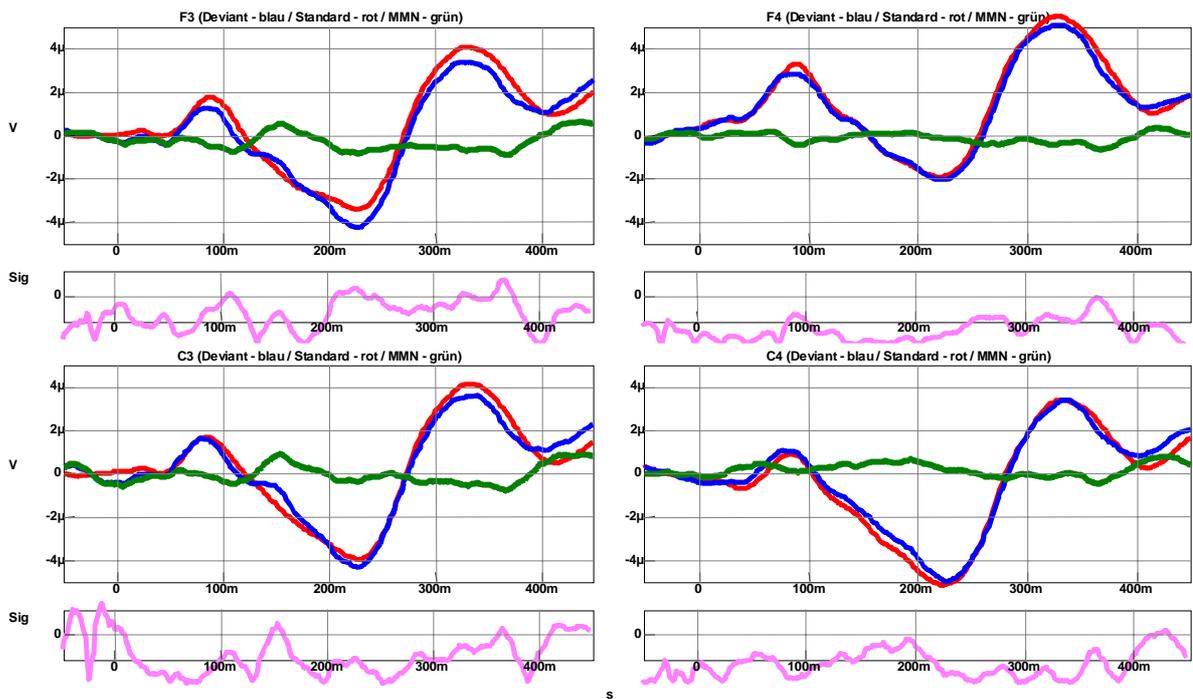


Abb. 4.2.3.1.: Gemittelte Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den 7- bis 8-jährigen (oben, N=32) und 9- bis 10-jährigen (unten, N=30) normal entwickelten Schulkindern auf Reiz 1. Standardantwort = rot, Deviantantwort = blau, Differenzkurve = grün.



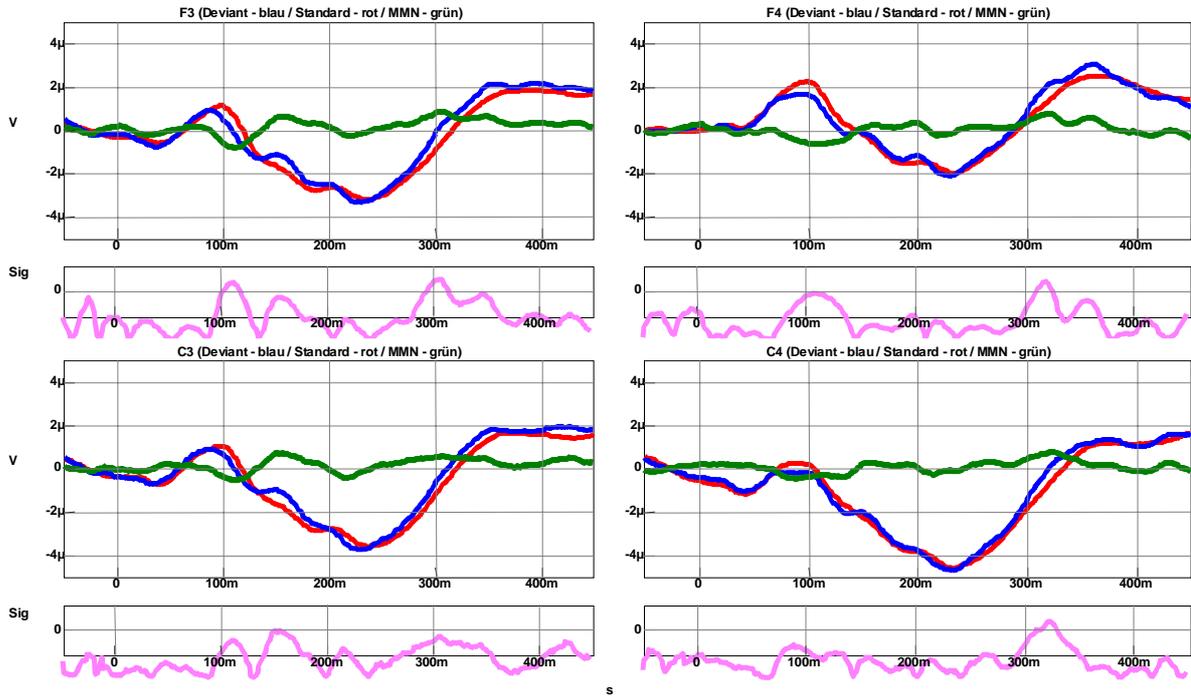
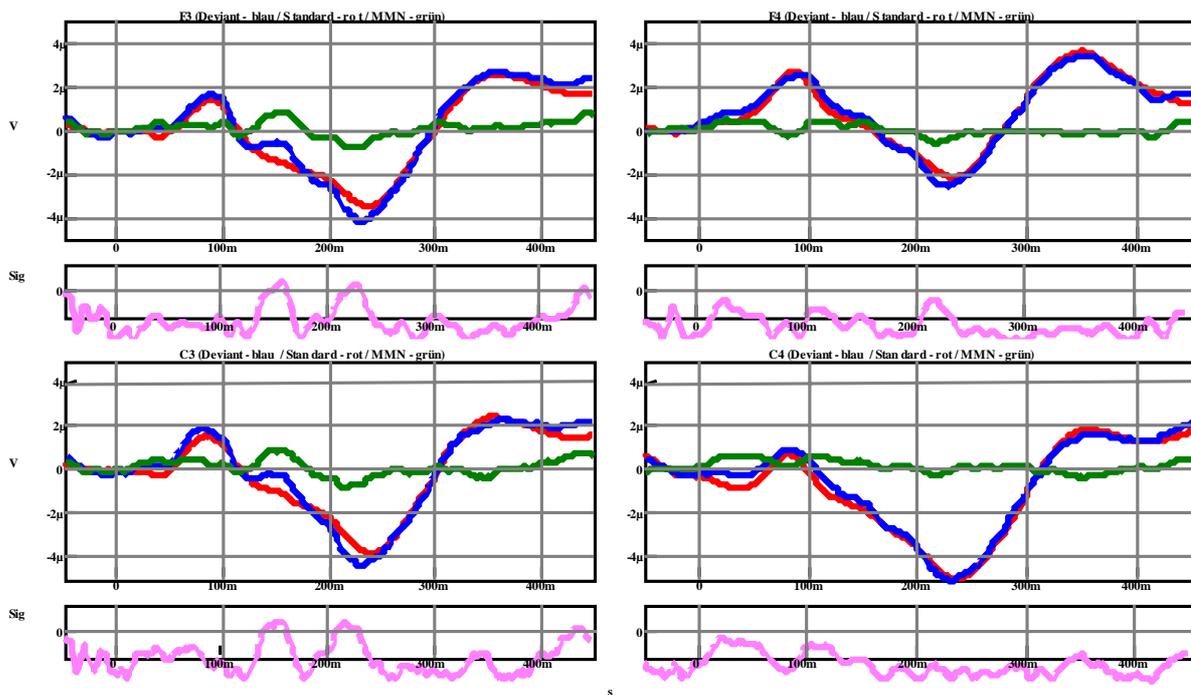


Abb. 4.2.3.2.: Gemittelte Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den 7- bis 8-jährigen (oben, N=32) und 9- bis 10-jährigen (unten, N=30) normal entwickelten Schulkindern auf Reiz 2. Standardantwort = rot, Deviantantwort = blau, Differenzkurve = grün.



	Differenzkurven Reiz 1		Differenzkurven Reiz 2	
	männlich Mittelwert ± (STD)	weiblich Mittelwert ± (STD)	männlich Mittelwert ± (STD)	weiblich Mittelwert ± (STD)
<b>MMNI-Latenz</b> (ms)	162,77 ± (56,04)	146,37 ± (44,47)	146,57 ± (57,24)	152,58 ± (58,68)
Amplitude (µV)	-2,15 ± (1,34)	-2,66 ± (1,25)	-2,87 ± (1,63)	-2,39 ± (0,96)
<b>MMNII-Latenz</b> (ms)	322,81 ± (42,78)	304,66 ± (48,36)	318,77 ± (56,12)	301,23 ± (49,00)
Amplitude [µV]	-1,99 ± (1,09)	-2,59 ± (1,21)	-2,90 ± (1,07)	-2,21 ± (0,84)
<b>Positivierung</b> Latenz (ms)	245,15 ± (60,14)	224,13 ± (50,47)	242 ± (68,53)	241,15 ± (59,04)
Amplitude (µV)	2,20 ± (1,42)	2,25 ± (1,21)	1,94 ± (1,34)	2,00 ± (0,91)

Tab. 4.2.4.1.: Mittelwerte der Latenzen und Amplituden bei MMN I, MMN II und der Positivierung auf beide Reize bei den Schulkindern getrennt nach Geschlechtern (weiblich N=35 und männlich N=27).

	Differenzkurven Reiz 1		Differenzkurven Reiz 2	
	männlich Mittelwert ± (STD)	Weiblich Mittelwert ± (STD)	Männlich Mittelwert ± (STD)	Weiblich Mittelwert ± (STD)
<b>MMNI-Latenz</b> (ms)	108,00 ± (17,30)	104,33 ± (14,62)	118,40 ± (14,35)	105,33 ± (26,30)
Amplitude (µV)	-2,13 ± (0,94)	-2,46 ± (1,20)	-2,12 ± (0,9)	-1,97 ± (0,8)
<b>MMNII-Latenz</b> (ms)	379,00 ± (6,67)	327,13 ± (24,32)	312,60 ± (38,50)	340,00 ± (30,16)
Amplitude [µV]	-1,28 ± (0,24)	-1,69 ± (0,95)	-1,60 ± (0,84)	-1,91 ± (1,15)
<b>Positivierung</b> Latenz (ms)	290,86 ± (46,91)	238,56 ± (35,33)	227,40 ± (29,62)	224,50 ± (37,05)
Amplitude (µV)	1,79 ± (1,34)	1,52 ± (1,07)	1,29 ± (0,89)	2,16 ± (1,29)

Tab. 4.2.4.2.: Mittelwerte der Latenzen und Amplituden bei MMN I, MMN II und der Positivierung auf beide Reize bei den Erwachsenen getrennt nach Geschlechtern (weiblich N=9 und männlich N=7).

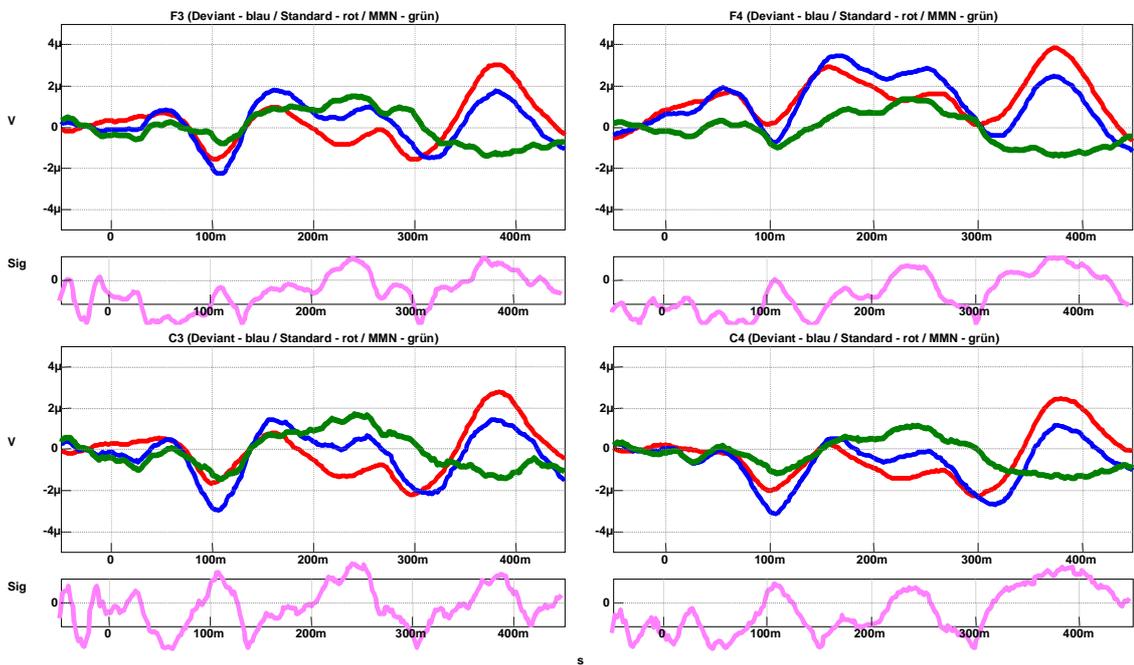
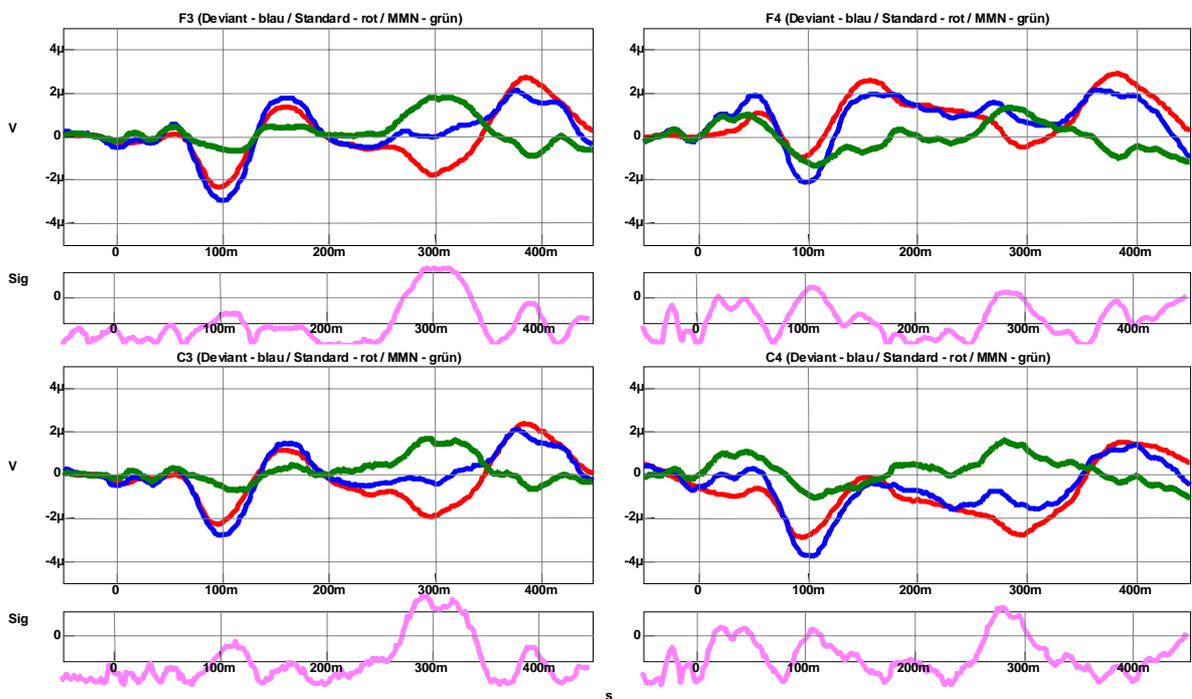


Abb.4.2.4.1.: Gemittelte Differenzkurven (Grand Average) der kortikalen Potentialantworten bei den Frauen (oben, N=9) und Männern (unten, N=7) auf Reiz 1. Standardantwort = rot, Deviantantwort = blau, Differenzkurve = grün.



Hör-Anamnese	Anzahl	Prozent der Kinder
Keine Erkrankungen im HNO Bereich	20	32,3%
Selten Mittelohrentzündung	24	38,7%
gehäuft Mittelohrentzündung, zum Teil mit Adenotomie/Parazentese	13	20,9%
Keine Angaben	1	1,6%

Tab. 4.3.1.1.: Daten zur Hör-Anamnese der Studienkinder (N=62).

Sprachentwicklung	Anzahl	
Keine Auffälligkeiten	52	83,9%
SES	2	3,2%
Therapie durch eine Logopädin	6	9,7%
Ergotherapie	1	1,6%
Keine Angaben	1	1,6%

Tab. 4.3.1.2.: Daten zur Sprachentwicklung der Kinder (N=62).

Artikulation	Anzahl	Prozent der Kinder
Unauffälliger Lautbestand	43	69,4%
Sigmatismus	14	22,6%
Sonstige Artikulationsstörung	5	8,1%

Tab. 4.3.1.3.: Auffälligkeiten des Lautbestands bei den Schulkindern (N=62).

H-LAD	Erreichbare Punktzahl	Mittelwert	± STD
H 1 Differenzierung von Konsonanten Gesamtergebnis auditiv	25	23,21	1,91
H 1 Differenzierung von Konsonanten Gesamtergebnis kinästhetisch	25	20,26	3,00
H 2 Analyse und Differenzierung von Konsonantenhäufung im Anlaut	12	10,60	1,80

Tab.4.3.2.1.: H-LAD: Normal entwickelte Studienkinder (N=62)

H-LAD	Erreichbare Punktzahl	Diagnose	Mittelwert ( $\pm$ STD)
H 1 Differenzierung von Konsonanten Gesamtergebnis auditiv	25	AVWS LRS AVWSuLRS	21 ( $\pm$ 0) 23,83 ( $\pm$ 2,04) 18,83 ( $\pm$ 5,81)
H 1 Differenzierung von Konsonanten Gesamtergebnis kinästhetisch	25	AVWS LRS AVWSuLRS	11 ( $\pm$ 0) 12 ( $\pm$ 4) 10 ( $\pm$ 3,7)
H 2 Analyse und Differenzierung von Konsonantenhäufung im Anlaut	12	AVWS LRS AVWSuLRS	6,5 ( $\pm$ 0,7) 9,67 ( $\pm$ 3,0) 6,67 ( $\pm$ 2,5)

Tab.4.3.2.2.: H-LAD: Kinder mit AVWS u./o. LRS

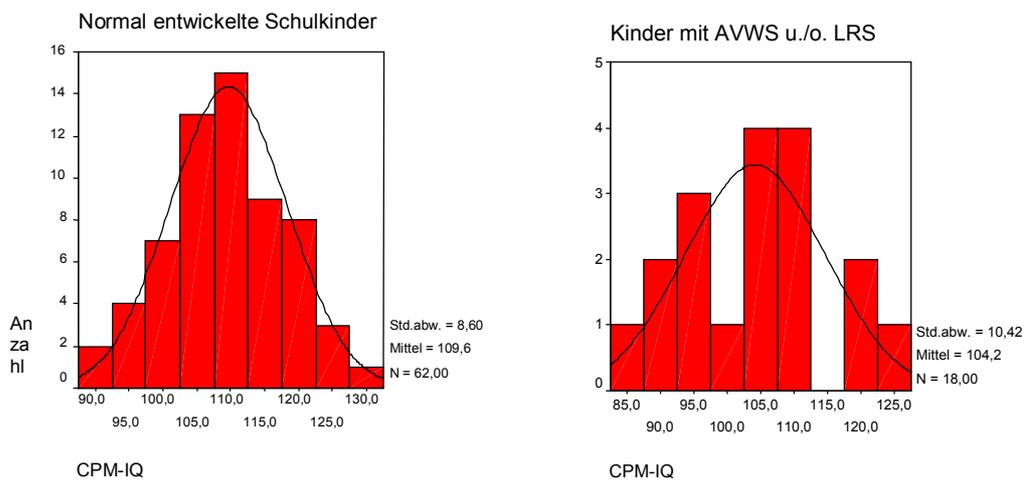


Abb. 4.3.3.1.: Verteilung der IQ-Ergebnisse im CPM

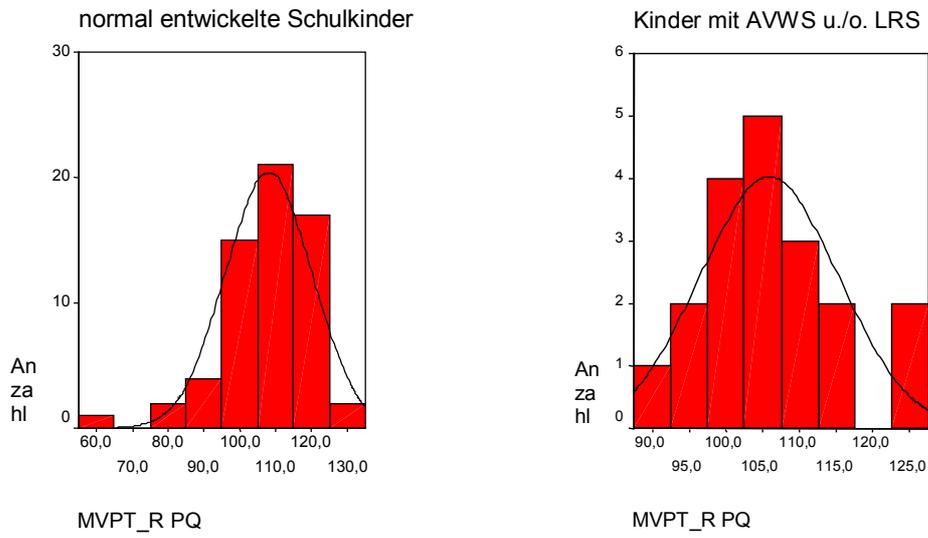


Abb. 4.3.3.2.: Verteilung der IQ-Ergebnisse im MFVPT-R-IQ

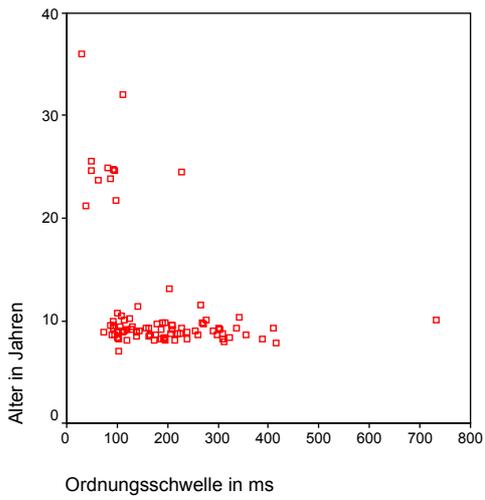


Abb. 4.3.4.1.: Darstellung der subjektiven Ordnungsschwellenwerte in Abhängigkeit vom Alter

Latenz in ms bei C3 Mittelwerte $\pm$ (STD) (Median)				Amplitude in $\mu$ V bei C3 Mittelwerte $\pm$ (STD) (Median)			
OS 200 ms		OS 80 ms		OS 200 ms		OS 80 ms	
Auffällige Kinder	Unauffällige Kinder	Auffällige Kinder	Unauffällige Kinder	Auffällige Kinder	Unauffällige Kinder	Auffällige Kinder	Unauffällige Kinder
<b>P1</b> 81,15 $\pm$ (16,2) (81)	<b>P1</b> 83,44 $\pm$ (18,06) (86)	<b>P1</b> 87,78 $\pm$ (22,43) (90,5)	<b>P1</b> 86,93 $\pm$ (13,15) (86)	<b>P1</b> 0,93 $\pm$ (1,17) (0,84)	<b>P1</b> 1,57 $\pm$ (1,16) (1,65)	<b>P1</b> 0,42 $\pm$ (1,28) (0,32)	<b>P1</b> 1,13 $\pm$ 1,13) (1,03)
<b>N1</b> 120,65 $\pm$ (19,92) (125)	<b>N1</b> 124,02 $\pm$ (28,79) (121)	<b>N1</b> 130,83 $\pm$ (21,63) (126)	<b>N1</b> 129,67 $\pm$ (22,59) (126)	<b>N1</b> -0,48 $\pm$ (1,74) (-0,43)	<b>N1</b> -0,22 $\pm$ (1,61) (-0,04)	<b>N1</b> -1,15 $\pm$ (1,69) (-0,88)	<b>N1</b> -0,88 $\pm$ (1,61) (-0,77)
<b>P2</b> 146,35 $\pm$ (21,37) (146)	<b>P2</b> 146,05 $\pm$ (31,48) (142)	<b>P2</b> 164,61 $\pm$ (23,17) (160)	<b>P2</b> 159,42 $\pm$ (28,66) (159)	<b>P2</b> -0,73 $\pm$ (1,52) (-0,87)	<b>P2</b> -0,50 $\pm$ (2,1) (-0,87)	<b>P2</b> -0,7 $\pm$ (1,44) (-0,84)	<b>P2</b> -1,02 $\pm$ (1,59) (-1,0)
<b>N2</b> 212,05 $\pm$ (21,20) (218)	<b>N2</b> 203,48 $\pm$ (24,63) (207)	<b>N2</b> 231,56 $\pm$ (24,95) (238)	<b>N2</b> 215,55 $\pm$ (31,40) (225)	<b>N2</b> -4,52 $\pm$ (1,95) (-4,16)	<b>N2</b> -3,96 $\pm$ (1,57) (-3,78)	<b>N2</b> -4,19 $\pm$ (1,93) (-3,4)	<b>N2</b> -3,68 $\pm$ (1,37) (-3,76)

Tab. 4.4.1.: Mittlere Latenzen und Amplituden der kortikalen Potentialkomponenten P1, N1, P2 und N2 bei auffälligen Kindern (N=20) und unauffälligen Kindern (N=62) auf Standardreize OS 200 ms und OS 80 ms.

	Differenzkurven Reiz 1 Mittelwerte $\pm$ (STD) (Median)		Differenzkurven Reiz 2 Mittelwerte $\pm$ (STD) (Median)	
	Auffällige Kinder	Unauffällige Kinder	Auffällige Kinder	Unauffällige Kinder
<b>Latenz MMN I (ms) (120 – 220 ms)</b>	125,58 $\pm$ (48,33) (117)	153,98 $\pm$ (53,47) (147)	159,12 $\pm$ (54,94) (121)	150,11 $\pm$ 57,65 (154)
<b>Amplitude MMN I (<math>\mu</math>V)</b>	-2,98 $\pm$ (1,31) (-3,04)	-2,43 $\pm$ (1,31) (-2,26)	-3,00 $\pm$ (1,32) (-2,95)	-2,59 $\pm$ (1,29) (-2,32)
<b>Latenz Positivierung (ms)</b>	243,7 $\pm$ (57,59) (260,50)	233,75 $\pm$ (55,63) (238)	232,78 $\pm$ (68,15) (260)	241,50 $\pm$ (62,56) (244)
<b>Amplitude Positivierung (<math>\mu</math>V)</b>	2,39 $\pm$ (1,22) (2,30)	2,23 $\pm$ (1,3) (2,25)	1,57 $\pm$ (1,08) (1,38)	1,98 $\pm$ (1,10) (1,99)
<b>Latenz MMN II (ms) (220 – 400 ms)</b>	338,11 $\pm$ (45,77) (349)	312,79 $\pm$ (46,45) (314)	314,59 $\pm$ (48,77) (324)	308,65 $\pm$ (52,33) (315)
<b>Amplitude MMN II (<math>\mu</math>V)</b>	-2,22 $\pm$ (0,93) (-2,02)	-2,32 $\pm$ (1,19) (-2,29)	-2,59 $\pm$ (0,91) (-2,57)	-2,5 $\pm$ (0,99) (-2,33)

Tab. 4.4.2.: Mittlere Latenzen und Amplituden der MMN I und MMN II und der Positivierung der Differenzkurve der kortikalen Antwort auf beide Reize bei den auffälligen Kindern (N=20) und den unauffälligen Studienkindern (N=62).

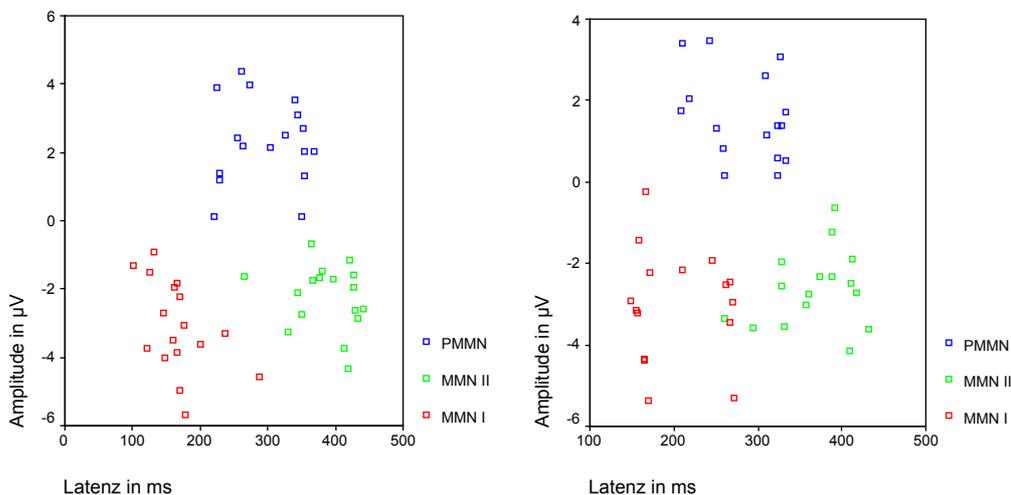


Abb. 4.4.1.: Auswertung der Differenzkurven der individuellen kortikalen Potentialantworten auf Reiz 1 (links) und Reiz 2 (rechts) bei den Kindern mit LRS u./o. AVWS.

Differenzkurve Reizpaar 1		Differenzkurve Reizpaar 2	
<b>MMN I</b>		keine	<b>MMN I</b>
95% (19)		5%	keine
signifikant	nicht signifikant	(1)	85% (17)
52,6% (10)	47,4% (9)		15%
			signifikant
			nicht signifikant
			(3)
			52,9% (9)
			47,1%(8)
<b>Positivierung</b>		keine	<b>Positivierung</b>
100% (20)		0%	keine
Signifikant	nicht signifikant		90% (18)
40% (8)	60% (12)		10%
			signifikant
			nicht signifikant
			(2)
			16,7%(3)
			83,3%(15)
<b>MMN II</b>		keine	<b>MMN II</b>
90% (18)		10%	keine
signifikant	nicht signifikant	(2)	85% (17)
27,8% (5)	72,2% (13)		15%
			signifikant
			nicht signifikant
			(3)
			41,2% (7)
			58,8% (10)

Tab. 4.4.3.: Anteil der Nachweisbarkeitshäufigkeit und Signifikanz von MMN I, MMN II und Positivierung auf Reiz 1 und Reiz 2 bei den auffälligen Kindern in Prozent (Anzahl der Personen in Klammern bei gesamt N=20).

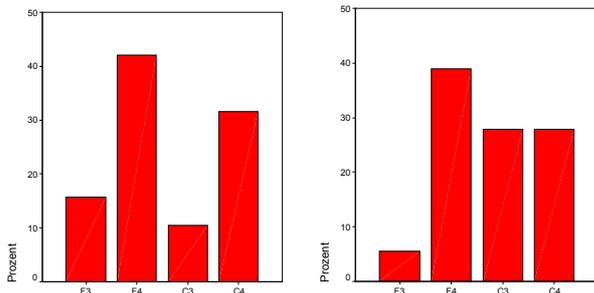
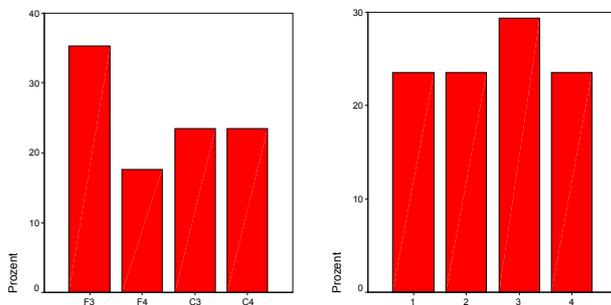


Abb. 4.4.2.: Prozentuale Verteilung der Elektrodenposition mit der maximalen Amplitude der MMN I (jeweils links) und MMN II (jeweils rechts) auf Reiz 1 (oben) und Reiz 2 (unten) bei den Kindern mit LRS u./o. AVWS.



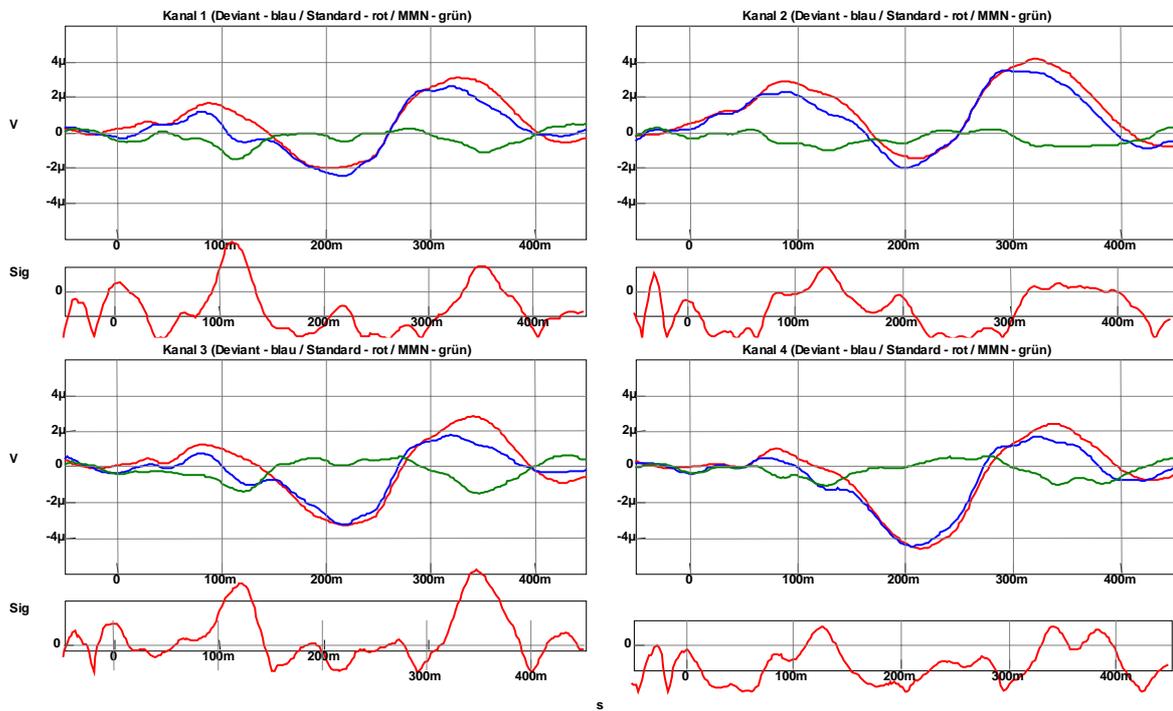
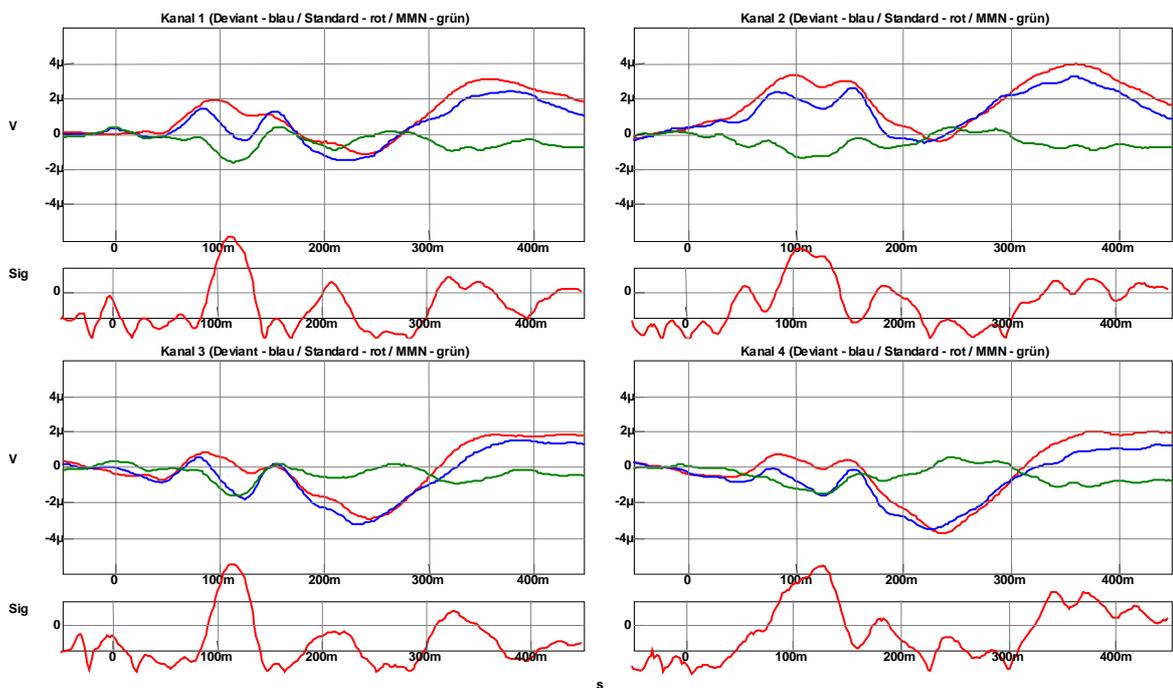


Abb 4.4.3.: Gemittelte Differenzkurven der kortikalen Potentialantwort (Grand Average) bei den Kindern (N=20) mit LRS u./o. AVWS auf Reiz 1 (oben) und Reiz 2 (unten). Standardantwort = rot, Deviantantwort = blau, Differenzkurve = grün.



## **Danksagung**

Mein Dank gilt an erster Stelle Herrn Prof. Gross für die Betreuung dieser Dissertation und seine ständige Motivation. Ich danke Dr. Nubel für seine Anregungen und konstruktive Kritik sowie seine Zeit und Geduld. Er war stets offen für alle inhaltlichen und organisatorischen Fragen. Frau Dr. Wohlleben war eine große fachliche Hilfe bei vielen Fragestellungen, ich danke ihr für ihre große Hilfsbereitschaft. Ich danke allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Klinik für Audiologie und Phoniatrie für ihre Unterstützung während der Datenerhebung. Mein besonderer Dank gilt den Kindern und ihren Eltern, die sich an der Untersuchung beteiligt haben sowie den erwachsenen Probanden. Ich danke meinem Ehemann Jens für seine Motivation, Geduld und Hilfsbereitschaft. Meinen Eltern danke ich, dass sie mich begleitet und immer unterstützt haben.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Anja Lilge



**Erklärung**

Ich, Anja Lilge, erkläre an Eides statt, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema „Ist eine objektive Darstellung der Ordnungsschwelle mittels Mismatch Negativity möglich?“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.