

---

## **5 Diskussion zu den Ergebnissen der EKP- und MM-Antworten**

### **5.1 Diskussion zu den Ergebnissen der kortikalen Potenzialantworten**

In den gemittelten Standardantworten beider Bedingungen (kurzer und langer Pausenabstand) dominierte bei den 13 Monate alten Kindern eine Positivierung bei ca. 165 ms, die als Antwort auf die erste Silbe des Doppelreizes anzusehen ist. Auf die zweite Silbe des Doppelreizes konnte auf die Bedingung mit langer Pause ein weiterer positiver Gipfel bei ca. 400 ms verzeichnet werden. Ebenso ergeben sich ein negativer Gipfel bei ca. 400 ms in der Bedingung mit kurzer Pause und wiederum zwei negative Gipfel bei ca. 300 ms und 500 ms innerhalb der Bedingung mit langer Pause. Die Wiederholungsmessung nach 5 Monaten wies ein ähnliches Ergebnis auf. Da die Positivierung als erste Reaktion auf die dargebotene Doppelsilben gilt ist sie von besonderem Interesse.

Ähnliche Ergebnissen erhielten auch andere Forschungsgruppen wie z.B. Barnet et al. (1975), Ohlrich et al. (1978), Kurtzberg et al. (1986), Novak et al. (1989) und Kushnerenko et al. (2002). Sie beobachteten eine dominierende Positivierung, der ein negativer Gipfel folgt.

Zunächst werden der zeitliche Zusammenhang zwischen dem Doppelreiz und der kortikalen Potenzialantwort und der Einfluss der zeitlichen Struktur dargestellt. Durch die Berechnung des Abstandes der kortikalen Antwort nach Reizpräsentation ist deutlich, dass die Gipfel der Positivierungen (P1, P2) innerhalb beider Bedingungen ca. 60 ms bzw. 55 ms nach dem Ende der jeweiligen Silbe auftreten. Die negativen Ausschläge folgen nach weiteren 150 ms bzw. 120 ms. Innerhalb der Bedingung mit ergab sich jeweils nur eine positive und eine negative Potenzialantwort. Möglicherweise kommt durch den kürzeren Pausenabstand nicht zur vollständigen Ausbildung des EKP. Die hier bezeichnete N1 könnte somit der N2 in der Bedingung mit langer Pause entsprechen und somit zur Antwort des zweiten Teils der Doppelsilbe gehören.

Der Einfluss der unterschiedlichen Pausenlänge (/da/50ms/da/ sowie /da/150ms/da/) auf die Verarbeitung der Doppelsilben soll im Folgenden erläutert werden.

Die erste Silbe des Doppelreizes wird innerhalb beider Bedingungen gleich präsentiert und so auch verarbeitet. Die Antwort auf die erste Silbe (P1) ist deutlich sichtbar. Eine Berechnung der Zwischensubjekteffekte ergab für die P1 der Bedingung mit kurzer und langer Pause ähnliche Ausprägungen für beide Alterklassen (13 Monate, Latenz:  $F=1,72$ ,  $p=0,193$ ; Ampli-

tude:  $F=0,89$ ,  $p=0,766$  und 18 Monate, Latenz:  $F=0,855$ ,  $p=0,357$ ; Amplitude:  $F=0,254$ ,  $p=0,616$ ). Der zweite Teil der Doppelsilbe wird jedoch in jeder der Bedingungen unterschiedlich verarbeitet. Eine Erklärung hierfür ist durch ein Abspielen des Reizes innerhalb der absoluten Refraktärzeit (Zeit in der keine weitere Erregung ausgelöst werden kann; Thews und Vaupel, 1997) gegeben. Hierbei kann durch eine Reizpräsentation während der Verarbeitung der ersten Silbe eine Antwort auf die zweite Silbe des Doppelreizes in den kortikalen Potenzialantworten nicht vollständig ausgeprägt werden. Der Maskierungseffekt ist anzunehmen.

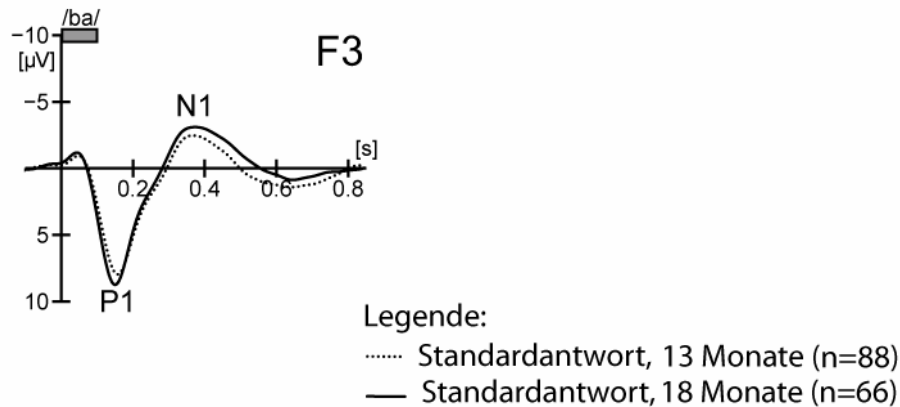
Die Ausprägung der zweiten Positivierung (P2) der Bedingung mit langer Pause ist trotz eines längeren ISI ebenfalls geringer. Mittels eines T-Tests wurden die mittleren Amplituden der P1 und P2 der Bedingung mit langer Pause miteinander verglichen. Hierbei konnte ein signifikanter Unterschied von ( $F=153,79$ ,  $p=0,00$  bzw.  $F=146,55$ ,  $p=0,00$ ) in beiden Altersklassen verzeichnet werden. Dies veranschaulicht die unterschiedliche Verarbeitung der zweiten Silbe. Demnach hat auch hier die Pausenlänge einen Einfluss auf den Verarbeitungsprozess. Der Einfluss einer relativen Refraktärzeit (Thews und Vaupel, 1997) ist anzunehmen.

Um die Frage der unterschiedlichen Ausprägung der EKP in der Bedingung mit kurzer und langer Pause zu beantworten, wurden die Potenzialantworten miteinander verglichen. Der durchgeführte T-Test betrachtete die zeitlichen Verhältnisse zwischen P2 und N1 und den 100 ms, um die die Pause innerhalb der Bedingung der langen Pause verlängert ist. Damit wurde geprüft, ob die Latenzzeit der N1 in der Bedingung mit kurzer Pause an ähnlicher Stelle auftritt wie die P2 in der Bedingung mit langer Pause. Aus den Berechnungen ergab sich, dass kein signifikanter Unterschied zu erwarten ist ( $T=-0,61$ ,  $p=0,543$  bzw.  $T=-0,75$ ,  $p=0,454$ ). Dies würde der Theorie entsprechen, dass die N1 und die P2 in der Bedingung mit kurzer Pause zeitgleich auftreten und somit nicht zur Darstellung kommen. Erst die N2 als Antwort auf den zweiten Teil der Doppelsilbe ist im EKP zu sehen.

In der Arbeit von Ziem (2005) wurde eine einzelne Silbe als Reiz verwendet, die in ihrem Aufbau der ersten Silbe der Doppelsilbe gleicht. Das Interstimulusintervall zur zweiten Silbe beträgt 750 ms und ist somit deutlich länger als der Intrastimulusabstand der in dieser Arbeit verwendeten Reize. Im nachfolgenden Text soll darauf näher eingegangen werden.

In Abbildung 21 ist eine deutliche Positivierung und eine Negativierung als EKP erkennbar. Die Amplituden sind hier stärker ausgebildet, als in den EKP auf die Doppelsilben. Eine Positivierung tritt mit einer Latenz von 163,45 ms ( $\pm$  STD 19,72 ms) und eine Negativierung bei 387,36 ms ( $\pm$  STD 46,45 ms) nach dem Ende der Silbe auf. Die Amplitude der Positivie-

ung beträgt  $8,76 \mu\text{V}$  ( $\pm \text{STD } 3,30 \mu\text{V}$ ) und der Negativierung  $-3,46 \mu\text{V}$  ( $\pm \text{STD } 2,45 \mu\text{V}$ ). Das in der Arbeit von Ziem (2005) verwendete Interstimulusintervall ist für eine korrekte Verarbeitung des Reizes anscheinend ausreichend.

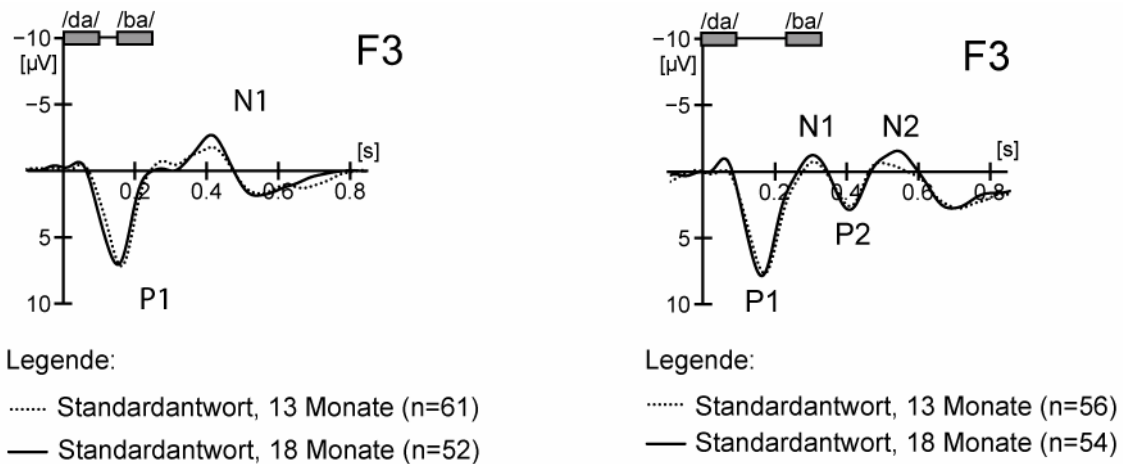


**Abbildung 21: Gemittelte Standardantworten auf die Silbe /ba/ bei 88 Kindern im Alter von 13 Monaten und 66 Kindern im Alter von 18 Monaten**

In dieser Arbeit ist eine unterschiedliche Amplitudenausprägung zwischen den 13 und 18 Monate alten Kindern als Ausdruck von umfangreichen reifungsbedingten Veränderungen des kindlichen Gehirns zu interpretieren. Diese beinhaltet hauptsächlich die Myelinisierung, woraus eine Zunahme der Nervenleitgeschwindigkeit resultiert (Barnet et al., 1975; Huttenlocher et al. 1982; Eggermont 1985, 1988, 1992). Diese Entwicklung spiegelt sich in einem früheren Auftreten der kortikalen Potenzialantworten wider. In Abbildung 22 sind diese Veränderungen gegenübergestellt.

Eine deutliche Entwicklung der Latenzzeit ist die Folge, die Kinder im Alter von 18 Monaten sind in der Lage eine Silbe schneller zu verarbeiten. Mittels eines T-Tests ergab sich ein signifikanter Unterschied an der P1 innerhalb beider Bedingungen ( $F=4,94$ ,  $p=0,028$  bzw.  $F=8,06$ ,  $p=0,05$ ) zwischen den 13 und 18 Monate alten Kindern.

Bei der Betrachtung der Amplitude findet mit zunehmendem Alter ebenfalls eine Veränderung statt. Mittels einer univariaten Varianzanalyse wurden die mittleren Amplituden der 13 und 18 Monate alten Kinder miteinander verglichen. Innerhalb beider Bedingungen sind die Amplituden ähnlich zueinander ( $F=0,009$ ,  $p=0,926$  bzw.  $F=0,79$ ,  $p=0,075$ ). Tendenzen für eine Amplitudenvergrößerung mit zunehmendem Alter sind in den Mittelwertberechnungen und Abbildungen jedoch ersichtlich.

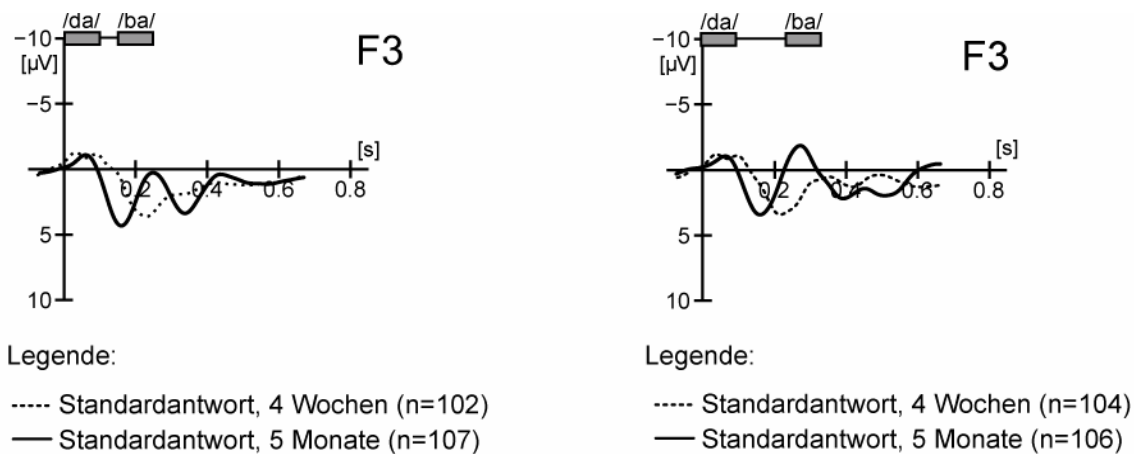


**Abbildung 22: Gemittelte Standardantworten der Bedingung mit kurzer (links) und langer Pause (rechts) im Vergleich zwischen den Altersklassen (unterbrochene Linie 13 Monate, durchgezogene 18 Monate)**

Eine Amplitudenzunahme und Latenzabnahme ist auch in den Arbeiten von Barnet et al. (1975), Ohlrich et al. (1978), Kurtzberg et al. (1986), Shucard et al. (1987), Vaughan et al. (1992) und Kushnerenko et al. (2002) beschrieben. Diese Entwicklung kann als Hinweis auf eine Veränderung der involvierten Neuronen und aktivierten Synapsen gewertet werden (u.a. Vaughan et al., 1992). Diese Interpretation wäre aufgrund des zeitlichen Abstandes zwischen den Messungen auch in dieser Arbeit möglich.

Morphologische Veränderungen der kortikalen Potentialantworten werden ebenfalls deutlich. Die Amplituden sind wesentlich differenzierter ausgebildet, als noch bei den jüngeren Kindern. Ein Reifungsprozess des kindlichen Gehirns, wie er bereits oben beschrieben wurde, kann angenommen werden. Besonders die erste Positivierung ist sehr prominent.

### Darstellung der Unterschiede zu 4 Wochen und 5 Monate alten Kindern



**Abbildung 23: Gemittelte Standardantworten der 4 Wochen und 5 Monate alten Kindern innerhalb der Bedingung mit kurzer (links) und langer Pause (rechts)**

Vergleichend sollen die im Alter von 4 Wochen und 5 Monaten untersuchten Kinder mit dem beschriebenen Studienkollektiv verglichen werden. Da auch nach dem Abschluss der Arbeit von Hahnemann (2005) Kinder abgeleitet wurden, konnten weitere Ergebnisse in diese Auswertung einfließen. Sowohl wache als auch schlafende Kinder werden betrachtet, da die Ausprägung der CAEP unabhängig von der Vigilanz ist (Hahnemann, 2005). Demnach werden 102 (kurze Pause) bzw. 104 (lange Pause) 4 Wochen alte Kinder und 107 (kurze Pause) bzw. 106 (lange Pause) 5 Monate alte Kinder betrachtet.

Den größten Entwicklungsschritt scheinen die Kinder zwischen der 4. Lebenswoche und dem 5. Lebensmonat durchzumachen. Während im Alter von 4 Wochen der Amplitudenverlauf nur angedeutet ist, bildet sich bereits bei 5 Monate alten Kindern eine deutliche Positivierung mit nachfolgender Negativierung heraus. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch innerhalb der Bedingung mit langer Pause.

Es ergeben sich Positivierungen bei 290 ms bzw. 280 ms für die 4 Wochen alten Kinder. Nach weiteren 4 Monaten wurde eine Latenzabnahme von 100 ms (Amplituden-Gipfel bei 190 ms bzw. 200 ms) nachgewiesen. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgeführt. Eine univariate Varianzanalyse ergab signifikante Unterschiede in Bezug auf Amplitude und Latenz zwischen den 4 Wochen und 5 Monate alten Kindern. Siehe Tabelle 27 und Tabelle 28 im Anhang.

**Tabelle 10: Mittelwerte ( $\pm$ STD) für Amplituden der CAEP auf Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause bei 4 Wochen bis 18 Monate alten Kindern. Innerhalb der Bedingung mit kurzer Pause finden sich keine zwei Positivierungen (P2) bzw. Negativierungen (N2). Innerhalb der Bedingung mit langer Pause ergeben sich erst im Alter von 13 Monaten signifikante Amplitudenausschläge auf die zweite Silbe**

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)			
		Amplitude in $\mu$ V				Amplitude in $\mu$ V			
F3		4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate
	P1	3,99 (2,18)	5,70 (4,23)	7,71 (2,99)	7,75 (2,60)	3,71 (1,89)	5,00 (4,09)	7,87 (3,08)	8,03 (3,06)
	N1		-1,27 (3,42)	-2,98 (2,25)	-3,40 (2,14)	-0,10 (1,79)	-3,61 (3,05)	-1,89 (2,63)	-2,26 (2,14)
	P2							3,24 (1,86)	3,35 (2,25)
	N2							-2,15 (1,55)	-2,60 (1,65)

**Tabelle 11: Mittelwerte ( $\pm$ STD) für Latenzen der CAEP auf Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause bei 4 Wochen bis 18 Monate alten Kindern. Innerhalb der Bedingung mit kurzer Pause finden sich keine zwei Positivierungen (P2) bzw. Negativierungen (N2). Innerhalb der Bedingung mit langer Pause ergeben sich erst im Alter von 13 Monaten signifikante Amplitudenausschläge auf die zweite Silbe**

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)			
		Latenz in ms				Latenz in ms			
F3		4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate
	P1	292,08 (32,69)	193,58 (41,27)	166,03 (10,60)	158,50 (24,03)	280,19 (30,04)	198,08 (48,25)	163,00 (14,30)	154,81 (15,91)
	N1		363,58 (69,27)	395,61 (55,19)	399,80 (46,80)	432,28 (44,04)	331,31 (47,93)	299,80 (33,81)	300,52 (43,25)
	P2							396,00 (37,86)	395,20 (29,76)
	N2							517,00 (52,70)	522,70 (39,45)

Im Vergleich zu der in dieser Arbeit betrachteten Kindern gegenüber den 5 Monate alten Kindern zeigt sich eine weitere Latenzabnahme von ca. 40 ms. Abbildung 23 veranschaulicht die ereigniskorrelierten Potenziale der 4 Wochen und 5 Monate alte Kinder. Die Hypothese, dass sich eine Latenzabnahme und Amplitudenzunahme im Alter von einem Jahr herausbildet, wird bestätigt.

Bezüglich der Amplitude zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den 5 und 13 Monate alten Kindern (Tabelle 10). Die neuronale Entwicklung in dieser Zeit scheint sehr stark ausgeprägt zu sein. Eine solche Amplitudenzunahme ist auch in den Arbeiten von Barnett et al. (1975), Ohlrich et al. (1978), Kurtzberg et al. (1986), Shucard et al. (1987), Vaughan et al. (1992) und Kushnerenko et al. (2002) beschrieben. Wesentlich geringere Unterschiede sind zwischen den 13 und 18 Monate alten Kindern zu finden.

### Darstellung der Unterschiede zur Erwachsenen-Messung

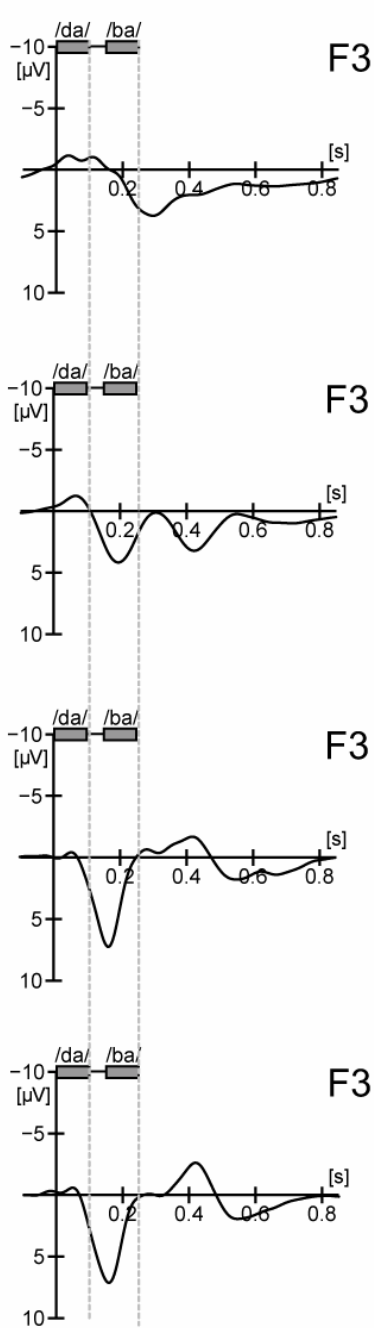
Die anfangs aufgestellte Hypothese, dass es wesentliche Unterschiede zwischen den 13 und 18 Monate alten Kindern und der Erwachsenen-Kontrollgruppe gibt, bestätigte sich. Im Gegensatz zu den Kindern stellen sich ein ausgeprägter N1-P2-Komplex und zwei Amplituden als Antwort auf die erste und zweite Silbe der Doppelsilbe dar. Bisher ist nicht eindeutig geklärt, welche Komponente der im vorherigen Abschnitt beschriebenen EKP der Kinder denen der erwachsenen Kontrollgruppe entspricht. Sie sind in ihrer Ausprägung wesentlich differenzierter als die ereigniskorrelierten Potenziale der Kinder. Die Latenzzeiten der erwachsenen Probanden sind deutlich kürzer, die Amplituden in ihrer Morphologie differenzierter als die der betrachteten Kinder. Die zeitlichen Zusammenhänge sprechen dafür, dass die bei den Kindern beschriebene Positivierung (P1) der Vorläufer der erwachsenen P2 darstellt. Ist das der Fall, so muss sich im weiteren Verlauf eine Verringerung der Amplitude sowie der Latenzzeit herausbilden. Anhand der Vergleiche der hier betrachteten Altersklassen ist diese Entwicklung zu sehen.

**Tabelle 12: Darstellung der longitudinalen Studienergebnisse an der F3 von 4 Wochen bis 18 Monate. Es wurde die Positivierung betrachtet, da diese innerhalb aller Alterstufen vorhanden ist**

Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)			
	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate
Amplitude in $\mu$ V, P1	4,11 (2,62)	5,52 (4,08)	6,15 (2,11)	7,55 (2,54)	3,64 (1,50)	6,41 (3,26)	7,27 (2,98)	7,66 (3,33)
Amplitude in $\mu$ V, P2					1,92 (4,51)	5,77 (3,93)	3,09 (1,44)	4,08 (2,97)
Latenz in ms, P1	289,14 (26,78)	184,86 (48,59)	166,8 (12,79)	166,8 (25,9)	288,47 (30,06)	201,18 (49,90)	166,35 (33,05)	163,53 (35,91)
Latenz in ms, P2					518,12 (46,52)	455,48 (61,6)	399,75 (38,46)	418,12 (42,81)

Doppelsilben mit kurzem  
Pausenabstand (/da/50ms/ba/)

Doppelsilben mit langem  
Pausenabstand (/da/150ms/ba/)

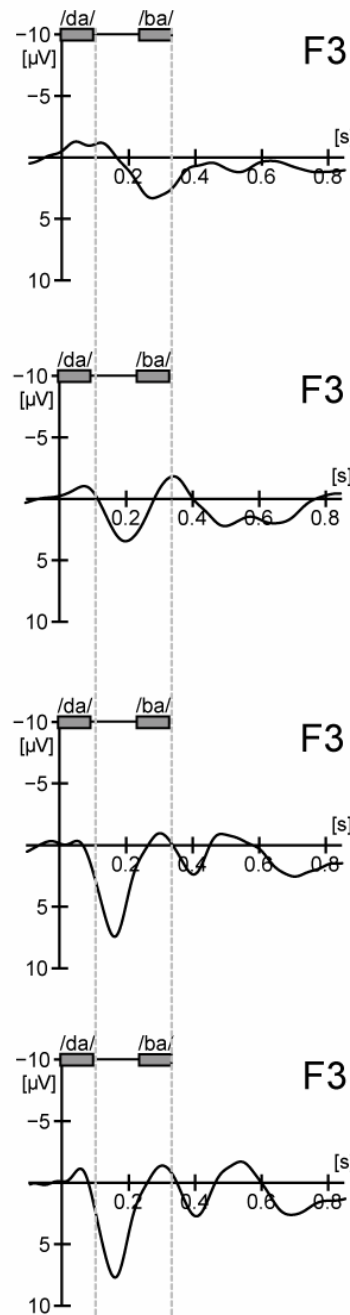


4 Wochen

5 Monate

13 Monate

18 Monate



Legende:

— Standard /da/50ms/ba/

Legende:

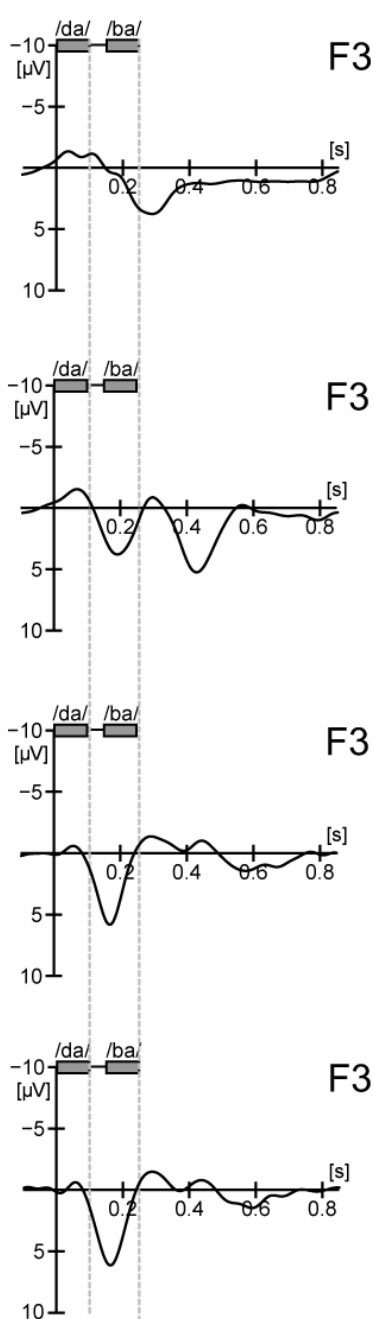
— Standard /da/150ms/ba/

Abbildung 24: Darstellung der Unterschiede der gemittelten Standardantworten zwischen 4 Wochen, 5 Monate, 13 Monate und 18 Monate alten Kindern für die Bedingung mit kurzer und langer Pause



Doppelsilben mit kurzem  
Pausenabstand (/da/50ms/ba/)

Doppelsilben mit langem  
Pausenabstand (/da/150ms/ba/)

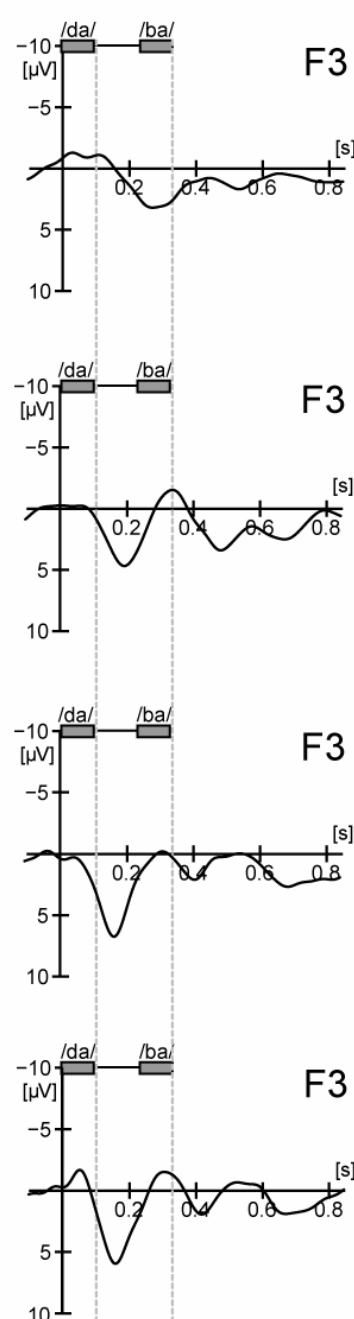


4 Wochen

5 Monate

13 Monate

18 Monate



Legende:

— Standard /da/50ms/ba/ (n=14)

Legende:

— Standard /da/150ms/ba/ (n=17)

Abbildung 25: Darstellung der longitudinalen Studienergebnisse für die Bedingung mit kurzer und langer Pause

Mögliche Gründe für die unterschiedlichen Potenzialantworten sind eine unterschiedliche Schädeldicke und Leitfähigkeit, oder eine geringer ausgeprägte Spezifität der neuronalen Antwort (Neville, 1995).

Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Arbeit von Kushnerenko et al. (2002), die bereits bei Einjährigen eine Potenzialantwort erhält, die der von 3 bis 9 jährigen ähnelt. Dies würde für diese Arbeit bedeuten, dass sich in den weiteren Studien keine größeren Entwicklungsfortschritte zeigen. Allerdings gib es im Vergleich zum Erwachsenen noch sehr große Unterschiede. Weitere Studien sind zur Abklärung nötig. Um auszuschließen das diese Unterschiede durch die unterschiedliche Gruppengrößen bedingt sind, wurde um ausgewogene Gruppen zu schaffen, zusätzlich ein longitudinales Design durchgeführt (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25 sowie Tabelle 25 und Tabelle 26 im Anhang). Die Ergebnisse der 14 bzw. 17 betrachteten Kinder sind mit denen des gesamten Studienkollektiv vergleichbar.

Die Fusionsschwelle (Davis et al., 1980), d.h. der Abstand in dem zwei Töne voneinander unterschieden werden können, nimmt mit zunehmendem Alter ab. Werte wie sie beim Erwachsenen zu finden sind, sind nach Kegel (1996) jedoch erst in einem Alter von ca. 10 Jahren zu erkennen. Diese Entwicklung der raschen Verarbeitung und Unterscheidung schneller Reizfolgen ist eine wichtige Grundvoraussetzung für das Verstehen von Sprache. Der Reifungsprozess wird in dieser Arbeit deutlich, Latenzzeiten nehmen ab und die Amplituden werden größer. Die Verarbeitung wird differenzierter je älter die Kinder werden, allerdings sind die 18 Monate alten Kinder zu einer vollständigen Verarbeitung ebenfalls noch nicht in der Lage und ein Amplitudenverlauf, wie er beim Erwachsenen erzeugt werden kann, wird nicht erreicht.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse der Mismatchantworten**

Die Ergebnisse der mit 13 und 18 Monaten untersuchten Kinder zeigen entsprechend der Arbeitshypothese, dass akustische Merkmale, die innerhalb eines komplexen Reizes einem schnellen zeitlichen Wechsel unterliegen, diskriminiert werden können. Mittels der ereigniskorrelierten Potenziale und deren Teilkomponente MMN bzw. MMP können diese vorbewussten automatischen Diskriminationsprozesse dargestellt werden. Entsprechend der großen Fallzahlen innerhalb der einzelnen Gruppen kann das vorliegende Ergebnis als stabil angesehen werden. So kann innerhalb beider Bedingungen (/da/50ms/ba/ bzw. /da/150ms/ba/) eine

Mismatch-Antwort hervorgerufen werden. Das zeigt, dass das Reizmaterial in diesem Versuch korrekt ausgewählt wurde.

In dieser Arbeit ergibt sich eine stärkere Positivierung für die Deviantantwort als für die Standardantwort (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16 sowie Abbildung 18 und Abbildung 19), woraus eine Mismatch Positivierung (MMP) resultiert. Standard- und Deviantantwort erweisen sich in der statistischen Analyse als signifikant unterschiedlich (siehe Tabelle 31 im Anhang). Die positive Auslenkung (MMP) findet sich bei ca. 400 ms bzw. 510 ms, eine angedeutete Negativierung folgt bei ca. 560 ms bzw. 700 ms. Da die Positivierung gleichzeitig mit dem bedeutungswirksamen Wechsel der EKP auftritt, ist davon auszugehen, dass sie eine Diskriminationsleistung darstellt. Die MMP ist so mit der Diskriminationsantwort der Erwachsenen (MMN) vergleichbar, die ebenfalls mit dem EKP des Deviantreizes auftritt. Bei der nachfolgenden Negativierung der 13 bzw. 18 Monate alten Kinder ist nicht von einem Diskriminationseffekt auszugehen, da diese erst ca. 410 bzw. 450 ms nach change onset auftritt und somit nicht dem in der Literatur beschriebenen zeitlichen Auftreten der Mismatch Negativity (ca. 100–250 ms) entspricht. Im Folgenden soll die MMP als eine Diskriminationsleistung des kindlichen Gehirns diskutiert werden.

Bereits in früheren Studien finden sich Hinweise für eine positive Mismatch-Antwort in den gemittelten Differenzkurven (Ahlo et al., 1990a; Leppänen et al., 1997; Morr et al., 2002; Trainor et al., 2001; und Kushnerenko et al., 2002a). Ursachen für die Ausbildung eines positiven Gipfels sind jedoch nicht eindeutig geklärt. Unterschiedliche Erklärungsansätze gehen von der Unreife der MMN-Generatoren (Morr et al., 2002), von Aufmerksamkeitsabhängigkeit (Trainor et al., 2001 und Kushnerenko et al., 2002a), (Leppänen et al., 1997) oder von Diskriminationsleistungen (Pihko et al., 1999; Leppänen et al., 1999) aus.

Pihko et al. (1999) und Leppänen et al. (1997) führten die erhaltene Positivierung auf eine mögliche Aktivierung neuer nicht refraktär gewordener afferenter Neuronenpopulationen zurück. In weiteren Studien zeigte sich, dass bei der Präsentation des Deviantreizes innerhalb einer Sequenz von Standardreizen eine stark ausgebildete Positivierung abgeleitet werden kann. Dieses Ergebnis spricht für die Ausprägung einer positiven Diskriminationsleistung.

Gegen eine Unreife der MM-Generatoren (Morr et al., 2002), wodurch die Unfähigkeit zur Diskrimination bestünde, spricht die Tatsache der von Olsho et al. (1987) nachgewiesenen Fähigkeit der Diskrimination bei 6 Monate alten Kindern. Innerhalb dieser Studie kann eine Unfähigkeit zur Diskrimination ebenfalls nicht bestätigt werden.

Trainor et al. (2001) und Kushnerenko et al. (2002) wiesen bei Säuglingen neben einer MMN zusätzlich eine MMP nach. Sie vermuteten einen Zusammenhang mit der P3a des Erwachsenen, die eine Aufmerksamkeitslenkung widerspiegelt. Die in dieser Studie gemessenen Erwachsenen weisen diesen Gipfel jedoch nicht auf, was gegen diese Theorie spricht. Auch Morr et al. (2002) hielten es für möglich, dass beide Komponenten (MMP und MMN) zur gleichen Zeit präsentiert werden. Eine MMN würde dementsprechend nur sichtbar werden, wenn sie eine größere Amplitude verursacht. Sie gingen davon aus, dass der Stimuluskontrast sowie die –qualität einen großen Einfluss auf die Ausbildung einer MMN haben. Um eine mögliche Auslöschung der Kurven innerhalb des Studienkollektivs auszuschließen und somit eine vorhandene MMN zu verdecken, wurden in dieser Arbeit Kinder die eine Negativierung von  $<-1\mu\text{V}$  innerhalb derselben Zeitfenster aufwiesen, herausgearbeitet. Hierfür wurde ein Streudiagramm angefertigt, indem die Gipfelpunkte der einzelnen Kinder aufgetragen sind (siehe Abbildung 17 und Abbildung 20). Es wird deutlich, dass die Mismatch-Antwort individuell sehr variiert. Die Mehrzahl der Kinder bildet eine positive Mismatch-Antwort aus. Eine Überlagerung der MMP wird ausgeschlossen. Die berechneten Standardabweichungen bestätigen dies.

Andere Arbeitsgruppen konnten ebenfalls nicht bei allen untersuchten Kindern eine MMN hervorrufen. Alho et al. (1990) fanden bei 75%, Kurtzberg et al. (1995) bei 57% bzw. 75%, Leppänen et al. (1997) bei 50%, Cheour et al. (1995) bei 70–75%, Kushnerenko et al. (2002a) bei 75% der Kinder eine MMN im ersten Lebensjahr. Diese individuellen Unterschiede beweisen die Instabilität der Auslösbarkeit der Mismatch-Antwort bei Kindern im Gegensatz zu Erwachsenen.

Wie schon in der Arbeitshypothese vermutet wurde, hat die zeitliche Struktur eines Reizes große Bedeutung für die Prozesse der Verarbeitung akustischer Ereignisse. Auf diesen Unterschied soll im Folgenden näher eingegangen werden.

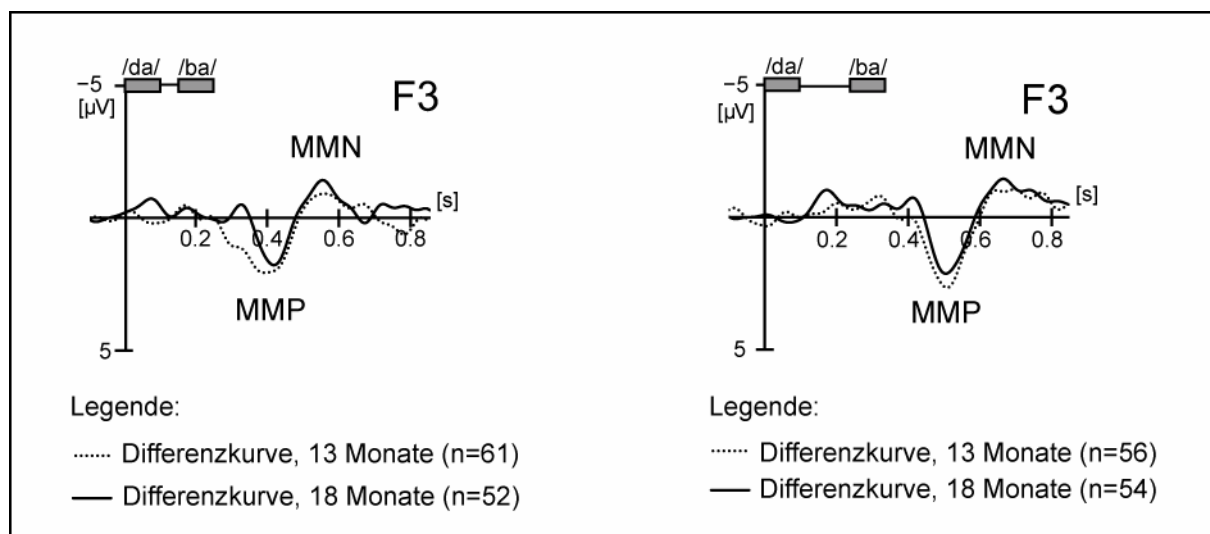
Die Doppelsilben können sowohl in der Bedingung mit kurzer als auch in der Bedingung mit langer Pause diskriminiert werden. Die Auswertung der kortikalen Potenzialantworten ergibt innerhalb beider Altersstufen, dass sich zwei schnell aufeinander folgende Reize in ihrer Verarbeitung beeinflussen. Erklärt wurden die unterschiedlichen EKP mit dem sog. Maskierungseffekt. In Bezug auf die MM-Amplituden ergeben sich bei den 13 bzw. 18 Monate alten Kindern keine relevanten Unterschiede ( $F=0,003$ ,  $p=0,96$  bzw.  $F=0,00$ ,  $p=0,99$ ) zwischen der Bedingung mit kurzer und der Bedingung mit langer Pause. Demnach hat die Pau-

senlänge der Doppelsilben auf die Größe der MM-Amplituden keinen Einfluss. Hochsignifikant unterschiedliche Werte ergeben sich allerdings bei der Betrachtung der Latenzzeiten ( $F=154,45$ ,  $p=0,00$  bzw.  $F=138,91$ ,  $p=0,00$ ). Dieses Ergebnis war bei der Verwendung unterschiedlicher Pausenlängen (/da/ 50ms bzw. 150ms /ba/) erwartet worden. Die Diskriminationssantwort spiegelt den um 100 ms verlängerten Pausenabstand wider.

Bei der Betrachtung der Ausprägung der Amplituden und Latenzen wird ersichtlich, dass diese entwicklungsstabil sind. Es stellte sich eine geringe Latenzzunahme und Amplitudenabnahme heraus. Dies bestätigt die zu Beginn aufgestellte Hypothese, dass die MM-Antwort im Gegensatz zu den EKP entwicklungsstabil ist. Mittels einer multivariaten Varianzanalyse ergeben sich zwischen den 13 und 18 Monate alten Kindern keine signifikanten Entwicklungsschritte in Bezug auf die Amplituden- und Latenzausprägung. Allerdings wird mittels deskriptiver Statistiken ein leichter Unterschied in den einzelnen Kurvenverläufen sichtbar (siehe Tabelle 22 im Anhang). Abbildung 26 stellt die Entwicklung der MM-Antwort bei den 13 und 18 Monate alten Kindern noch einmal gegenüber. Zur besseren Darstellung wurde die Achsenbeschriftung auf 5  $\mu$ V geändert.

Im Vergleich der 13 zu den 18 Monate alten Kindern zeigt sich, dass mit zunehmendem Alter die Amplitudenhöhe wieder abnimmt (Cheour et al., 2001). Innerhalb dieser Arbeit erwies sich der Unterschied jedoch nicht als signifikant. Eine Abnahme der Amplitudenhöhe beschrieben auch Kurtzberg et al. (1995) (siehe hierzu auch Kapitel 1.5.4). Neville (1995) führte diese Unterschiede auf die unterschiedliche Leitfähigkeit und die Dicke des Schädels zurück.

Die in verschiedenen Studien beschriebene Verkürzung der Latenzzeit mit zunehmendem Alter (siehe Shafer et al., 2002) ist in dieser Arbeit für die Bedingung mit kurzer und langer Pause nicht ausgeprägt. Es ist sogar eine geringe Verlängerung der Latenz zu erkennen. Möglicherweise ist das Ergebnis auf die intraindividuellen Unterschiede der Kinder und das Mitteln der Werte zurückzuführen. Die leicht unterschiedlichen Gruppengrößen können ebenfalls eine Einflussfaktor darstellen. Im Streudiagramm (Abbildung 17 und Abbildung 20) sind diese individuellen Unterschiede ersichtlich.



**Abbildung 26: Gemittelte Differenzkurven von Kindern im Alter von 13 und 18 Monaten für die Bedingung mit kurzer Pause (links) und langer Pause (rechts)**

**Tabelle 13: Auftreten der Mismatch-Antwort nach change-onset, d.h. nach dem bedeutungsvollen Wechsel im Stimulus für die Bedingung mit kurzer und langer Pause**

Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause bei 13/18 Monate alten Kindern	Doppelsilben mit langer Pause bei 13/18 Monate alten Kindern
MMP	234,8 ms	256,2 ms
	253,5 ms	270,9 ms
MMN	408,6 ms	452,6 ms
	410,5 ms	449,8 ms

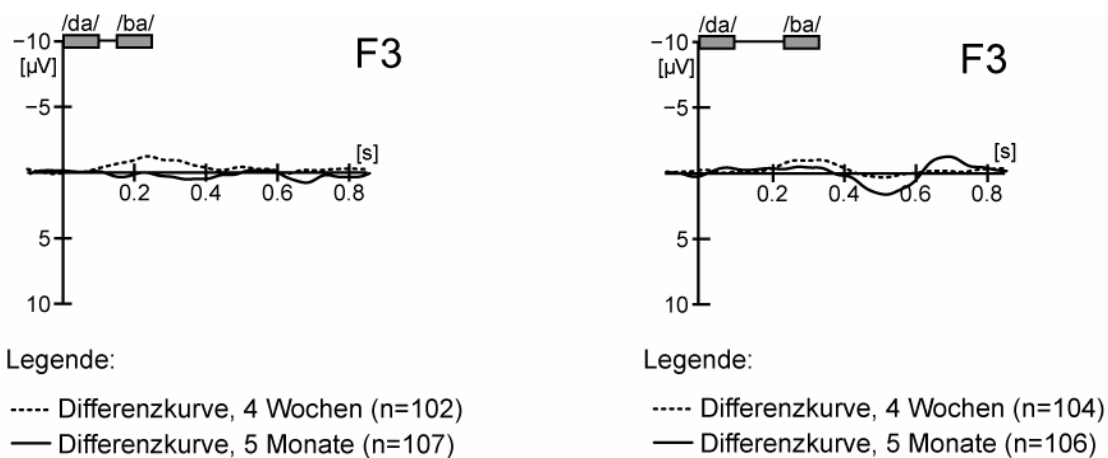
### Darstellung der Unterschiede zu 4 Wochen und 5 Monate alten Kindern

Die Beschreibung der Unterschiede der MM-Antworten erfolgt entsprechend den EKP. 102 bzw. 104 (Bedingung mit kurzer bzw. Bedingung mit langer Pause) mit 4 Wochen untersuchte Kinder und 107 bzw. 106 (Bedingung mit kurzer bzw. Bedingung mit langer Pause) mit 5 Monate untersuchte Kinder gehen in die Auswertung ein.

Bei der Betrachtung zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Altersstufen. Während sich für die 4 Wochen alten Kinder keine signifikante Mismatch Antwort darstellt, tritt eine positive Mismatch-Antwort erstmals deutlich bei den 5 Monate alten Kindern (für die Bedingung mit langer Pause) in Erscheinung (Amplitude:  $4,30 \mu\text{V}$ , Latenz: 511,15 ms) und wurde bereits von Hahnemann (2005) beschrieben (siehe Abbildung 28). Standard- und

Deviantantwort können diskriminiert werden. Eine positive Mismatch Antwort ist für die Bedingung mit kurzer Pause erstmals bei den 13 Monate alten Kindern zu finden.

Das Auftreten einer MMP im Alter von 5 Monaten für die Bedingung mit langer Pause spiegelt die Reifungsprozesse des kindlichen Gehirns (Myelinisierung, Synaptogenese, axonales Wachstum) wider. Barnet et al., 1975; Huttenlocher et al. 1982 und Eggermont 1985, 1988, 1992 beschrieben dies als einen durch Myelinisierung hervorgerufenen Entwicklungsschritt, woraus eine Zunahme der Nervenleitgeschwindigkeit resultiert.



**Abbildung 27:** Darstellung der gemittelten Mismatchantworten bei 4 Wochen (gestrichelte Linie) und 5 Monate alten Kindern (durchgezogene Linie) für die Bedingung mit kurzer und langer Pause

Die Latenzzeiten sind wie beim gesamten Studienkollektiv instabil und zeigen wenig Tendenzen für eine Zunahme oder Abnahme (Tabelle 32 und Tabelle 33 für das longitudinale Design sowie Tabelle 34 und Tabelle 35 für das gesamte Studienkollektiv, im Anhang). Für die Bedingung mit langem Pausenabstand ergeben sich geringe Unterschiede bezüglich der MM-Antwort zwischen den einzelnen Altersklassen: von den 5 Monate zu den 13 Monate alten Kindern eine leichte Abnahme der Latenzzeit um ca. 6 ms ( $F=0,44$ ,  $p=0,508$ ) und im Alter von 18 Monaten wieder eine Zunahme um ca. 15 ms ( $F=2,79$ ,  $p=0,098$ ). Die Latenzen sind noch einmal in Tabelle 14 gegenübergestellt. Für die Bedingung mit kurzer Pause nimmt die Latenzzeit von den 13 zu den 18 Monate alten Kindern zu, der Unterschied ist jedoch nicht signifikant.

Die Amplituden nehmen leicht an Höhe zu, danach kommt es jedoch wieder zu einem Abfall (siehe Tabelle 15). Dies entspricht auch anderen Studienergebnissen (siehe Kurtzberg et al., 1995), die eine Abnahme der Amplitudenhöhe Neugeborener zu 8-jährigen Kindern feststellten. Begründet wurde dies mit der Dicke und somit Leitfähigkeit des Schädels. Innerhalb

der Bedingung mit langer Pause gibt es eine erste Amplitude im Alter von 5 Monaten. Der Unterschied ist signifikant mit  $F=7,73$  und  $p=0,00$ . Im Alter von 13 Monaten kommt es zu einem geringen nicht signifikanten Unterschied ( $F=0,52$ ,  $p=0,47$ ). In der Bedingung mit kurzem Pausenabstand fällt die Amplitudenhöhe bei den 18 Monate alten Kindern weiter ab. Der Unterschied zu den 13 Monate alten Kindern ist nicht signifikant ( $F=1,66$ ,  $p=0,20$ ). Bei der Bedingung mit kurzer Pause findet sich wie in der Bedingung mit langer Pause eine leichte Amplitudenabnahme ( $F=1,68$ ,  $p=0,19$ ).

**Tabelle 14: Mittelwerte ( $\pm$ STD) für Latenzen der Mismatchantwort auf Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause bei 4 Wochen bis 18 Monate alten Kindern**

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				
		Latenz in ms				Latenz in ms				
F3		4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	
		MMP			384,80 (60,30)	403,54 (54,15)		511,15 (64,00)	506,21 (44,46)	520,98 (47,82)
		MMN			558,60 (64,75)	560,54 (59,52)		702,58 (63,99)	702,60 (62,82)	699,85 (62,29)

**Tabelle 15: Mittelwerte ( $\pm$ STD) für Amplituden der Mismatchantwort auf Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause bei 4 Wochen bis 18 Monate alten Kindern**

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				
		Amplitude in $\mu$ V				Amplitude in $\mu$ V				
F3		4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	
		MMP			4,17 (3,00)	3,45 (2,70)		4,30 (4,32)	4,14 (3,05)	3,45 (2,44)
		MMN			-3,30 (2,78)	-3,25 (2,68)		-3,83 (5,26)	-3,50 (2,26)	-3,37 (2,34)

Um auszuschließen, dass die Ergebnisse auf die unterschiedlich großen Studienkollektive der einzelnen Altersgruppen zurückzuführen sind, wurden Berechnungen in einem ausgewogenen Gruppenverhältnis mit einem longitudinalem Studiendesign durchgeführt. Tabelle 16 gibt eine Zusammenfassung. Die Ergebnisse der 4 Wochen bis 18 Monate alten Kinder im



longitudinalen Design untersuchten Kinder sind mit denen des gesamten Studienkollektivs vergleichbar.

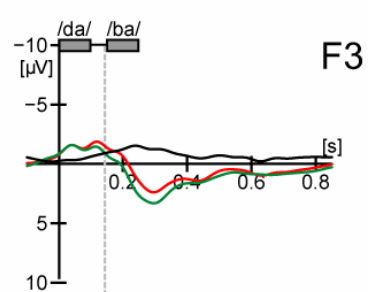
Zusammenfassend ist eine Verringerung der Mismatch-Amplituden von den 4 Wochen bis 18 Monate alten Kindern erkennbar. Bezüglich der Latenzzeiten gibt es keine eindeutige Tendenz einer Zunahme oder Abnahme. Viele Studien in den letzten Jahren beschreiben eine erhebliche Differenz zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen bezüglich der Ausprägung der Amplituden und Latenzen. Dies kann innerhalb dieser Studie nicht bestätigt werden.

**Tabelle 16: Darstellung der Amplituden und Latenzen ( $\pm$ STD) an der F3 im longitudinalen Studiendesign für die Mismatch-Antwort**

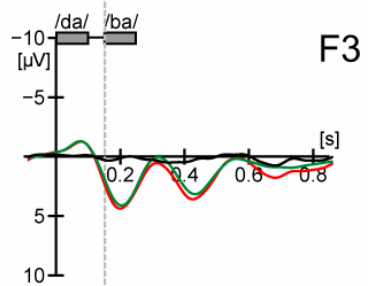
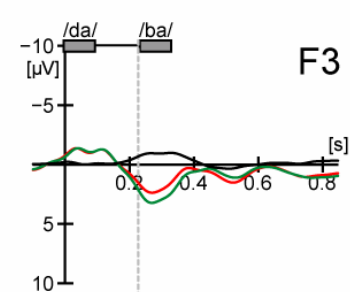
Komponente MMP	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)				Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte ( $\pm$ STD)			
	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate	4 Wochen	5 Monate	13 Monate	18 Monate
<b>Amplitude in <math>\mu</math>V</b>			3,39 (3,30)	4,47 (3,16)		3,84 (4,51)	3,41 (3,39)	3,56 (3,69)
<b>Latenz in ms</b>			376,3 (69,39)	376,0 (64,4)		528,0 (65,0)	498,35 (60,42)	516,94 (61,6)

Doppelsilben mit kurzem  
Pausenabstand (/da/50ms/ba/)

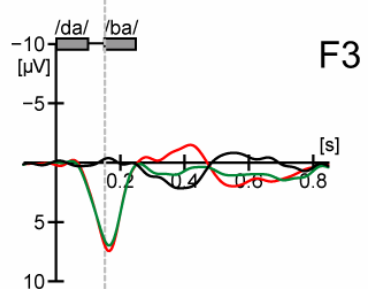
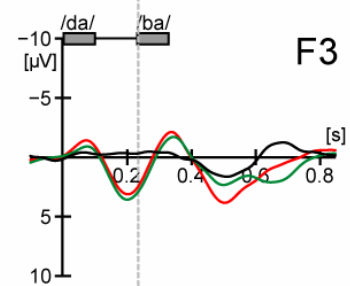
Doppelsilben mit langem  
Pausenabstand (/da/150ms/ba/)



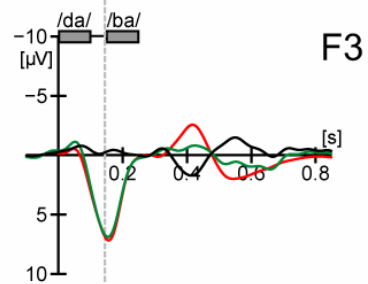
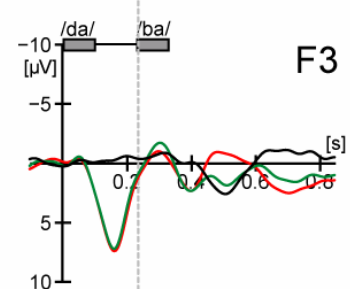
4 Wochen



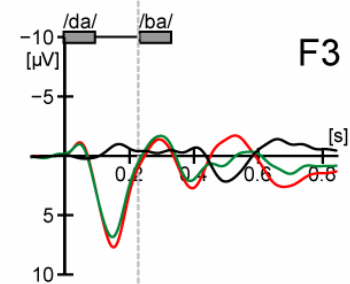
5 Monate



13 Monate



18 Monate



Legende:

- Standard /da/50ms/da/
- Deviant /da/50ms/ba/
- Differenz

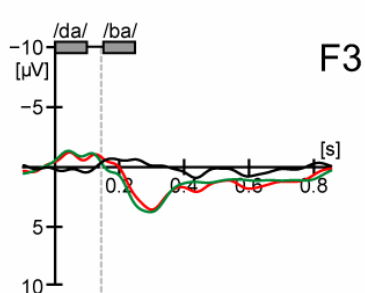
Legende:

- Standard /da/150ms/da/
- Deviant /da/150ms/ba/
- Differenz

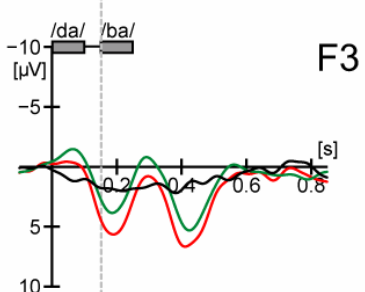
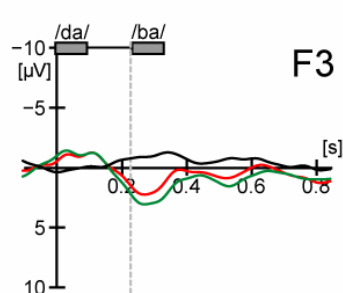
Abbildung 28: Darstellung der Unterschiede der gemittelten Mismatchantworten von 4 Wochen, 5 Monate, 13 Monate und 18 Monate alten Kindern für die Bedingung mit kurzer und langer Pause

Doppelsilben mit kurzem  
Pausenabstand (/da/50ms/ba/)

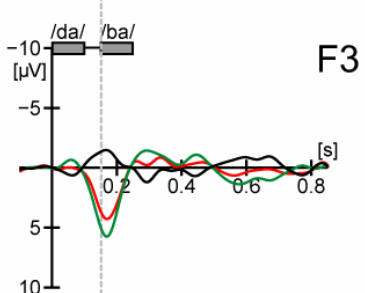
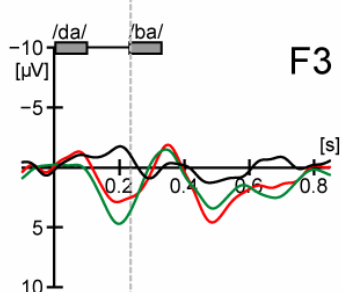
Doppelsilben mit langem  
Pausenabstand (/da/150ms/ba/)



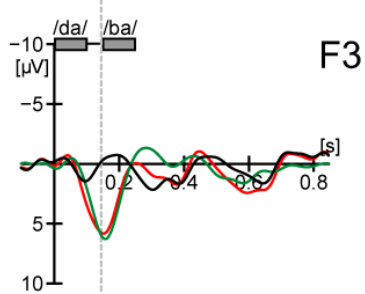
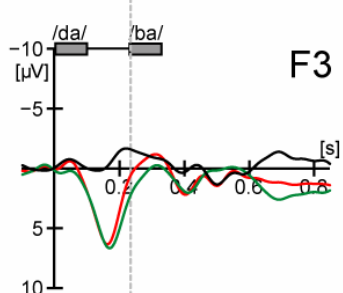
4 Wochen



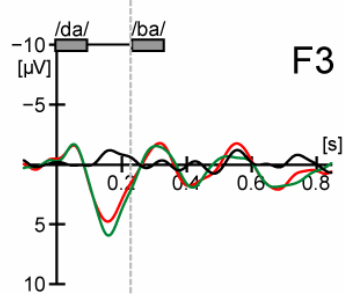
5 Monate



13 Monate



18 Monate



Legende:

- Standard /da/50ms/da/ (n=14)
- Deviant /da/50ms/ba/ (n=14)
- Differenz (n=14)

Legende:

- Standard /da/150ms/da/ (n=17)
- Deviant /da/150ms/ba/ (n=17)
- Differenz (n=17)

Abbildung 29: Darstellung der Ergebnisse des longitudinalen Studiendesigns für die Bedingung mit kurzer und langer Pause

### **Darstellung der Unterschiede zu Erwachsenen**

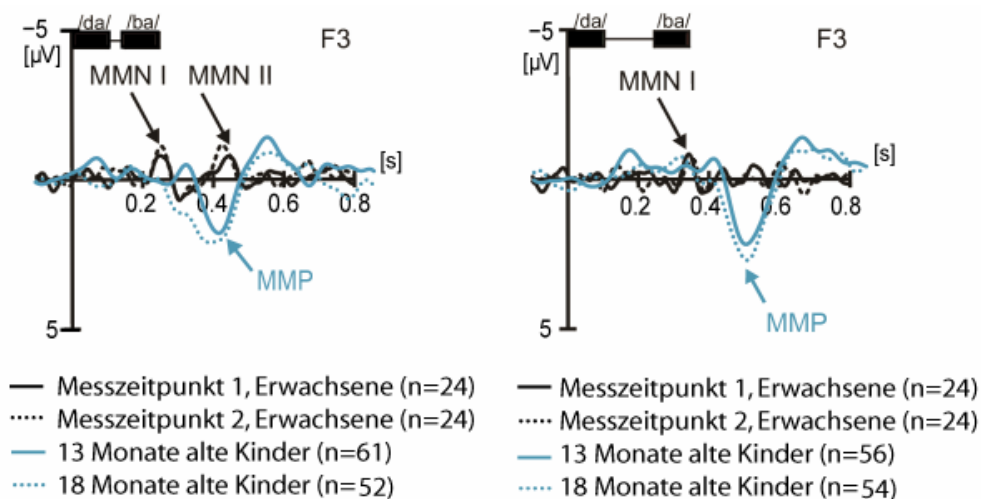
Die Kurvenverläufe der in dieser Arbeit untersuchten Kinder unterscheiden sich stark von denen der Erwachsenen. In Abbildung 30 wird dies gegenübergestellt. Die Messungen an den Erwachsenen von Hahnemann (2005) ergaben für die Bedingung mit kurzer Pause zwei MMN-Antworten, für die Bedingung mit langer Pause ließ sich eine MMN-Kurve nachweisen. Die MMN I bei ca. 250 ms für die Bedingung mit kurzer Pause (MMN II bei ca. 450 ms) und eine entsprechend der Pausenlänge um 100 ms versetzte Mismatch-Antwort bei ca. 350 ms für die Bedingung mit langer Pause. Hahnemann (2005) erklärte die doppelten Mismatch-Kurven innerhalb der Bedingung mit kurzer Pause mit der Annahme, dass jede der zwei Silben des Doppelreizes als separates Ereignis dargestellt und somit auch verarbeitet wurde (siehe auch Abschnitt 1.6). Das Fehlen einer zweiten Diskriminationsantwort innerhalb der Bedingung mit langer Pause wurde mit dem Temporal Window of Integration (TWI) erklärt (Näätänen, 1992). Für die 13 und 18 Monate alten Kinder kommt innerhalb beider Bedingungen jeweils nur eine positive Diskriminationsantwort zur Darstellung. Diese MM-Antwort kommt später zur Darstellung und die Amplituden besitzen eine größere Ausprägung.

Aus der Analyse der Daten geht insbesondere hervor, dass das betrachtete Studienkollektiv eine positive Mismatch-Antwort und die von Hahnemann (2005) untersuchten Erwachsenen negative Mismatch-Antworten aufweisen.

Die auditive Verarbeitung der Doppelsilben steht im Mittelpunkt dieser Studie. Im Vergleich zu den Erwachsenen wird deutlich, dass die Verarbeitung der Silben noch wesentlich verzögert ist.

Des Weiteren wurde untersucht welchen Einfluss die Pausenlänge auf die Ausprägung der Mismatch-Antwort hat. Mit einer Verlängerung des Pausenabstandes kommt es zu einem späteren Auftreten der MM-Antwort. Während bei den 13 und 18 Monate alten Kindern für die Bedingung mit kurzer Pause die MMP bei ca. 400 ms ausgeprägt ist, ist sie innerhalb der Bedingung mit langer Pause, bedingt durch den um 100 ms verlängerten Pausenabstand bei ca. 500 ms (ca. 230–270 ms nach change onset) ausgebildet. Die MMN des Erwachsenen tritt innerhalb beider Bedingungen früher in Erscheinung (ca. 200–300 ms bzw. ca. 300–400 ms). Schröger und Winkler (1995) beschrieben ebenfalls bei einem Verringern des Interstimulusintervall (ISI) ein früheres Auftreten der MMN (Tabelle 13). Dies entspricht den Ergebnissen verschiedener Studien in denen die Mismatch ca. 100–250 ms nach change onset auftritt. Die

untersuchten Kinder zeigen demnach eine um ca. 150 ms längere Latenzzeit, die auch in anderen Studien beschrieben werden (Cheour et al., 1998, 1998a; Cheour-Luhtanen et al., 1996; Kurtzberg et al., 1995; für eine Übersicht siehe Cheour et al., 2001). Brody et al. (1987) erklärten ein verspätetes Auftreten der MM mit einer noch nicht abgeschlossenen Myelinisierung.



**Abbildung 30: Gegenüberstellung der Erwachsenen- und Kindermessungen für die Bedingung mit kurzer und langer Pause. Um die Kurven besser darzustellen wurde die Skala auf 5 µV geändert. Erwachsenen Daten aus Hahnemann (2005)**

Die Amplitudenhöhe (MMP) der Kinder im Vergleich zur MMN des Erwachsenen unterscheidet sich deutlich (Abbildung 30). Csepe (1995), Kraus et al. (1992, 1993; für eine Übersicht siehe Cheour et al., 2001) fanden heraus, dass die Amplitude bei Kindern oftmals größer ausfällt als die der Erwachsenen. Kraus et al. (1993) fand eine ausgeprägte Amplitude der MMN bei Schulkindern im Vergleich zu Erwachsenen. Mit zunehmendem Alter der Kinder nimmt die Amplitudenhöhe jedoch wieder ab (Kurtzberg et al., 1995; siehe hierzu auch Kapitel 1.5.4). Innerhalb dieser Studie konnte bereits eine Abnahme der Amplitudenhöhe bei den 13 Monate alten Kindern und 18 Monate alten Kindern nachgewiesen werden.

Unterschiede ergeben sich auch zwischen der Bedingung mit kurzem und der Bedingung mit langem Pausenabstand. Eine größere Ausprägung der MMN1 innerhalb der Bedingung mit kurzer Pause bei der Erwachsenenmessung wurde durch eine Verstärkung der sensorischen Gedächtnisspur durch schnellere neuronale Reizung erklärt (Näätänen, 1992). Mit einer Verkürzung des ISI kommt es somit zu einer Zunahme der Amplitude der ersten MM-Antwort. Das hier untersuchten Studienkollektiv (siehe Anhang Tabelle 38), zeigt Tendenzen einer größeren Amplitude bei kleinerem ISI.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der Grund für die unterschiedliche Ausprägung einer Diskriminationsantwort bei Erwachsenen und bei Kindern noch nicht eindeutig bestimmt werden kann. Möglicherweise sind diese Differenzen in der unterschiedlichen Dicke und Leitfähigkeit des Schädels oder in der geringeren Spezifität begründet (Neville, 1995). Eine weitere Möglichkeit beschrieben Brody et al. (1987). Sie erklärten das spätere Erscheinen der MMN mit der ebenfalls späteren Myelinisierung der Neuronen.

Widersprüchliche Ergebnisse erhielten Cheour et al. (1998), die annahmen, dass die Mismatch-Antwort von Entwicklungsprozessen weitgehend unbeeinflusst ist. In der Literatur (Alho et al. 1990, Cheour-Luhtanen 1995, 1996) wurde sogar mehrfach von einer erwachsenenähnlichen MMN (Cheour et al., 2001 und Kurtzberg et al., 1995) berichtet. In dieser Arbeit zeigten sich zwischen Säuglingen und Erwachsenen jedoch deutliche Unterschiede in den Mismatch-Antworten bezüglich der Polarität, Latenz und Amplitude. Es ist also davon auszugehen, dass bei weiterführenden Studien eine Weiterentwicklung der Mismatch-Antwort erfolgt.

### **5.3 Perspektivischer Nutzen**

Im Folgenden soll die Möglichkeit der Übernahme des Mess- und Auswertungsverfahrens in den klinischen Alltag diskutiert werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das angewandte Verfahren für die Untersuchung von größeren Kollektiven prinzipiell geeignet ist. Der Vorteil liegt vor allem in der nicht-invasiven und sehr einfachen Methode der EEG-Messung sowie in einem von der Aufmerksamkeit unabhängigen Messverfahren. Von besonderem Interesse ist dabei, dass das Verfahren im Alltag bei Kindern einfach anzuwenden ist, was ein frühzeitiges Aufdecken von Sprachentwicklungsstörungen und eine entsprechende Intervention ermöglicht.

Das verwendete Reizmaterial ist sowohl bei der Bedingung mit kurzem als auch mit langem Pausenabstand für die Darstellung der zeitlichen Verarbeitung bei schnellen Reizfolgen geeignet. Vor allem die Struktur des Reizes, d.h. die Verwendung der Laute /da/ und /ba/ sowie die Pausen- und Lautlängen, eignen sich für die zukünftige Verwendung. Der Reiz wird als eine Einheit wahrgenommen, was für das Aufdecken von SES eine Voraussetzung ist.

Innerhalb beider Altersklassen und Reizmuster konnte eine MM-Antwort auf der Grundlage von EKP hervorgerufen werden. Für eine eventuelle Anpassung oder Veränderung der

Reize bei zukünftigen Versuchen ist das Temporal Window of Integration (TWI) zu beachten. Das TWI sichert eine korrekte Ausbildung der Mismatch-Antwort.

Häufig war es schwierig, Messungen bei sehr jungen Kindern durchzuführen, da sie sich schnell langweilen oder Angst haben. Mit viel Geduld ist es dennoch möglich, stabile Ergebnisse zu erhalten. Da nicht alle Deviantantworten in einer Messung artefaktfrei vorliegen und die artefaktbehafteten gefiltert werden, ist eine anfänglich hohe Anzahl von Deviantreizen notwendig, um die erwünschten 50 Deviantreize zu erhalten. Durch eine höhere Anzahl könnte das Signal-Rausch-Verhältnis noch verbessert werden, was jedoch mit einer Verlängerung der Messzeit verbunden ist. Dieses Ziel konnte durch die oben beschriebene geringe Belastbarkeit der Kinder nicht realisiert werden.

Da bis heute keine normierten Daten eines großen Normalkollektivs dieser Altersgruppe existieren, sind Vergleiche zu anderen Studienkollektiven schwierig. Die bisherigen Veröffentlichungen zeigen sehr unterschiedliche Ergebnisse (Kapitel 1). Möglicherweise ist dies zum einen auf die unterschiedlichen Auswertungsverfahren wie Filterung, Artefaktbereinigung und Rereferenzierung und zum anderen auf die Methode der statistischen Analyse zurückzuführen. Im Rahmen dieser Studie wurde ein großes, gesundes Normalkollektiv untersucht. Für eine Übertragung in den klinischen Alltag und für eine bessere Vergleichbarkeit der Daten ist es zunächst notwendig, ein standardisiertes Mess- und Auswertungsverfahren sowie Normwerten einzuführen. Da jedoch die Beurteilung der Daten auf individueller Basis notwendig sind, muss in weiterführenden Studien darauf eingegangen werden. Die Ergebnisse dieser Studie sollen eine Basis für spätere Arbeiten sein. Mittels EKP und MMN könnten so Sprachentwicklungsstörungen früh diagnostisch erkannt werden und eine Intervention eingeleitet werden.

---

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Verarbeitung von Phonemen mittels EEG hinsichtlich akustisch evozierter Potenziale und Mismatch bei Kindern untersucht. Die Mismatch (MM) ist ein objektives Verfahren zur Untersuchung von Verarbeitungsprozessen auditiver Ereignisse. Die MM spiegelt dabei die automatische Diskrimination von Stimulusabweichungen (Deviant) in einer homologen Sequenz von Standardreizen (Standard) wider. Sie scheint dabei ein von der Aufmerksamkeit unabhängiges messbares Potenzial zu sein. Die auditive Verarbeitung von schnellen Reizfolgen und der Einfluss der zeitlichen Struktur des Reizes auf die Phonemdiskrimination im Kleinkindalter stehen im Mittelpunkt der Betrachtung. Die Entwicklung der Kinder zwischen den Messterminen wird untersucht und mit den in früheren Arbeiten erhobenen Daten von 4 Wochen und 5 Monate alten Kindern verglichen. Ebenfalls werden die Unterschiede zu Erwachsenen aufgezeigt.

Es ist die erste Untersuchung eines großen gesunden Normalkollektivs bei dem 61 bzw. 56 Kinder im Alter von 13 Monaten und 52 bzw. 54 Kinder im Alter von 18 Monaten in die Auswertung eingingen. Da sprachentwicklungsgestörte Kinder vor allem Probleme bei der Erkennung und Verarbeitung schneller Reizfolgen und im Besonderen bei der Identifikation von Phonemen haben, wurden Doppelsilben mit zwei unterschiedlichen Pausenlängen (da/50 ms/da/ bzw. /da/150 ms/da/) als Stimulusmaterial verwendet. Diese unterscheiden sich im Anlaut der zweiten Silbe. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass eine Möglichkeit zur Aufdeckung von Sprachentwicklungsstörungen mittels EKP besteht. Im Rahmen dieser Arbeit wurden kortikale Potenziale abgeleitet und innerhalb beider Altersklassen (13 und 18 Monate) betrachtet. Hieraus ging eine positive Mismatch Antwort hervor. Im Folgenden soll nun auf die im Abschnitt 1 gestellten Fragen und Hypothesen eingegangen werden.

Die verwendeten Doppelreize, die sich im konsonantischen Anlaut der zweiten Silbe unterscheiden, erzeugen bei Kindern im Alter von 13 und 18 Monaten positive und negative Amplituden (P und N). Diese stehen in zeitlicher Korrelation zu den akustischen Reizen (Bestätigung der ersten Hypothese). In den frontalen und zentralen Regionen finden sich hierbei die höchsten Amplitudenausschläge. Hemisphärenunterschieden treten nicht auf. Die ereigniskorrelierten Potenziale sind für die einzelnen Bedingungen unterschiedlich ausgebildet; im Alter von 13 Monaten ergibt sich für die Bedingung mit kurzer Pause (/da/50ms/da/) eine positive (P1 166 ms, 7,71  $\mu$ V) und eine negative Amplitude (N1 395 ms, -2,98  $\mu$ V), für die Be-



dingung mit langer Pause ergeben sich zwei positive (P1 163 ms, 7,87  $\mu$ V und P2 396 ms, 3,24  $\mu$ V) und zwei negative (N1 300 ms, -1,89  $\mu$ V und N2 517 ms, -2,15  $\mu$ V) Amplituden, die als Antwort auf den Doppelreiz gelten. Für die 18 Monate alten Kinder ergeben sich ähnliche Ergebnisse: für die Bedingung mit kurzer Pause ist die P1 158 ms, 7,75  $\mu$ V und die N1 399,80 ms, -3,40  $\mu$ V. Für die Bedingung mit langer Pause ist die P1 155 ms, 8,03  $\mu$ V und P2 395,20 ms, 3,35  $\mu$ V sowie N1 300,52 ms, -2,26  $\mu$ V und N2 522,70 ms, -2,60  $\mu$ V.

Die zeitliche Struktur des Reizes hat einen großen Einfluss auf die Verarbeitung, die unterschiedlichen Amplitudenausprägungen spiegeln dies wider. Des Weiteren stehen die Latenzzeiten im zeitlichen Zusammenhang mit den akustischen Reizen: die erste Silbe des Doppelreizes wird innerhalb beider Bedingungen in gleicher Weise präsentiert und verarbeitet. Im Anschluss an die P1 wird jedoch ein Unterschied sichtbar, bedingt durch ein Abspielen des Reizes innerhalb der absoluten Refraktärzeit. Durch die gleichzeitige Reizpräsentation während der Verarbeitung der ersten Silbe kann eine Antwort auf die zweite Silbe des Doppelreizes in den kortikalen Potenzialantworten nicht ausgeprägt werden. Ein Maskierungseffekt ist anzunehmen. Aus Berechnungen wurde die Theorie aufgestellt, dass die N1 in der Bedingung mit kurzer Pause zeitgleich mit der P2 auftritt und somit nicht zur Darstellung kommt. Auch innerhalb der Bedingung mit langer Pause hat die Pausenlänge einen Einfluss auf den Verarbeitungsprozess. Die Verarbeitung des zweiten Teils der Doppelsilbe ist nicht vollständig, die Amplituden (P1, P2) unterscheiden sich signifikant.

Der Vergleich der 13 und 18 Monaten alten Kinder zeigt eine typische Altersentwicklung: Die Potenzialantwort trat bei den 18 Monate alten Kindern signifikant früher in Erscheinung (Latenzabnahme ca. 10 ms) und es kam zu einer Zunahme der Amplitudenhöhe (ca. 0,2  $\mu$ V). Diese Entwicklung wurde als Reifungsprozess des kindlichen Gehirns gewertet.

Entsprechend der Arbeitshypothese waren die Kinder im Alter von 13 und 18 Monaten in der Lage, Reize als Einheit wahrzunehmen und zu diskriminieren. Innerhalb beider Bedingungen kommt es zur Ausbildung einer positiven Mismatch-Antwort (MMP), die durch eine stärkere Positivierung der Deviantantwort im Vergleich zur Standardantwort begründet ist. Die Gründe für eine MMP, im Gegensatz zur MMN der betrachteten Erwachsenen, sind nicht eindeutig geklärt. Eine mögliche Erklärung ist die Unreife des kindlichen Gehirns. Einige Autoren erhielten ebenfalls eine Positivierung und gehen von der Unreife der MMN-Generatoren (Morr et al., 2002), von Aufmerksamkeitsabhängigkeit (Trainor et al., 2001 und Kushnerenko et al., 2002a), (Leppänen et al., 1997) oder von Diskriminationsleistungen aus.

Die MMP tritt mit dem bedeutungswirksamen Wechsel in Erscheinung (ca. 230–270 ms nach change onset) und steht so im Zusammenhang mit den dargebotenen Reizen. Demnach ist sie mit der Diskriminationsantwort der Erwachsenen (MMN) vergleichbar.

Um auszuschließen, dass die Mismatch–Antwort durch das gleichzeitige Auftreten von positiven und negativen Amplituden verfälscht wird, wurde ein Streudiagramm mit den Gipfelpunkten angefertigt. Dabei wird deutlich, dass keine Überlagerung auftritt.

Für die Bedingung mit kurzer Pause liegt die MM–Antwort bei 385 ms, 4,17  $\mu\text{V}$ . Bei langer Pause findet sich eine um 100 ms versetzte Diskriminationsantwort (Latenz: 506 ms, Amplitude: 4,14  $\mu\text{V}$ ). Die Wiederholungsmessung nach 5 Monaten führte zu folgendem Ergebnis: für die Bedingung mit kurzer Pause ergab sich eine MMP bei ca. 403 ms, 3,45  $\mu\text{V}$ ; für lange Pause bei ca. 520 ms, 3,45  $\mu\text{V}$ . Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich Amplituden und Latenzentwicklung zwischen den einzelnen Messzeitpunkten. Somit wurde auch die aufgestellte Hypothese, dass die MMP entwicklungsstabil ist, bestätigt.

In der Arbeit wurde des Weiteren die Entwicklung der kortikalen Potenziale und der MM–Antwort von den 4 Wochen alten Kindern bis zu den 18 Monate alten Kindern untersucht. Ausgeprägte Veränderung zu den von Hahnemann (2005) erhobenen Daten im Bezug auf die Morphologie als auch auf Amplituden und Latenzzeiten sind zu erkennen.

Den größten Entwicklungsschritt scheinen die Kinder zwischen der 4. Lebenswoche und dem 5. Lebensmonat zu machen. Die Hypothese, dass sich innerhalb der EKP eine Latenzabnahme (ca. 100 ms) und Amplitudenzunahme (ca. 2  $\mu\text{V}$ ) im Alter von einem Jahr weiter herausbildet, wird bestätigt. Die 13 Monate alten Kinder zeigen eine weitere Latenzabnahme von ca. 40 ms und eine Amplitudenzunahme um 2  $\mu\text{V}$ . Durch ein longitudinales Studiendesign konnten ausgewogene Gruppen geschaffen werden: 14 bzw. 17 Kinder gingen in die Auswertung ein (siehe Tabelle 25 und Tabelle 26). Die Ergebnisse sind mit denen des gesamten Studienkollektivs vergleichbar.

Entsprechend dem großen Entwicklungsschritt der EKP, bildet sich eine positive MM–Antwort erstmals bei 5 Monate alten Kindern deutlich (Bedingung mit langer Pause) heraus und wurde bereits von Hahnemann (2005) beschrieben. Für die Bedingung mit kurzer Pause findet sich eine MMP bei den 13 Monate alten Kindern. Die 4 Wochen alten Kinder können innerhalb beider Bedingungen nicht diskriminieren. Der Reifungsprozess des kindlichen Gehirns wird verdeutlicht, indem die Fähigkeit Reize mit kurzem Pausenabstand zu diskriminieren mit zunehmendem Alter steigt. Tendenzen einer Latenzzu– oder – abnahme innerhalb der

einzelnen Altersklassen sind nicht zu erkennen. Mit einem longitudinalen Studiendesign sind die Ergebnisse überprüft worden und mit dem Gesamtkollektiv vergleichbar.

In anderen Studien (z.B. Alho et al. 1990, Cheour–Luhtanen 1995, 1996) wurde von einer erwachsenenähnlichen MMN berichtet. In dieser Arbeit sind zwischen Kleinkindern und Erwachsenen eindeutige Unterschiede in den MM–Antworten bezüglich der Polarität, Latenz und Amplitude erkennbar. Somit ist auch die anfangs aufgestellte Hypothese bestätigt.

Hahnemann (2005) erhielt innerhalb der Erwachsenenmessung zwei ausgeprägte Kurven als Potenzialantwort auf die erste und zweite Silbe der Doppelsilbe. Im Vergleich ist die Amplitude der P1 bei Kindern wesentlich größer als der N1–P2–Komplex der Erwachsenen. Die zeitlichen Zusammenhänge sprechen dafür, dass die bei den Kindern beschriebene Positionierung (P1) der Vorläufer der erwachsenen P2 darstellt. Demzufolge müsste sich im weiteren Verlauf eine Verringerung der Amplitude sowie der Latenzzeit herausbilden. Des Weiteren sind die Latenzzeiten bei erwachsenen Probanden deutlich kürzer (ca. 150 ms).

Der größte Unterschied bezüglich der Diskriminationsantwort sind die positiven Amplituden bei Kindern, im Gegensatz zu Erwachsenen. Während bei den 13 und 18 Monate alten Kindern jeweils eine positive Antwort innerhalb beider Bedingungen ausgebildet ist, so erhielt Hahnemann (2005) für die Bedingung mit kurzer Pause zwei negative Mismatch Antworten. MMN I bei ca. 250 ms für die Bedingung mit kurzer Pause und eine entsprechend der Pausenlänge um 100 ms versetzte MM–Antwort bei ca. 350 ms für die Bedingung mit langer Pause. Des Weiteren ist die Amplitude der MM–Antwort bei Kindern größer. Gründe für die unterschiedliche Ausprägung der Diskriminationsantwort sind nicht eindeutig belegt. Die unterschiedliche Dicke und Leitfähigkeit des Schädels oder die geringeren Spezifität (Neville, 1995) werden angenommen. Eine noch nicht abgeschlossene Myelinisierung im kindlichen Gehirn kann eine weitere Ursache sein.

Zusammenfassend ist das verwendete Messverfahren geeignet, um die Fähigkeiten zur zeitlichen Verarbeitung schneller Reizfolgen sowie um den Einfluss der zeitlichen Struktur eines Reizes auf die Phonemdiskrimination mittels der EKP und MMN darzustellen. Dies gelang für ein großes, gesundes Normalkollektiv. Für eine individuelle Beurteilung müssen noch weitere Normwerte festgehalten werden. Zusätzlich bedarf es weiterer systematischer Untersuchung von Kindern mit einem Risiko für eine SES. Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Arbeit kann ein Untersuchungsverfahren entstehen, welches es ermöglichen würde eine SES frühzeitig aufzudecken und Interventionsmaßnahmen zu ergreifen.