

4. Ergebnisse

4.1 Kortikale Potenzialantworten auf die Standardreize

4.1.1 Erwachsene Probanden

In die Auswertung der kortikalen Potenzialantworten der Kontrollgruppe gingen die Daten von insgesamt 24 erwachsenen Probanden ein. In der Abb. 4.1.1.1 (S. 41) und der Abb. 4.1.1.2 (S. 42) sind die gemittelten Standardantworten auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause dargestellt. In der Abb. 4.1.1.1 (S. 41) ist auf die erste Silbe /da/ der Bedingung mit kurzer Pause an den frontalen Elektrodenpositionen eine Positivierung (P1) mit einer niedrigen Amplitude um 70 ms zu erkennen. Es schließt sich an allen 6 Elektrodenpositionen ein N1-P2-Komplex mit jeweils gut abgrenzbaren Amplitudenspitzen bei 105 bzw. 170 ms an. Nach 150 ms setzte ein neuer Stimulus (zweite Silbe /da/) ein. In der vorliegenden Arbeit wurden die Komponenten auf die zweite Silbe im Doppelreiz gesondert gekennzeichnet (*). Auf das zweite /da/ im Paradigma mit kurzer Pause deutet sich im frontalen und parietalen Bereich leicht eine P1*-Welle (siehe Pfeil) an. An allen Elektrodenpositionen folgt ein deutlicher N1-P2-Komplex* mit einem negativen Gipfel bei 290 ms und einem positiven Gipfel bei 410 ms. Die Abb. 4.1.1.2 (S. 42) zeigt die gemittelten Standardantworten auf die Kondition mit langer Pause. Auf die erste Silbe des Doppelreizes zeichnet sich der typische Verlauf kortikaler akustisch evozierter Potenziale ab. Es sind die Komponente P1 (bei 70 ms), der N1-P2-Komplex (bei 110 ms bzw. 170 ms) sowie die N2-Welle (bei 230 ms) gut zu erkennen. Nach dem Auftreten der zweiten Silbe im Doppelreiz präsentieren sich erneut ein P1*-Peak (bei 325 ms) sowie ein N1-P2-Komplex* (bei 385 bzw. 430 ms) in den gemittelten kortikalen Potenzialantworten.

Der N1-P2-Komplex stellt bei Erwachsenen den robustesten Teil der kortikalen Potenzialantwort dar. Er konnte auch in der vorliegenden Arbeit für beide Bedingungen zuverlässig nachgewiesen werden. Die statistische Auswertung umfasste daher ausschließlich die Komponenten N1 (bzw. N1*) und P2 (bzw. P2*). Für die statistische Analyse wurden Zeitfenster von 50 ms um die Gipfel des Grand-average der Standardantworten festgelegt und sind in Tab. 4.1.1.1 (S. 43) für beide Stimulustypen dargestellt. Innerhalb dieser Zeitfenster erfolgte für jeden Probanden die Bestimmung der Peak-Amplitude sowie der Peak-Latenz der entsprechenden maximalen Positivierung bzw. maximalen Negativierung. Zusätzlich wurde der Beginn (Onset) der zweiten Silbe im Doppelreiz gleich Null gesetzt und dementsprechend

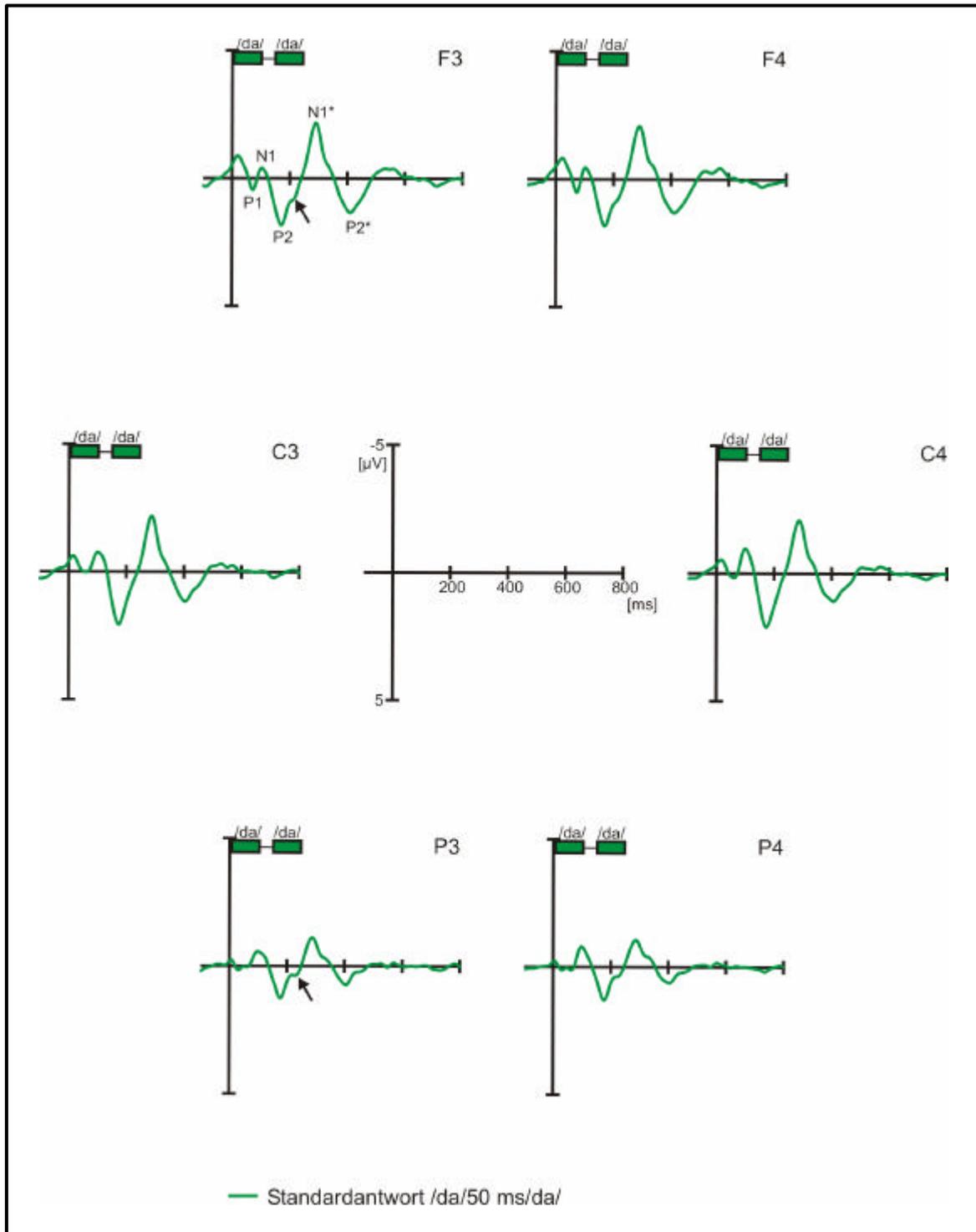


Abb. 4.1.1.1: Gemittelte Standardantworten auf die Doppelsilben mit kurzer Pause von 24 erwachsenen Kontrollpersonen. Auf die erste Silbe im Doppelreiz zeigt sich die Komponente P1. Es folgt ein deutlicher N1-P2-Komplex. Auf die zweite Silbe deutet sich lediglich im frontalen und parietalen Bereich eine P1*-Welle (siehe Pfeil) an. An allen Elektrodenpositionen ist anschließend ein N1-P2-Komplex* gut zu erkennen.

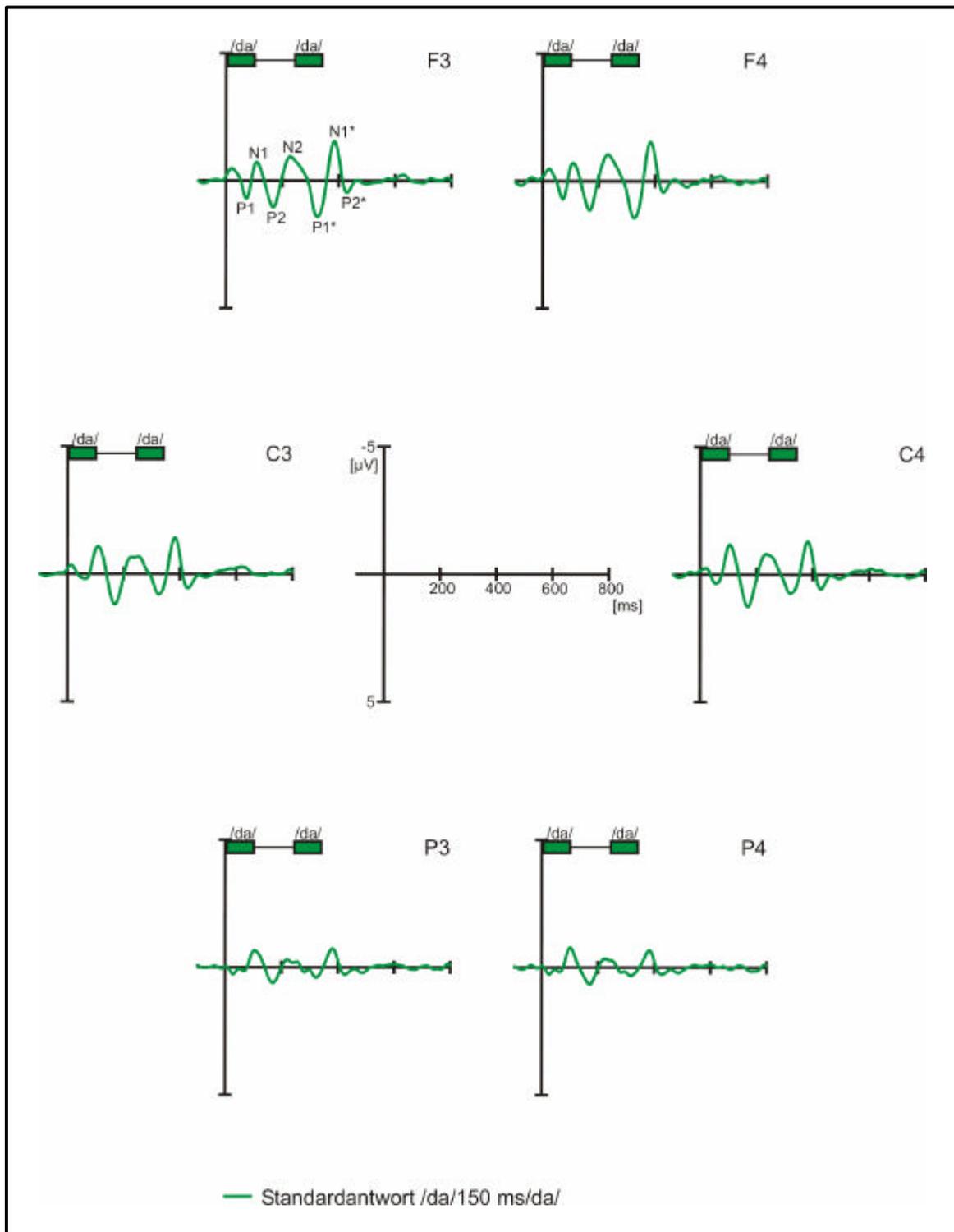


Abb. 4.1.1.2: Gemittelte Standardantworten auf die Doppelsilben mit langer Pause von 24 erwachsenen Kontrollpersonen. Auf die erste Silbe im Doppelreiz zeigt sich der typische Verlauf kortikaler akustisch evozierter Potenziale mit der P1-Welle, dem N1-P2-Komplex und dem N2-Peak. Auf die zweiten Silbe im Doppelreiz zeichnet sich die Komponente P1* sowie ein N1-P2-Komplex* in den gemittelten kortikalen Potenzialantworten ab.

die Latenzen der Komponenten auf die zweite Silbe berechnet (Latenz*). Die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen (\pm STD) sind in der Tab. 4.1.1.2 exemplarisch an der F3 Elektrode aufgelistet.

Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause	Doppelsilben mit langer Pause
N1	80 bis 130 ms	80 bis 130 ms
P2	145 bis 195 ms	145 bis 195 ms
N1*	265 bis 315 ms	360 bis 410 ms
P2*	385 bis 435 ms	405 bis 455 ms

Tab. 4.1.1.1: Zeitfenster für die Bedingung 1 und 2 zur Bestimmung der Peak-Amplituden und Peak-Latenzen der jeweiligen maximalen Positivierung bzw. maximalen Negativierung bei 24 erwachsenen Kontrollpersonen.

Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte (\pm STD)			Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte (\pm STD)		
	Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms	Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms
N1	-1,42 (0,81)	105,41 (11,57)	-	-1,14 (1,36)	111,40 (9,91)	-
P2	2,17 (1,15)	170,26 (11,99)	-	1,37 (0,09)	167,82 (11,79)	-
N1*	-2,57 (1,20)	290,55 (10,80)	140,55 (10,80)	-1,76 (1,21)	385,04 (8,20)	135,04 (8,20)
P2*	1,56 (0,76)	411,27 (11,95)	261,27 (11,95)	0,77 (0,5)	428,57 (11,19)	178,57 (11,19)

Tab. 4.1.1.2: Mittelwerte (\pm STD) an der F3 Elektrode für die Amplituden und Latenzen (Latenzen*) der kortikalen akustisch evozierten Potenziale auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause von 24 erwachsenen Kontrollpersonen.

Zur Untersuchung von topographischen Unterschieden in den kortikalen Potenzialantworten wurde eine Varianzanalyse (Einflussfaktoren: Region (frontal, zentral, parietal), Hemisphäre (rechts, links)) durchgeführt. Des Weiteren ging das Geschlecht (männlich, weiblich) als Zwischensubjektfaktor in die Berechnung ein. Für beide Bedingungen wurden die N1- und P2-Amplituden (auf die erste Silbe) jeweils als Zielvariable eingesetzt. Für die Komponenten N1 und P2 auf die Stimuli mit kurzer Pause zeigten sich im zentralen Bereich die größten Amplitudenwerte ($F = 7,682$, $p = 0,006$ und $F = 28,185$, $p = 0,000$). Gleiches galt für das Paradigma mit langer Pause

($F = 6,118$, $p = 0,016$ und $F = 17,420$, $p = 0,000$). Es konnte bei keiner der untersuchten Komponenten eine signifikante Lateralisierung zur linken bzw. rechten Hemisphäre nachgewiesen werden. Das Geschlecht zeigte sich ebenfalls nicht als signifikante Einflussgröße. Die Ergebnisse der statistischen Untersuchung sind für beide Stimulustypen nochmals im Anhang (siehe Tab. 8.4.1.1.1, S. 114) dargestellt.

Zur Einschätzung der Stabilität der Ergebnisse wurde 4 Monate nach der ersten Datenerhebung eine Wiederholungsmessung für beide Stimulustypen bei 13 Probanden durchgeführt. Die Auswertung erfolgte entsprechend der Vorgehensweise zum Messzeitpunkt 1. In der Abb. 4.1.1.3 sind die gemittelten Standardantworten auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause für beide Untersuchungsstermine an der F3 Elektrode dargestellt. Beim Betrachten der

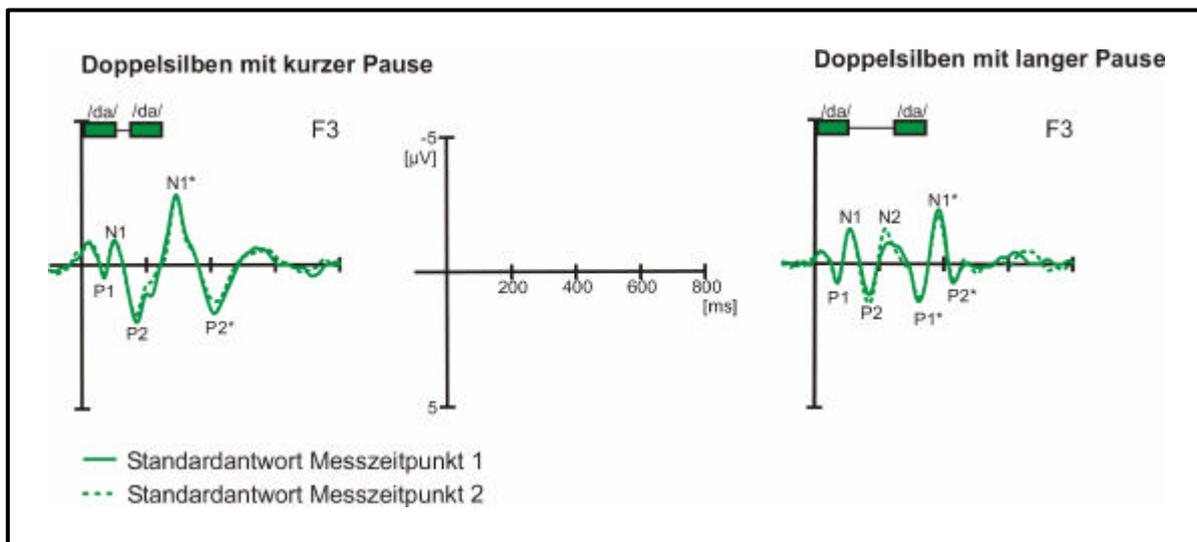


Abb. 4.1.1.3: Gemittelte Standardantworten der 1. Messung (grüne durchgezogene Linien) und der Wiederholungsmessung (grüne unterbrochene Linien) von gesunden Erwachsenen ($n = 13$) für die Doppelsilben mit kurzer Pause (links) und langer Pause (rechts) an der F3 Elektrode. Es zeigt sich eine gute Re-test-Stabilität der kortikalen Potenziale.

Abbildung fallen für beide Stimulustypen keine gravierenden Unterschiede in der Potenzialstruktur zwischen Messzeitpunkt 1 und 2 auf. Die Morphologie der Ergebnisse war somit über einen Zeitraum von 4 Monaten re-test-stabil. Mittels einer Varianzanalyse wurde diese Beobachtung für die Zielvariablen Amplitude und Latenz und den Einflussfaktor Messzeitpunkt (Messzeitpunkt 1, Messzeitpunkt 2) an der Elektrodenpositionen F3 überprüft (siehe Tab. 8.4.1.1.2 und

Tab. 8.4.1.1.3, Anhang, S. 114 und 115). Aus der statistischen Berechnung resultierten keine signifikanten Differenzen zwischen den zwei Untersuchungsterminen.

4.1.2 Säuglinge im Alter von 4 Wochen

In der Abb. 4.1.2.1 (S. 47) und der Abb. 4.1.2.2 (S. 48) sind die gemittelten kortikalen Potenzialantworten auf die Standardreize /da/50 ms/da/ sowie /da/150 ms/da/ von 47 Säuglingen im Alter von 4 Wochen dargestellt. Aufgrund der großen Amplitudenwerte wurde in den folgenden Abbildungen die Skalierung der y-Achse auf $\pm 10 \mu\text{V}$ geändert. Auf die erste Silbe der Kondition mit kurzer Pause (Abb. 4.1.2.1, S. 47) dominiert an allen 6 Elektrodenpositionen ein klar ausgeprägter positiver Gipfel um 290 ms. Für diese positive Komponente existieren in der Literatur unterschiedliche Bezeichnungen. Da sich diese Positivierung als erste größere Auslenkung in den gemittelten Kurven präsentiert, wurde sie in der vorliegenden Arbeit entsprechend ihrer Polarität und ihrem zeitlichen Auftreten als P1-Welle benannt. Auf das zweite /da/ im Paradigma mit kurzer Pause deutet sich lediglich an den frontalen Elektroden eine minimale positive Auslenkung (siehe Pfeil) bei 440 ms an. Im Grand-average der Standardantworten auf die Stimuli mit langer Pause (Abb. 4.1.2.2, S. 48) zeigt sich ebenfalls auf die erste Silbe im Doppelreiz eine Positivierung (P1) um 290 ms. Nach dem Einsetzen der zweiten Silbe lässt sich ein weiterer positiver Gipfel (P1*) mit einer wesentlich geringeren Amplitudenauslenkung bei 540 ms erkennen. Im Bereich um 50 ms hebt sich für beide Stimulustypen eine frühe Negativierung an den frontalen und zentralen Positionen hervor. Im Vergleich zu den positiven Gipfeln präsentiert sich diese Komponente mit einer niedrigen Amplitude.

Für die statistische Analyse der kortikalen akustisch evozierten Potenziale wurden Zeitfenster von 250 ms um die positiven Gipfel des Grand-average festgelegt. Sie sind in Tab. 4.1.2.1 (S. 49) für beide Reize dargestellt. Die Wahl eines Intervalls von 250 ms orientierte sich u.a. an dem Verfahren von Ceponiene et al. (2001) zur Auswertung kortikaler Reizantworten bei Säuglingen. Innerhalb dieser Zeitfenster erfolgte für jeden Probanden die Bestimmung der Peak-Amplitude und Peak-Latenz der dazugehörigen maximalen Positivierung. Zusätzlich wurden die Latenzen des P1*-Peaks auf die Kondition mit langer Pause entsprechend dem Onset der zweiten Silbe berechnet (Latenz*). Die entsprechenden Mittelwerte (\pm STD) können aus der Tab. 4.1.2.2 (S. 49) entnommen werden. Aufgrund der geringen Amplitudenausprägung des P1*-Gipfels auf die Kondition mit kurzer Pause sowie der großen interindividuellen Varianz der Daten war eine statistische Auswertung dieser Komponente nicht möglich.

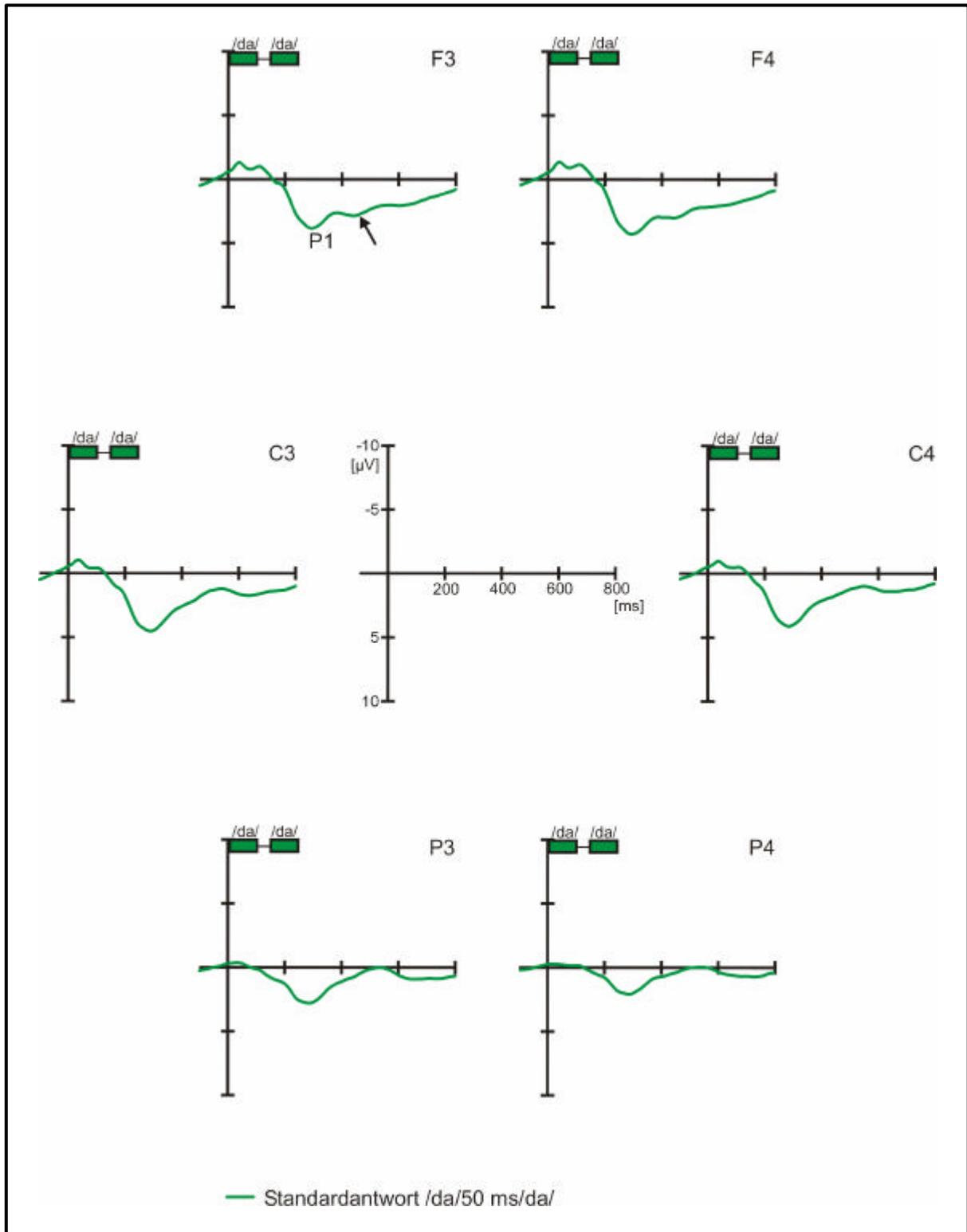


Abb. 4.1.2.1: Gemittelte Standardantworten auf die Doppelsilben mit kurzer Pause von 47 Säuglingen im Alter von 4 Wochen. Auf die erste Silbe zeigt sich eine Positivierung (P1) bei 290 ms. Auf die zweite Silbe /da/ deutet sich lediglich an den frontalen Elektroden (siehe Pfeil) eine Positivierung mit minimaler Auspragung an.

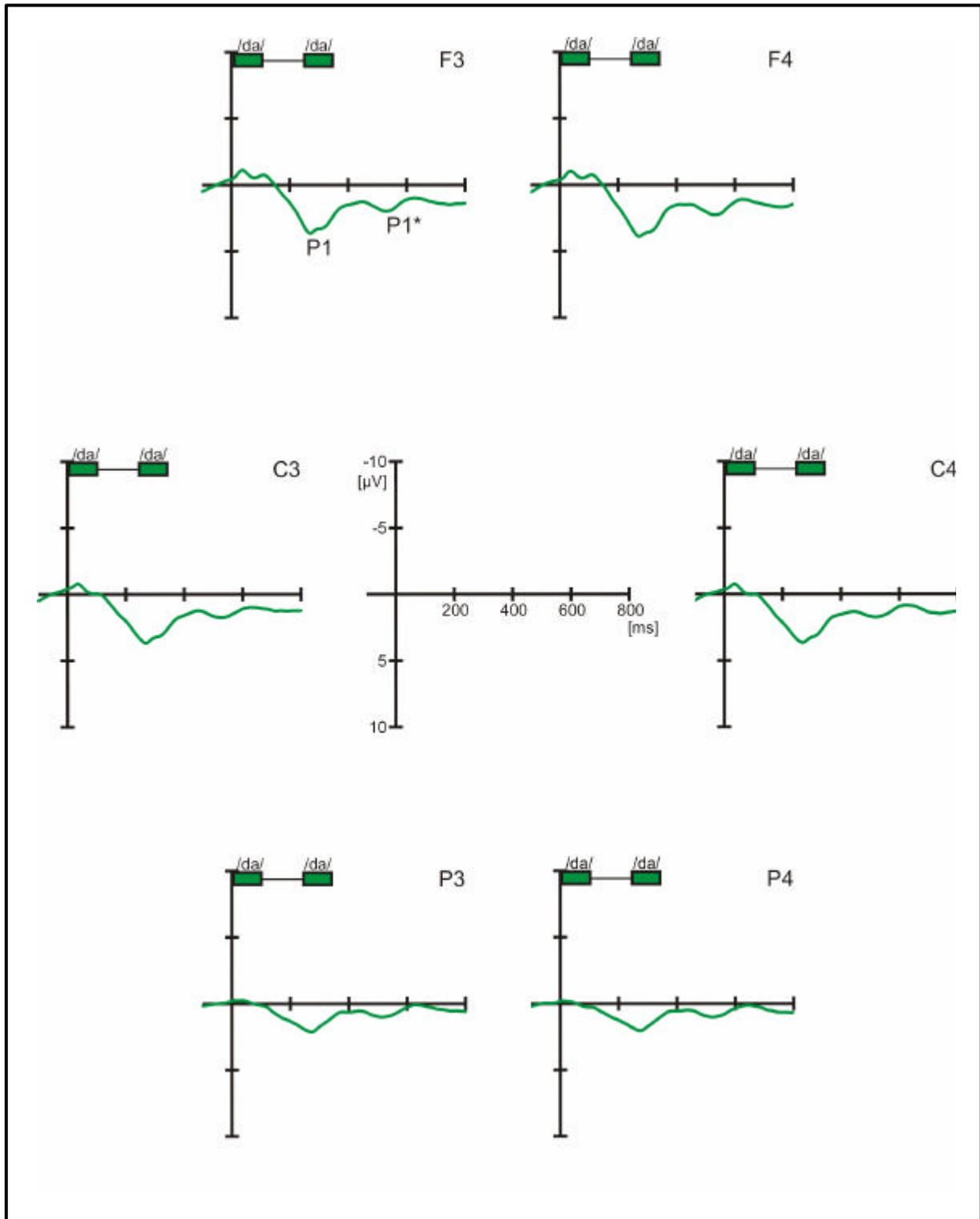


Abb. 4.1.2.2: Gemittelte Standardantworten auf die Doppelsilben mit langer Pause von 47 Säuglingen im Alter von 4 Wochen. Auf die erste Silbe im Doppelreiz präsentiert sich ein positiver Gipfel (P1) bei 290 ms. Auf die zweite Silbe lässt sich eine Positivierung (P1*) mit wesentlich geringerer Amplitudenausprägung bei 540 ms erkennen.

Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Zeitfenster	Doppelsilben mit langer Pause Zeitfenster
P1	165 bis 415 ms	165 bis 415 ms
P1*	-	415 bis 665 ms

Tab. 4.1.2.1: Zeitfenster für die Bedingung 1 und 2 zur Bestimmung der Peak-Amplituden und Peak-Latenzen der jeweiligen maximalen Positivierung bei 47 Säuglingen.

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte (\pm STD)		Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte (\pm STD)		
		Amplitude in μ V	Latenz in ms	Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms
F3	P1	4,28 (2,81)	300,17 (34,74)	3,96 (2,21)	288,17 (36,73)	-
	P1*	-	-	2,47 (1,95)	521,53 (50,32)	271,53 (50,32)
C3	P1	4,98 (3,08)	295,66 (40,41)	4,02 (2,24)	283,23 (40,99)	-
	P1*	-	-	2,39 (1,81)	527,40 (58,73)	277,40 (58,73)
P3	P1	3,06 (1,93)	288,26 (43,42)	2,35 (1,42)	277,62 (37,70)	-
	P1*	-	-	1,47 (1,29)	521,48 (57,71)	271,48 (57,71)
F4	P1	4,81 (2,99)	301,28 (37,17)	4,23 (2,35)	281,11 (31,30)	-
	P1*	-	-	2,77 (2,12)	527,49 (56,08)	277,49 (56,08)
C4	P1	4,48 (2,16)	291,83 (39,05)	4,00 (2,37)	274,89 (39,04)	-
	P1*	-	-	2,36 (1,69)	516,43 (49,03)	266,43 (49,03)
P4	P1	2,46 (1,62)	285,45 (45,64)	2,30 (1,45)	268,77 (45,29)	-
	P1*	-	-	1,36 (1,11)	516,51 (44,88)	266,51 (4,88)

Tab. 4.1.2.2: Mittelwerte (\pm STD) für die Amplituden und Latenzen (Latenzen*) der kortikalen akustisch evozierten Potenziale auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause von 47 Säuglingen.

Bei der Betrachtung der Abb. 4.1.2.1 (S. 47) und Abb. 4.1.2.2 (S. 48) fällt auf, dass die Amplituden der P1-Welle sowohl für die Bedingung mit kurzer als auch für die Bedingung mit langer Pause frontal und zentral am stärksten ausgeprägt sind. Gleiches gilt für den P1*-Peak der Kondition mit langer Pause. Eine Varianzanalyse (siehe Tab. 84.1.2.1, Anhang, S. 115) mit den Einflussfaktoren Region (frontal, zentral, parietal) und Hemisphäre (links, rechts) bestätigte die regionalen Unterschiede für den P1-Gipfel auf die Kondition mit kurzer Pause ($F = 27,367$, $p = 0,000$) und für die Komponenten P1 und P1* ($F = 49,665$, $p = 0,000$ und $F = 21,657$, $p = 0,000$) auf die Bedingung mit langer Pause. Es ergaben sich keine signifikanten Differenzen zwischen linker und rechter Hemisphäre.

Für die vorliegende Arbeit stand unter anderem der Einfluss der Pausenlänge innerhalb des Doppelreizes auf die kortikale Potenzialantwort im Vordergrund. Es wurden deshalb die Standardantworten der beiden Stimulustypen miteinander verglichen. Es fiel dabei auf, dass auf die zweite Silbe der Kondition mit kurzer Pause keine eindeutige Auslenkung in den Standardantworten zu erkennen war. Dahingegen präsentierte sich auf die zweite Silbe des Paradigmas mit langer Pause an allen 6 Elektrodenpositionen eine minimale Positivierung.

Die Auswirkung der ersten Silbe auf die Verarbeitung der darauf folgenden zweiten Silbe im Doppelreiz war für diese Studie ebenfalls von großem Interesse. Dazu wurde die Reizantwort auf die erste Silbe mit derjenigen auf die zweite Silbe verglichen. Für die Bedingung mit kurzer Pause zeigte sich, dass im Gegensatz zur ersten Silbe auf das zweite /da/ keine klare Positivierung evoziert werden konnte. Beim Betrachten der kortikalen Potenziale auf die Kondition mit langer Pause wird deutlich, dass die P1*-Welle eine wesentlich geringere Amplitude im Grand-average aufweist als die P1-Welle. Eine Varianzanalyse konnte diese Beobachtung bestätigen (siehe Tab. 84.1.2.2, Anhang, S. 116). Des Weiteren wurde die Latenz des P1-Peaks mit der Latenz* der P1*-Welle verglichen. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in der Tab. 84.1.2.2, im Anhang auf S. 116 aufgelistet. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im zeitlichen Auftreten dieser zwei Komponenten nachgewiesen werden.

Bei der Durchsicht der Einzeldaten der Säuglinge fiel auf, dass die Ausprägung der einzelnen Gipfel einer großen Variabilität unterlag. Zur Veranschaulichung dieser individuellen Unterschiede wurden für jedes Kind die Amplituden und Latenzen der jeweiligen Komponente in einem Streudiagramm (siehe Abb. 4.1.2.3, S. 51) dargestellt.

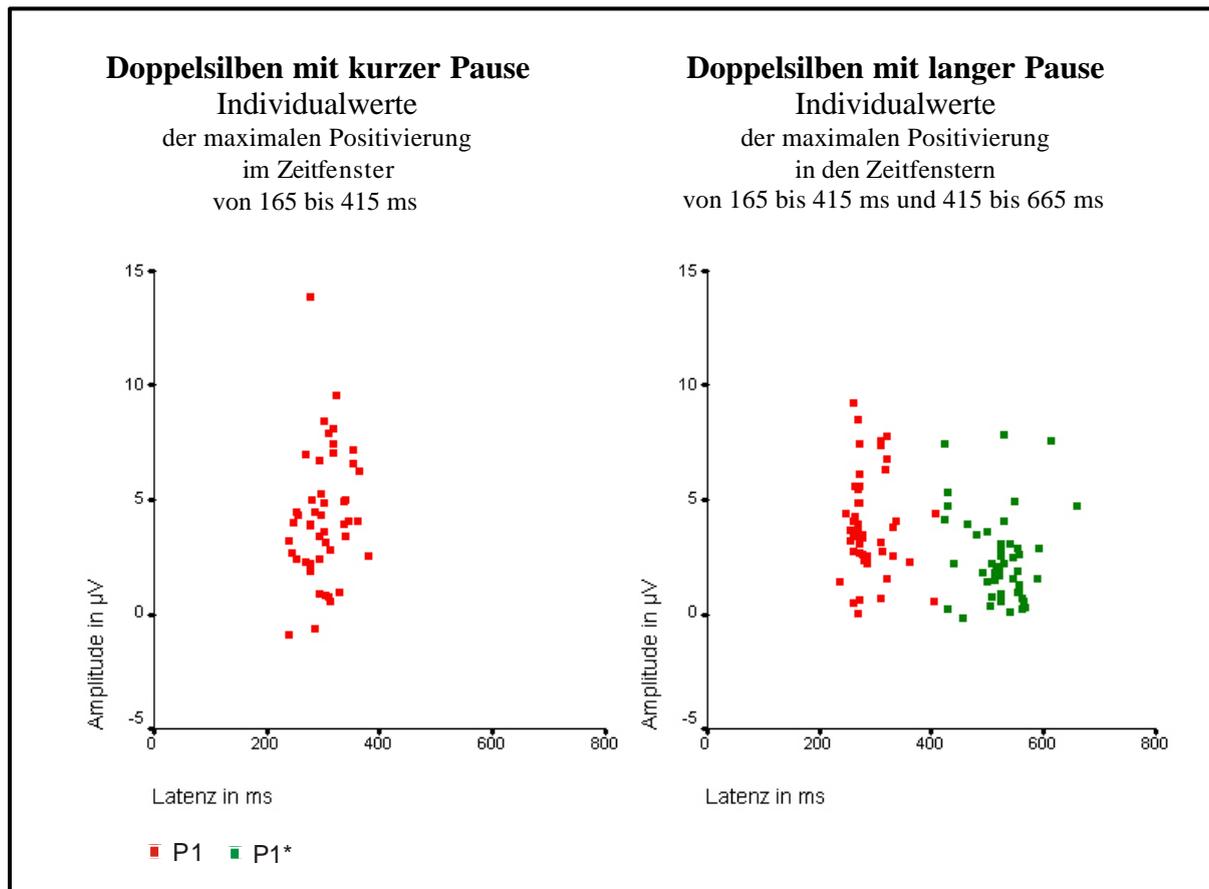


Abb. 4.1.2.3: Darstellung der Individualwerte (Amplituden, Latenzen) der maximalen Positivierung (P1, P1*) in den entsprechenden Zeitfenstern von 47 Säuglingen (im Alter von 4 Wochen) an der Elektrodenposition F3. Es zeigt sich eine breite Streuung um die Amplituden- und Latenzwerte.

Es wurde zusätzlich geprüft, ob diese individuellen Unterschiede im Zusammenhang mit den Einflussfaktoren Vigilanz oder Geschlecht stehen. Zur Untersuchung des Vigilanzeinflusses auf die kortikalen Antworten wurde das Gesamtkollektiv entsprechend der in der Tab. 3.3.2.1, (Kap. 3.3.2, S. 32) geschilderten Kriterien in 5 Gruppen unterteilt. Die Klassifizierung ergab für eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit den Größen Vigilanz und Geschlecht eine zu geringe Gruppenbesetzung. Dies lag vor allen Dingen daran, dass sich kein weibliches Studienkind während der Untersuchung im Wachzustand befand. Es wurde daraufhin entschieden, Vigilanz- und Geschlechtseffekte in zwei unterschiedlichen Varianzanalysen zu betrachten. Des Weiteren wurden bei der Untersuchung des Vigilanzeinflusses ausschließlich die wachen Kinder mit den Säuglingen im Non-REM-Schlaf verglichen. Die restlichen 3 Gruppen konnten nicht berücksichtigt werden, da sich zum einen die Kinder nicht konstant in einem

Vigilanzzustand befanden (Stadium IV und V) und zum anderen zu wenige Kinder im REM-Schlaf verweilten. Die entsprechenden Verteilungsverhältnisse der Probanden bezüglich der Einflussgrößen Geschlecht und Vigilanz (wach/Non-REM-Schlaf) sind in der Tab. 4.1.2.3 dargestellt.

Geschlecht	Doppelsilben mit kurzer Pause			Doppelsilben mit langer Pause		
	wach	Non-REM-Schlaf	gesamt	wach	Non-REM-Schlaf	gesamt
weiblich	0	8	8	0	6	6
männlich	5	15	20	6	12	18
gesamt	5	23	28	6	18	24

Tab. 4.1.2.3: Darstellung der Verteilungsverhältnisse der Probanden bezüglich der Einflussgrößen Geschlecht und Vigilanz für beide Bedingungen zum Messzeitpunkt 1. Die Fallzahlen zur Berechnung der Varianzanalyse mit dem Einflussfaktor Vigilanz (wach, Non-REM-Schlaf) sind schwarz hervorgehoben.

In der Abb. 4.1.2.4 (S. 53) sind die gemittelten Standardantworten der wachen Kinder gegen die Säuglinge im Non-REM-Schlaf für beide Bedingungen an der F3 Elektrode aufgetragen. Es fällt auf, dass die Amplitude der einzelnen Komponenten im Non-REM-Schlaf stärker ausgeprägt ist als im Wachzustand. Zusätzlich tritt bei den Säuglingen im Non-REM-Schlaf das Amplitudenmaximum verzögert in Erscheinung. Es erfolgte eine Varianzanalyse für die Zielvariablen Amplitude und Latenz mit dem Einflussfaktor Vigilanz (wach, Non-REM-Schlaf). Die beschriebenen Tendenzen erwiesen sich in der statistischen Berechnung (siehe Tab. 8.4.1.2.3 und Tab. 8.4.1.2.4, Anhang, S. 116 und 117) als signifikant. Zum Ausschluss von möglichen Interaktionen mit der Einflussgröße Geschlecht wurde die Untersuchung an einem balancierten männlichen Unterkollektiv wiederholt. Für die Bedingung mit kurzer Pause (Bedingung mit langer Pause) wurden dazu 5 (6) männliche Säuglinge im Non-REM-Schlaf 5 (6) männlichen Säuglingen im Wachzustand gegenübergestellt. Die Ermittlung der Probanden erfolgte durch das Ziehen einer Zufallsstichprobe mit Hilfe des Computerprogramms SPSS. Für beide Reize konnten dabei die oben beschriebenen Tendenzen repliziert werden. Es wurde jedoch nur für die Zielvariable Amplitude das Signifikanzniveau von $p < 0,05$ erreicht. Das Ausbleiben der signifikanten Effekte für die Latenzen ist vermutlich mit der kleineren Probandenzahl zu begründen.

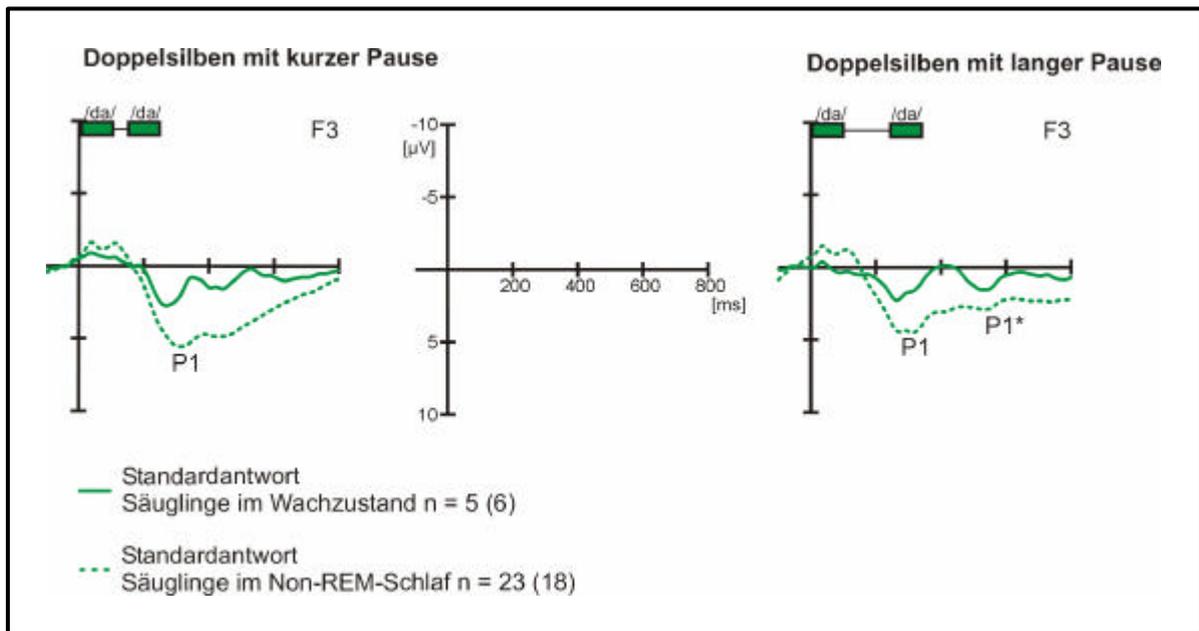


Abb. 4.1.2.4: Gemittelte Standardantworten auf die Bedingung mit kurzer Pause (links) und langer Pause (rechts) getrennt für wache Probanden (grüne durchgehende Linie) und schlafende Probanden (grüne unterbrochene Linie) im Alter von 4 Wochen. Die Kinder im Non-REM-Schlaf präsentieren bei beiden Bedingungen deutlich größere Amplituden.

Für einen Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Probanden wurde das Gesamtkollektiv von 47 Säuglingen herangezogen. In der Abb. 4.1.2.5 (S. 54) erfolgte an der F3 Elektrode eine Gegenüberstellung der gemittelten Standardantworten von 14 Mädchen und 33 Jungen. Es wird sowohl für die Doppelsilben mit kurzer als auch für die Doppelsilben mit langer Pause deutlich, dass die weibliche Probandengruppe ausgeprägtere Amplituden aufweist. Die Varianzanalyse (Zielvariablen: Latenz und Amplitude, Einflussfaktor: Geschlecht (männlich, weiblich)) erzielte für den P1-Gipfel beider Standardreize diesbezüglich signifikante Effekte. Die Beobachtung konnte ebenfalls für die P1*-Welle an der C4 Elektrode statistisch belegt werden. Für die Zielvariable Latenz ergaben sich hingegen keine signifikanten Differenzen zwischen männlichen und weiblichen Probanden (siehe Tab. 8.4.1.2.5 und Tab. 8.4.1.2.6, Anhang, S. 118). Zur Absicherung dieser Ergebnisse wurde die Untersuchung an einem kleineren Unterkollektiv wiederholt. Dabei sollte eine mögliche Interaktion mit dem Faktor Vigilanz ausgeschlossen werden. Es wurden deshalb nur Studienkinder berücksichtigt, die während der gesamten Messzeit im Non-REM-Schlaf verweilten. Durch die Ziehung einer Zufallsstichprobe wurde ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Jungen und Mädchen hergestellt. Für die Bedingung mit kurzer Pause (Bedingung mit langer Pause) wurden 8 (6) weib-

liche schlafende Kinder 8 (6) männlichen schlafenden Kindern gegenübergestellt. Dabei konnte die Tendenz einer größeren Amplitude für die weiblichen Probanden repliziert werden. Es wurde jedoch nicht mehr an allen Elektrodenpositionen das Signifikanzniveau von $p < 0,05$ erreicht, was vermutlich auf die kleinere Gruppengröße zurückzuführen ist. Als eine mögliche Erklärung für die Amplitudenunterschiede zwischen den weiblichen und männlichen Probanden erschien zunächst ein signifikant ($p = 0,043$) kleinerer Kopfumfang der Mädchen gegenüber den Jungen plausibel. Zur Überprüfung dieser Hypothese ging der Kopfumfang als Kovariate in eine weitere Varianzanalyse zur Untersuchung von Geschlechtsunterschieden ein. Jedoch zeigten sich bei dieser Berechnung keine signifikanten Effekte für die Kovariate. Gleichzeitig blieb der oben beschriebene Geschlechtseffekt bestehen.

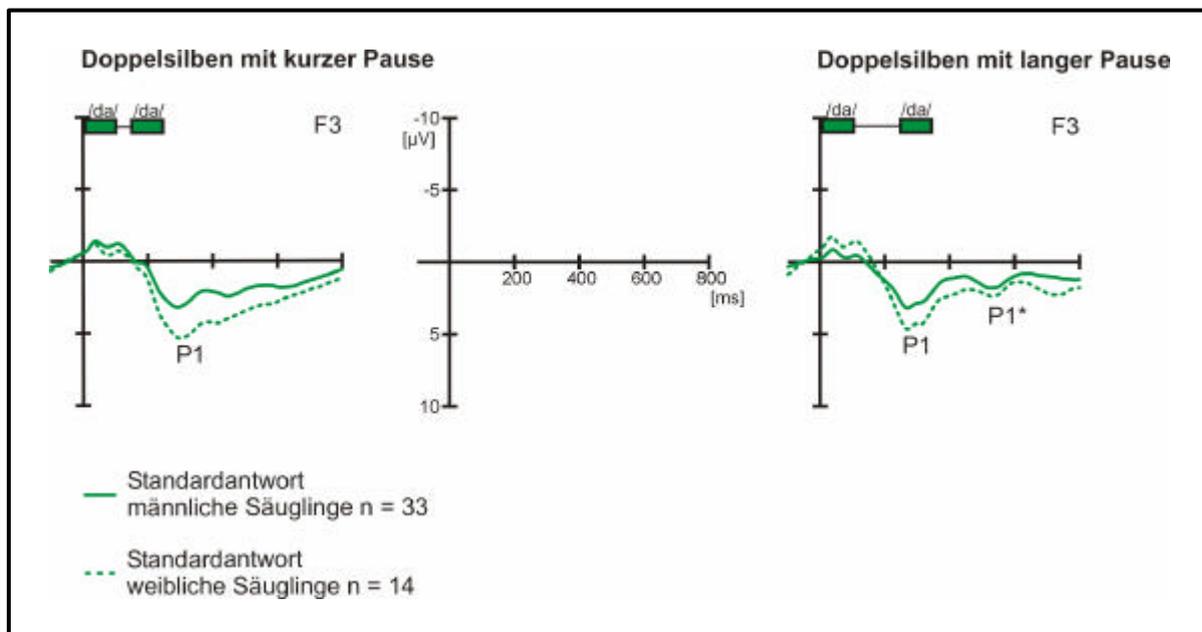


Abb. 4.1.2.5: Gemittelte Standardantworten auf die Bedingung mit kurzer Pause (links) und langer Pause (rechts) getrennt für 33 männliche (grüne durchgehende Linie) und 14 weibliche (grüne unterbrochene Linie) Probanden im Alter von 4 Wochen an der F3 Elektrode. Die Mädchen zeigen eine deutlich ausgeprägtere Amplitude als die Jungen.

4.1.3 Säuglinge im Alter von 5 Monaten

Zur Einschätzung der altersabhängigen Reifung und Entwicklung der kortikalen Potenzialantworten wurde die Messung am selben Studienkollektiv ($n = 47$) nach 4 Monaten erneut durchgeführt. Die Abb. 4.1.3.1 (S. 56) und Abb. 4.1.3.2 (S. 57) präsentieren die gemittelten Standardantworten auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause von 47 Säuglingen im Alter von 5 Monaten. Auf die erste Silbe der Reize mit kurzer Pause (siehe Abb. 4.1.3.1, S. 56) zeigt sich eine Positivierung (P1), die mit einer Latenz von 190 ms in Erscheinung tritt. Auf die zweite Silbe im Doppelreiz lässt sich an allen 6 Elektrodenpositionen ein klarer positiver Peak (P1*) um 440 ms erkennen. Ähnlich sieht es bei den Standardantworten auf die Stimuli mit langer Pause aus (siehe Abb. 4.1.3.2, S. 57). Auf die erste Silbe im Doppelreiz dominiert eine Positivierung (P1) bei 190 ms. Auf die zweite Silbe wird ebenfalls ein positiver Gipfel (P1*) mit einem Maximum bei 490 ms deutlich. Im frontozentralen Bereich zeichnet sich zusätzlich eine Teilung der P1*-Komponente in eine frühe und eine späte Auslenkung ab (siehe Pfeil). Für beide Reize kommt eine Negativierung mit niedriger Amplitude um 50 ms zur Geltung.

Aufgrund des deutlich früheren Auftretens der oben beschriebenen Komponenten konnten die gewählten Zeitfenster vom Messzeitpunkt 1 nicht übernommen werden. Es wurde für die jeweilige Positivierung ein neues Zeitintervall von 250 ms um den Gipfel des Grand-average festgelegt (siehe Tab. 4.1.3.1). Innerhalb der gewählten Zeitbereiche erfolgte die Bestimmung der Peak-Amplituden und Peak-Latenzen der maximalen Positivierung. Zusätzlich wurde der Beginn (Onset) der zweiten Silbe im Doppelreiz gleich Null gesetzt und dementsprechend die Latenzen der Komponenten auf die zweite Silbe berechnet (Latenz*). Die entsprechenden Mittelwerte (\pm STD) können aus der Tab. 4.1.3.2 (S. 58) entnommen werden.

Zeitfenster	Doppelsilben mit kurzer Pause	Doppelsilben mit langer Pause
P1	65-315 ms	65-315 ms
P1*	315-565 ms	365-615 ms

Tab. 4.1.3.1: Zeitfenster für die Bedingung 1 und 2 zur Bestimmung der Peak-Amplituden und Peak-Latenzen der jeweiligen maximalen Positivierung von 47 Säuglingen.

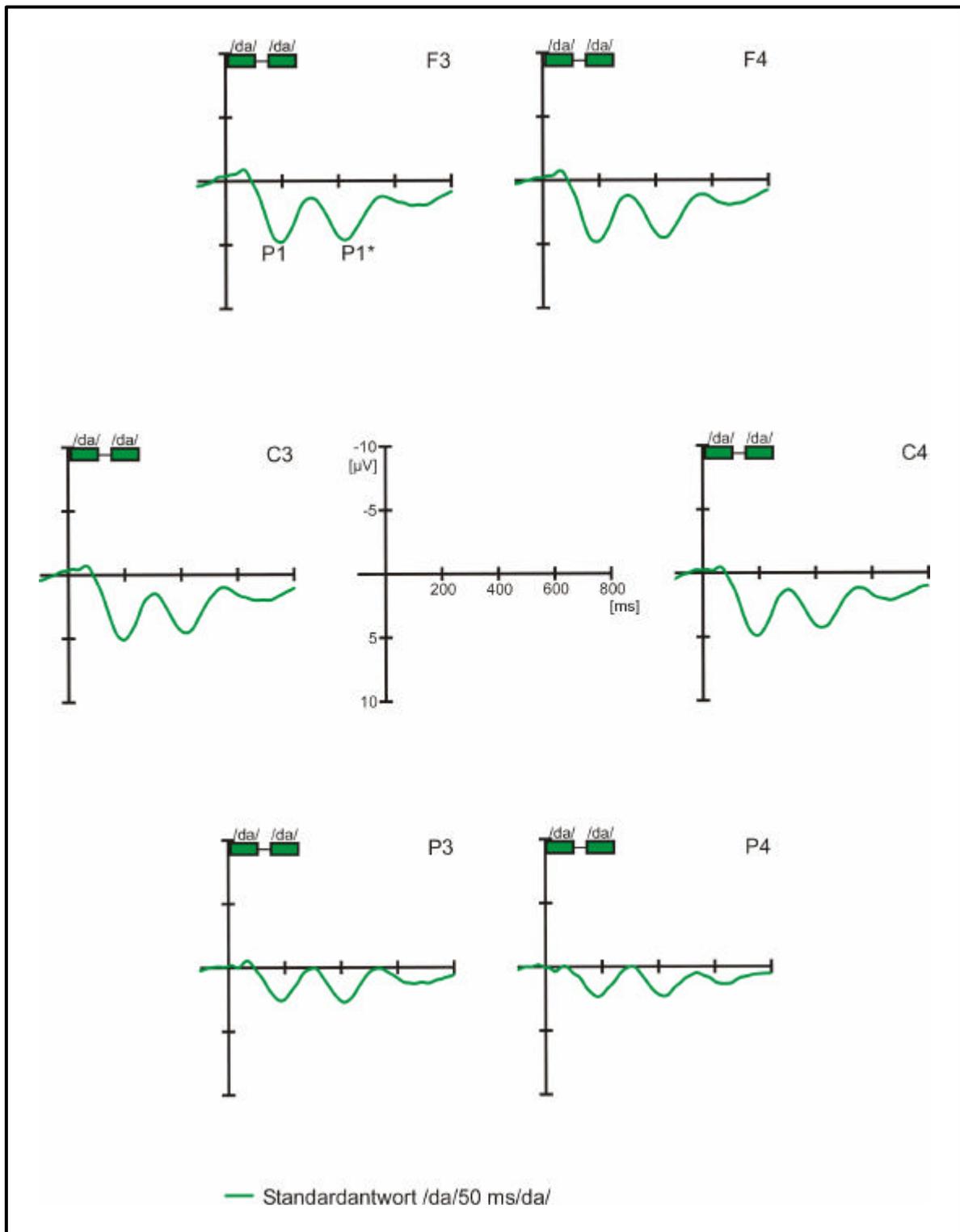


Abb. 4.1.3.1: Gemittelte Standardantworten auf die Doppelsilben mit kurzer Pause von 47 Säuglingen im Alter von 5 Monaten. Es zeigt sich auf die erste Silbe eine Positivierung (P1) bei 190 ms. Auf die zweite Silbe lässt sich ebenfalls ein positiver Gipfel (P1*) bei 440 ms an allen 6 Elektrodenpositionen erkennen.

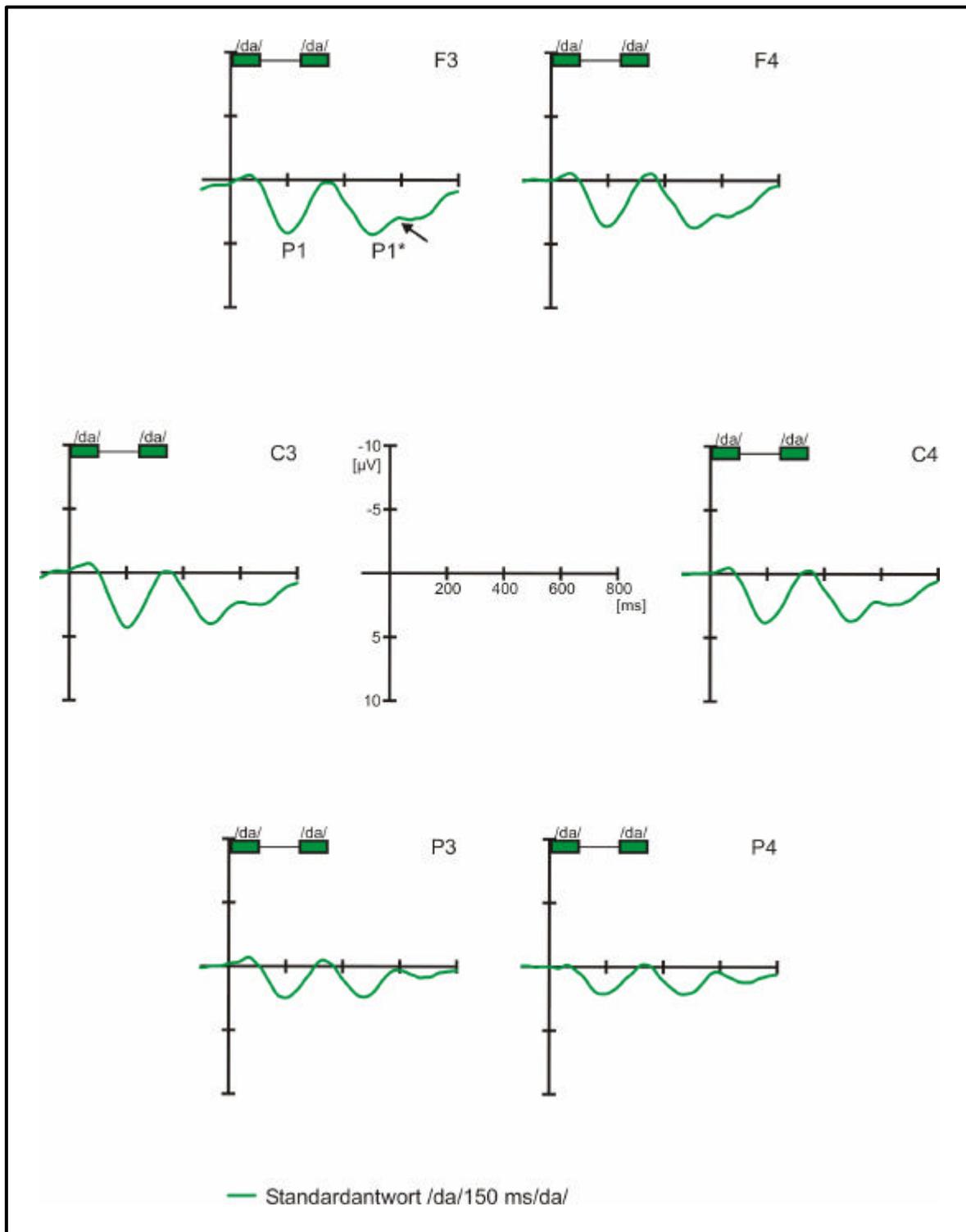


Abb. 4.1.3.2: Gemittelte Standardantworten auf die Doppelsilben mit langer Pause von 47 Säuglingen im Alter von 5 Monaten. Es zeigt sich auf die erste Silbe eine Positivierung (P1) bei 190 ms. Auf die zweite Silbe kommt ebenfalls ein positiver Gipfel (P1*) bei 490 ms zum Ausdruck. Im frontozentralen Bereich zeichnet sich zusätzlich eine Teilung der P1*-Komponente in eine frühe und eine späte Auslenkung ab (siehe Pfeil).

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte (\pm STD)			Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte (\pm STD)		
		Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms	Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms
F3	P1	6,26 (4,92)	201,02 (38,10)	-	5,42 (3,96)	213,96 (41,30)	-
	P1*	6,37 (5,67)	437,42 (52,97)	287,42 (52,97)	6,11 (4,59)	480,62 (57,00)	230,62 (57,00)
C3	P1	6,54 (4,44)	199,32 (40,50)	-	6,01 (3,94)	217,79 (38,70)	-
	P1*	6,23 (5,54)	435,73 (55,01)	289,73 (5,01)	6,29 (4,54)	480,35 (51,84)	230,35 (51,84)
P3	P1	3,46 (2,81)	190,38 (37,01)	-	3,88 (2,44)	204,94 (47,82)	-
	P1*	3,63 (2,81)	417,70 (48,57)	267,70 (48,57)	3,92 (2,57)	480,26 (47,82)	230,26 (47,82)
F4	P1	6,47 (4,79)	193,28 (39,04)	-	5,44 (4,00)	216,17 (42,85)	-
	P1*	5,95 (5,96)	435,49 (51,79)	285,49 (51,79)	5,60 (4,59)	490,13 (58,70)	240,13 (58,70)
C4	P1	6,46 (4,64)	196,85 (37,72)	-	5,27 (4,08)	217,23 (41,68)	-
	P1*	5,72 (5,76)	436,00 (55,09)	286,00 (55,09)	5,76 (4,49)	480,26 (54,39)	230,26 (54,39)
P4	P1	3,39 (2,65)	183,57 (39,71)	-	3,58 (2,73)	198,81 (51,01)	-
	P1*	3,31 (3,12)	432,00 (54,19)	282,00 (54,19)	3,62 (2,63)	470,09 (50,83)	220,09 (50,83)

Tab. 4.1.3.2: Mittelwerte (\pm STD) für die Amplituden und Latenzen (Latenzen*) der Komponenten P1 und P1* beider Bedingungen von 47 Säuglingen.

Beim Betrachten der Abb. 4.1.3.1 (S. 56) und Abb. 4.1.3.2 (S. 57) werden Differenzen zwischen den einzelnen Elektrodenpositionen bezüglich der Amplitudenausprägung deutlich. Die Amplituden sind an den frontalen und zentralen Elektroden stärker ausgeprägt als in der parietalen Ableitung. Eine Varianzanalyse (siehe Tab. 8.4.1.3.1, Anhang, S. 119) mit den Einflussfaktoren Region (frontal, zentral, parietal) und Hemisphäre (links, rechts) bestätigte die regionalen Unterschiede sowohl für die Komponenten P1 und P1* auf die Bedingung mit kurzer Pause ($F = 24,600$, $p = 0,000$ und $F = 20,843$, $p = 0,000$) als auch für die Gipfel P1 und P1* ($F = 22,549$, $p = 0,000$ und $F = 22,660$, $p = 0,000$) auf die Kondition mit langer Pause. Zusätzlich

ergab sich für den P1*-Peak des Paradigmas mit langer Pause eine Lateralisierung zur linken Hemisphäre ($F = 4,978$, $p = 0,031$).

In der Abb. 4.1.3.3 sind die gemittelten Standardantworten der Säuglinge im Alter von 4 Wochen und 5 Monaten für die jeweilige Bedingung an der F3 Elektrode zur Einschätzung der altersabhängigen Reifung und Entwicklung aufgetragen. Während sich die Gipfel im Alter

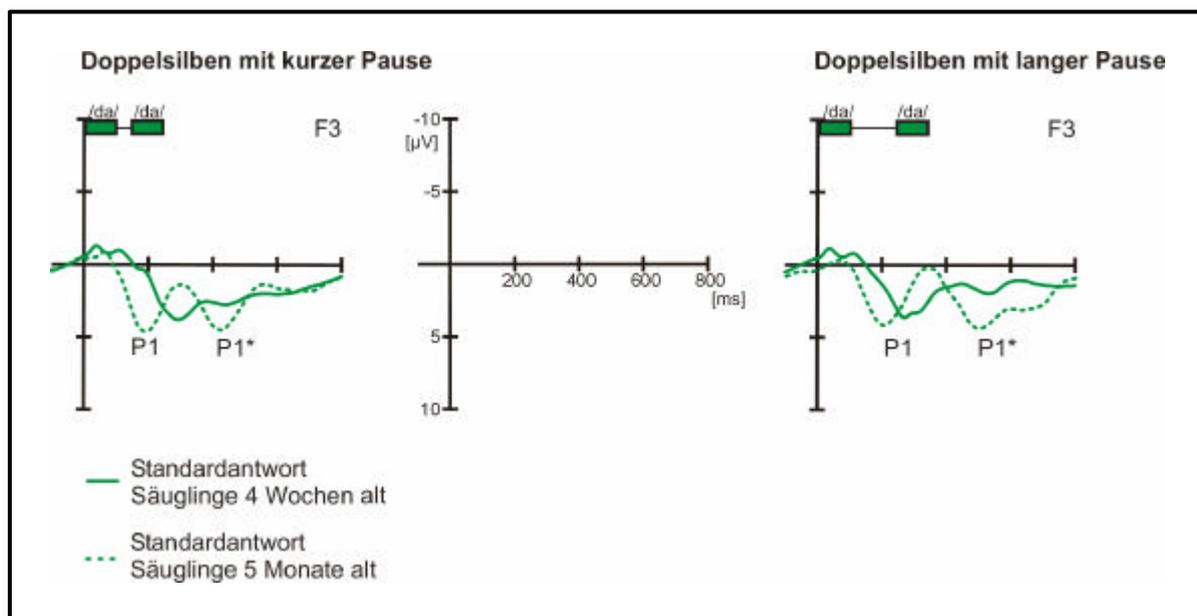


Abb. 4.1.3.3: Gemittelte Standardantworten im Alter von 4 Wochen (grüne durchgezogene Linien) und der Wiederholungsmessung im Alter von 5 Monaten (grüne unterbrochene Linien) von 47 Säuglingen für die Doppelsilben mit kurzer Pause (links) und langer Pause (rechts) an der F3 Elektrode. Es wird deutlich, dass im Verlauf der ersten Entwicklungsmonate die Amplituden sich vergrößert und zu schärferen Peaks differenziert haben. Zusätzlich fällt eine altersbedingte Latenzabnahme auf.

von 4 Wochen noch sehr diffus darstellen, zeigen die Potenzialantworten im Alter von 5 Monaten schon wesentlich schärfere Amplitudenspitzen. Des Weiteren wird ersichtlich, dass im Verlauf der 4 Monate die Amplituden sich vergrößert und die Latenzen verringert haben. Mittels einer Varianzanalyse wurden diese Beobachtungen mit den Zielvariablen Amplitude und Latenz und dem Einflussfaktor Alter (4 Wochen, 5 Monate) überprüft (siehe Tab. 8.4.1.3.2 und Tab. 8.4.1.3.3, Anhang, S. 119 und S. 120). Die beschriebenen Amplitudeneffekte konnten statistisch abgesichert werden. Zusätzlich erzielte die Varianzanalyse für die jeweilige Komponente eine signifikante Latenzabnahme innerhalb der ersten Lebensmonate.

Des Weiteren wurden die kortikalen Potenzialantworten beider Stimulustypen miteinander verglichen. Die Untersuchung des Einflusses der Pausenlänge auf die Verarbeitung der zweiten Silbe im Doppelreiz stand in diesem Zusammenhang im Vordergrund. Es wurde deshalb die P1*-Welle auf die Bedingung mit kurzer Pause dem P1*-Gipfel auf die Bedingung mit langer Pause gegenübergestellt. Eine Varianzanalyse mit dem Einflussfaktor Stimulustyp (/da/50 ms/da/, /da/150 ms/da) erbrachte für die Zielvariable Amplitude keine signifikanten Effekte. Des Weiteren wurden die beiden Komponenten auf signifikante Unterschiede bezüglich der Latenz* überprüft. Der P1*-Peak auf die Bedingung mit kurzer Pause trat dabei signifikant später in Erscheinung als die Vergleichskomponente. Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung sind nochmals tabellarisch (siehe Tab. 8.4.1.3.4) im Anhang auf S. 121 dargestellt.

Entsprechend der Auswertung im Alter von 4 Wochen wurde der Einfluss der ersten Silbe auf die Prozesse der Verarbeitung der zweiten Silbe untersucht. Dazu wurde für die jeweilige Bedingung der P1-Gipfel dem P1*-Gipfel in einer Varianzanalyse (Zielvariablen: Amplitude, Latenz (*), Einflussfaktor: Doppelreiz (erste Silbe, zweite Silbe)) gegenübergestellt. Im Gegensatz zum Messzeitpunkt 1 ergaben sich keine signifikanten Amplitudenunterschiede zwischen den Komponenten P1 und P1*. Des Weiteren wurde die Latenz der P1-Welle mit der Latenz* der P1*-Welle in einer Varianzanalyse (siehe Tab. 8.4.1.3.5 und Tab. 8.4.1.3.6, Anhang, S. 121 und S. 122) verglichen. Bezüglich des zeitlichen Auftretens konnte für beide Bedingungen eine Latenzverzögerung des P1*-Peaks gegenüber dem P1-Peak nachgewiesen werden.

In der Abb. 4.1.3.4 (S. 61) wurden die Amplituden und Latenzen für die jeweilige Komponente für 47 Probanden in einem Streudiagramm dargestellt. Auch im Alter von 5 Monaten zeigt sich eine breite Variabilität in den Daten.

Bei der Auswertung der Ergebnisse im Alter von 4 Wochen konnte eine Verknüpfung zwischen der Variabilität der Einzeldaten und den Einflussgrößen Vigilanz und Geschlecht festgestellt werden. Es wurden deshalb die Ergebnisse im Alter von 5 Monaten ebenfalls auf entsprechende Zusammenhänge untersucht. Die Vorgehensweise zur Gruppeneinteilung entsprach dem Verfahren zum Messzeitpunkt 1. Die Tab. 4.1.3.3 (S. 62) zeigt für beide Bedingungen die Geschlechtsverteilung zwischen den Säuglingen im Wachzustand und den Kindern im Non-REM-Schlaf. In einer Varianzanalyse wurden die Amplituden und Latenzen

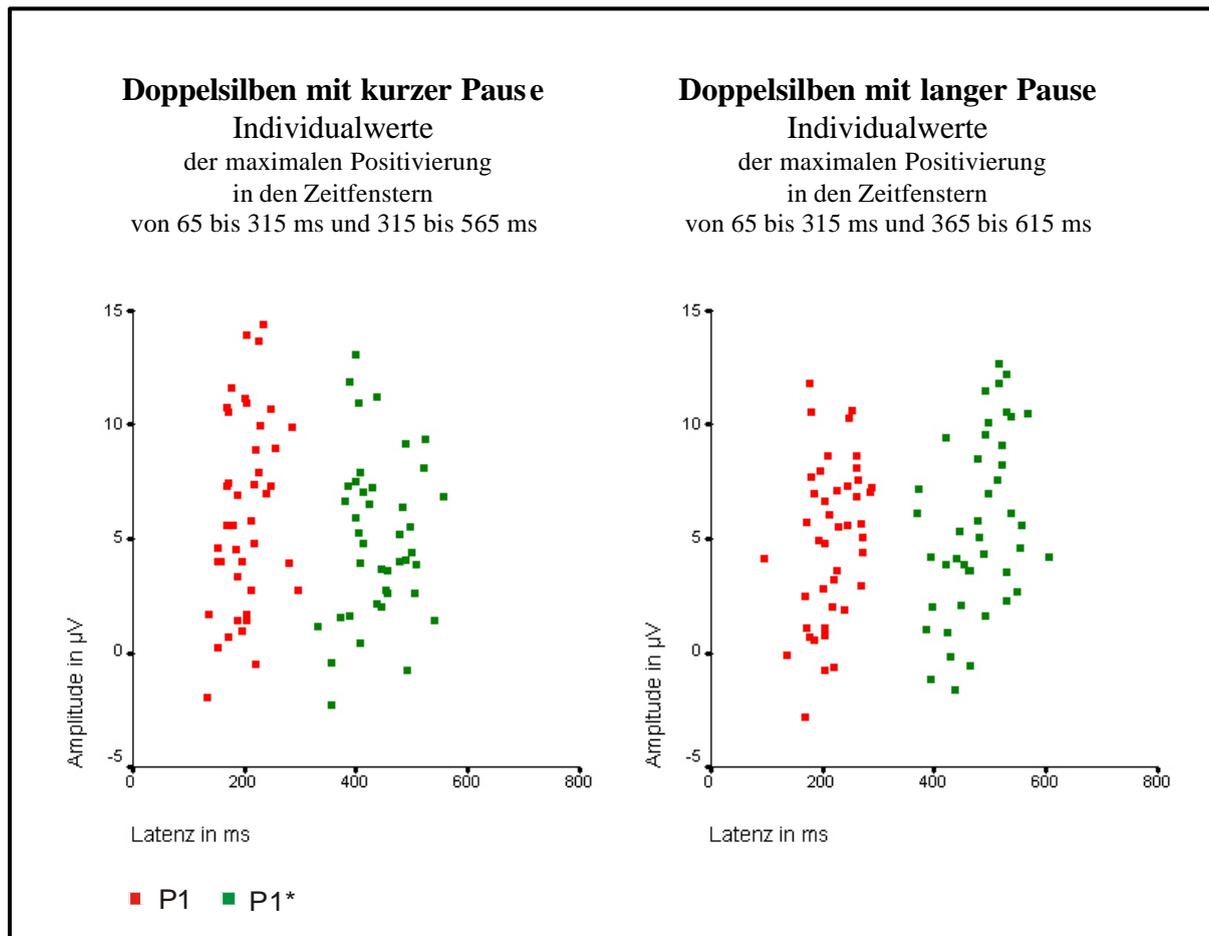


Abb. 4.1.3.4: Darstellung der Individualwerte (Amplituden, Latenzen) der maximalen Positivierung (P1, P1*) in den entsprechenden Zeitfenstern von 47 Säuglingen im Alter von 5 Monaten an der Elektrodenposition F3. Es zeigt sich eine breite Streuung um die Amplituden- und Latenzwerte.

der P1 und der P1* beider Stimulustypen auf Differenzen bezüglich des Einflussfaktors Vigilanz (wach, Non-REM-Schlaf) überprüft (siehe Tab. 8.4.1.3.7 und Tab. 8.4.1.3.8, Anhang, S. 122 und 123). Aus der statistischen Berechnung resultierten für die P1-Welle keine signifikanten Amplitudenunterschiede. Dagegen erzielte die Varianzanalyse für die Kinder im Non-REM-Schlaf signifikant größere P1*-Amplitudenwerte als für die wachen Studienteilnehmer. Zusätzlich konnte im Non-REM-Schlaf ein signifikant verzögertes Auftreten der kortikalen Potenzialantworten dokumentiert werden.

Zur Überprüfung von geschlechtsspezifischen Unterschieden in den Standardantworten im Alter von 5 Monaten wurde eine Varianzanalyse für den Einflussfaktor Geschlecht (männlich, weiblich) durchgeführt (siehe Tab. 8.4.1.3.9 und Tab. 8.4.1.3.10, Anhang, S. 124 und S. 125).

Die Amplituden und Latenzen der Komponenten P1 und P1* beider Paradigmen wurden als Zielvariable eingesetzt. Im Gegensatz zu den Ergebnissen im Alter von 4 Wochen konnten keine signifikanten Unterschiede in der Amplitudenausprägung zwischen Mädchen und Jungen gefunden werden. Es ergaben sich ebenfalls keine Differenzen im zeitlichen Auftreten der genannten Komponenten.

Geschlecht	Doppelsilben mit kurzer Pause			Doppelsilben mit langer Pause		
	wach	Non-REM- Schlaf	gesamt	wach	Non-REM- Schlaf	gesamt
weiblich	2	7	9	4	5	9
männlich	8	18	26	8	18	26
gesamt	10	25	35	12	23	35

Tab. 4.1.3.3: Darstellung der Verteilungsverhältnisse der Probanden im Alter von 5 Monaten bezüglich der Einflussgrößen Geschlecht und Vigilanz für beide Bedingungen. Die Fallzahlen zur Berechnung der Varianzanalyse mit dem Einflussfaktor Vigilanz (wach/Non-REM-Schlaf) sind schwarz hervorgehoben.

4.2 Mismatch-Antworten auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause

4.2.1 Erwachsene Probanden

In die Auswertung des Mismatch-Paradigmas der Kontrollgruppe gingen die Daten von insgesamt 24 erwachsenen Probanden ein. In der Abb. 4.2.1.1 (S. 64) und der Abb. 4.2.1.2 (S. 65) sind die gemittelten Standardantworten, Deviantantworten und die entsprechenden Differenzkurven (Deviant minus Standard) auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause dargestellt. Beim Betrachten der Abb. 4.2.1.1 (S. 64) fällt auf, dass die Differenzkurven auf die Stimuli mit kurzer Pause zwei negative Peaks aufweisen. Die erste Negativierung (MMN I) zeigt einen spitzen Gipfel um 250 ms. Die zweite Negativierung (MMN II) erreicht eine maximale Ausprägung bei 450 ms. Zwischen diesen zwei Komponenten stellt sich eine positive Auslenkung in den Kurven dar. In der Abb. 4.2.1.2 (S. 65) wird auf die Reize mit langer Pause ein negativer Gipfel (MMN I) mit einer Latenz bei 350 ms deutlich.

Für die statistische Auswertung wurden Zeitfenster von 100 ms um die Gipfel des Grand-average der Differenzkurven festgelegt und sind in der Tab. 4.2.1.1 für beide Stimulustypen aufgelistet. Innerhalb dieser Differenzkurvenabschnitte erfolgte für jeden Probanden die Bestimmung der Peak-Amplitude sowie der Peak-Latenz der maximalen Negativierung. Zusätzlich wurde der Beginn (Onset) der zweiten Silbe im Doppelreiz gleich Null gesetzt und dementsprechend die Latenzen der einzelnen Komponenten berechnet (Latenz*). Die Mittelwerte (\pm STD) können der Tab. 4.2.1.2 (S. 66) entnommen werden. Des Weiteren wurden für alle Erwachsenen die mittleren Amplituden der Differenzkurven in 50 ms Zeitfenstern von 75 bis 725 (bzw. 825) ms ausgelesen. Die Bereiche des Grand-average, die im Einstichproben t-Test signifikante ($p < 0,05$) Abweichungen der Differenzkurve von der Nulllinie (Testwert = 0 μ V) ergaben, wurden unter den Kurven gekennzeichnet.

Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Zeitfenster	Doppelsilben mit langer Pause Zeitfenster
MMN I	200 bis 300 ms	300 bis 400 ms
MMN II	400 bis 500 ms	-

Tab. 4.2.1.1: Zeitfenster für die Bedingung 1 und 2 zur Bestimmung der Peak-Amplituden und Peak-Latenzen der maximalen Negativierung bei 24 erwachsenen Kontrollpersonen.

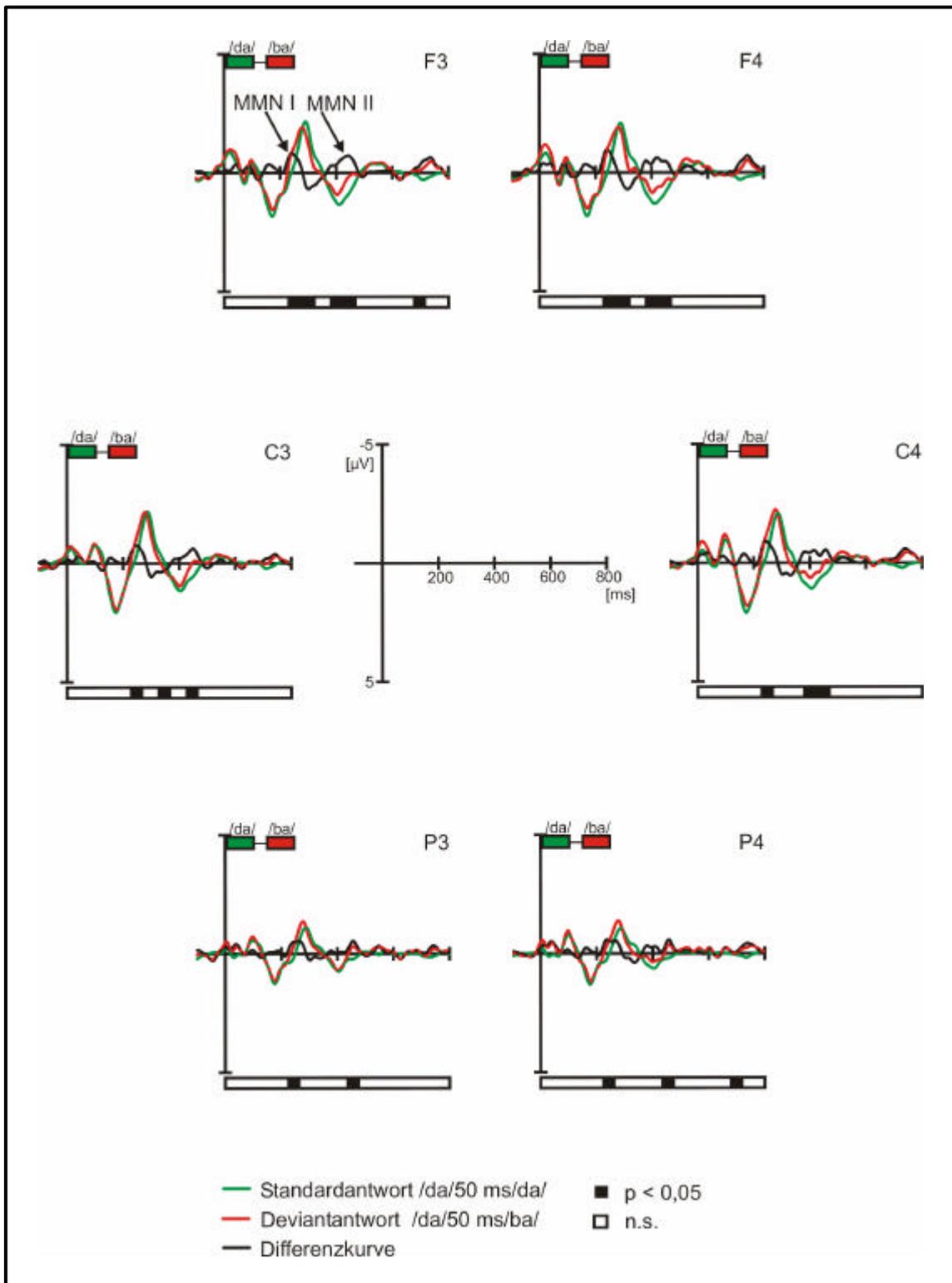


Abb. 4.2.1.1: Gemittelte Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit kurzer Pause von 24 erwachsenen Kontrollpersonen. Es präsentiert sich eine Negativierung (MMN I) um 250 ms sowie eine zweite negative Komponente (MMN II) um 450 ms in den Differenzkurven.

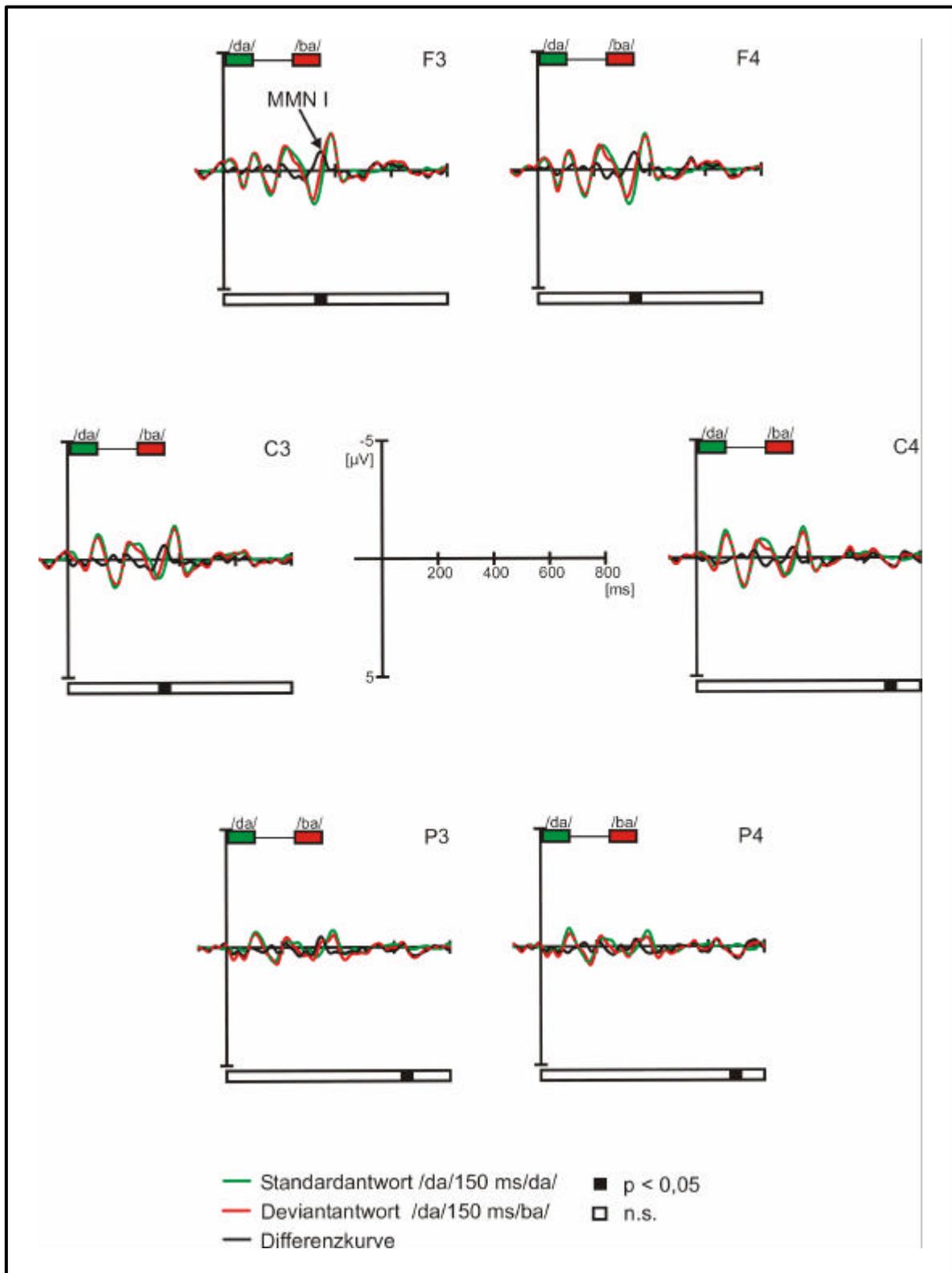


Abb. 4.2.1.2: Gemittelte Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit langer Pause von 24 erwachsenen Kontrollpersonen. Es zeigt sich eine Negativierung (MMN I) um 350 ms in den Differenzkurven.

Elektrode	Komponente	Doppelsilben mit kurzer Pause Mittelwerte (\pm STD)			Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte (\pm STD)		
		Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms	Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms
F3	MMN I	-1,40 (0,65)	246,33 (19,20)	96,33 (19,20)	-1,47 (0,90)	353,00 (24,07)	103,00 (24,07)
	MMN II	-1,47 (0,89)	452,17 (22,67)	302,17 (22,67)	-	-	-
C3	MMN I	-1,24 (0,66)	240,00 (16,78)	90,00 (16,78)	-1,14 (0,64)	357,50 (21,55)	107,50 (21,55)
	MMN II	-1,22 (0,64)	452,70 (23,31)	302,70 (23,31)	-	-	-
P3	MMN I	-1,00 (0,61)	251,67 (24,23)	101,67 (24,23)	-0,89 (0,59)	348,83 (22,03)	98,83 (22,03)
	MMN II	-1,04 (0,57)	463,00 (18,58)	313,00 (18,58)	-	-	-
F4	MMN I	-1,56 (0,79)	248,83 (20,22)	98,83 (20,22)	-1,40 (0,81)	346,43 (21,53)	96,43 (21,53)
	MMN II	-1,27 (0,82)	450,18 (24,80)	300,18 (24,80)	-	-	-
C4	MMN I	-1,37 (0,56)	248,50 (19,64)	98,50 (19,64)	-0,99 (0,75)	348,87 (19,96)	98,87 (19,96)
	MMN II	-1,09 (0,55)	452,00 (24,66)	302,00 (24,66)	-	-	-
P4	MMN I	-1,22 (0,43)	251,33 (24,05)	101,33 (24,05)	-0,94 (0,58)	353,04 (20,44)	103,04 (20,44)
	MMN II	-1,07 (0,55)	456,00 (22,81)	306,00 (22,81)	-	-	-

Tab. 4.2.1.2: Mittelwerte (\pm STD) für die Amplituden und Latenzen (Latenzen*) der MMN I und MMN II in den Differenzkurven auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause bei 24 erwachsenen Kontrollpersonen.

Zur Untersuchung von topographischen Unterschieden in den Mismatch-Antworten wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Es erfolgte für beide Paradigmen die Berechnung der Zielvariablen Amplitude und Latenz mit den Einflussfaktoren Region (frontal, zentral, parietal) und Hemisphäre (rechts, links) (siehe Tab. 8.4.2.1.1, Anhang, S. 126). Des Weiteren ging das Geschlecht (männlich, weiblich) als Zwischensubjektfaktor in die Berechnung ein. Es resultierten für die Amplituden der MMN I der Kondition mit kurzer Pause ($F = 7,384$, $p = 0,006$) sowie der Bedingung mit langer Pause ($F = 9,393$, $p = 0,003$) signifikante regionale Unterschiede (frontal > zentral > parietal). Gleiches galt für die Amplituden der MMN II ($F = 4,252$, $p = 0,043$). Die MMN

auf den Stimulustyp mit kurzer Pause zeigte zusätzlich rechtshemisphärisch signifikant ($F = 6,279$, $p = 0,02$) größere Amplitudenwerte als linkshemisphärisch. Für beide Bedingungen konnten keine signifikanten Latenzunterschiede ermittelt werden. Das Geschlecht zeigte sich ebenfalls nicht als signifikante Einflussgröße.

Zur Untersuchung des Einflusses der Pausenlänge auf die Verarbeitung von Doppelreizen wurden die Differenzkurven der beiden Bedingungen einander gegenübergestellt (siehe Abb. 4.2.1.3). Es wird deutlich, dass auf die Kondition mit kurzer Pause zwei MMN-Antworten

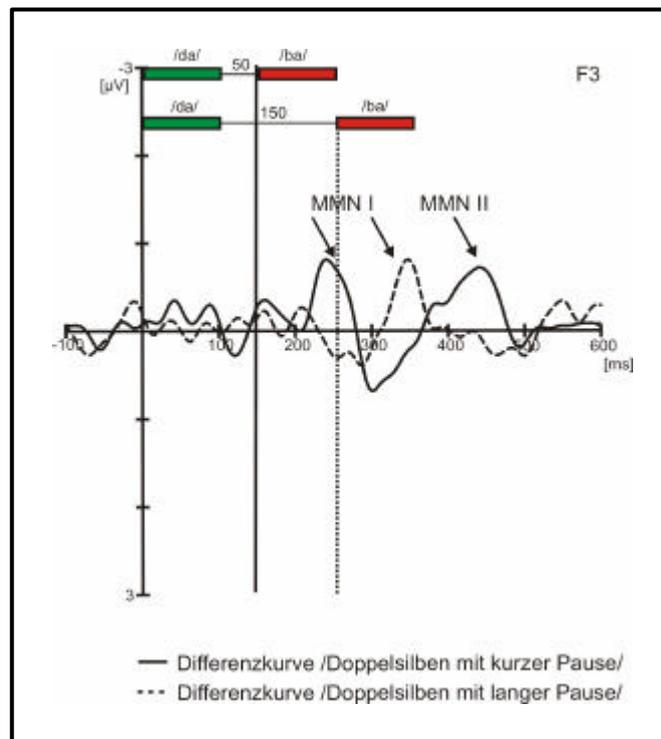


Abb. 4.2.1.3: Differenzkurven (Grand-average) auf die Doppelsilben mit kurzer Pause (durchgehende Linie) und langer Pause (unterbrochene Linie) von 24 erwachsenen Probanden an der F3 Elektrode. Die zwei zusätzlichen Achsen veranschaulichen den Beginn des bedeutungswirksamen Wechsels (Change onset) für die jeweilige Bedingung. Es stellt sich für beide Stimulustypen eine MMN I und für das Paradigma mit kurzer Pause zusätzlich eine MMN II dar.

evoziert wurden, wohingegen in den Differenzkurven auf die Stimuli mit langer Pause nur eine Mismatch-Antwort zum Ausdruck kommt. Die MMN I auf die Reize mit kurzer Pause wurde mit der MMN I auf die Bedingung mit langer Pause in einer Varianzanalyse verglichen. Die Zielvariablen Amplitude und Latenz* wurden auf signifikante Unterschiede hin-

sichtlich des Einflussfaktors Stimulustyp (Doppelsilben mit kurzer Pause, Doppelsilben mit langer Pause) an 6 Elektrodenpositionen überprüft (siehe Tab. 8.4.2.1.2, Anhang, S. 126). Die Amplituden auf die Doppelsilben mit langer Pause tendierten zu kleineren Werten als die Amplituden auf die Kondition mit kurzer Pause. Dieser Effekt konnte an der Position C4 statistisch ($F = 7,552$, $p = 0,012$) abgesichert werden. Zusätzlich trat an der C3 Elektrode die MMN I auf die Stimuli mit langer Pause signifikant ($F = 10,579$, $p = 0,004$) später auf als die des Vergleichs-
paradigmas.

In der Abb. 4.2.1.4 sind von 24 Erwachsenen die Amplituden und Latenzen der einzelnen Komponenten in einem Streudiagramm an der F3 Elektrode für beide Konditionen dargestellt.

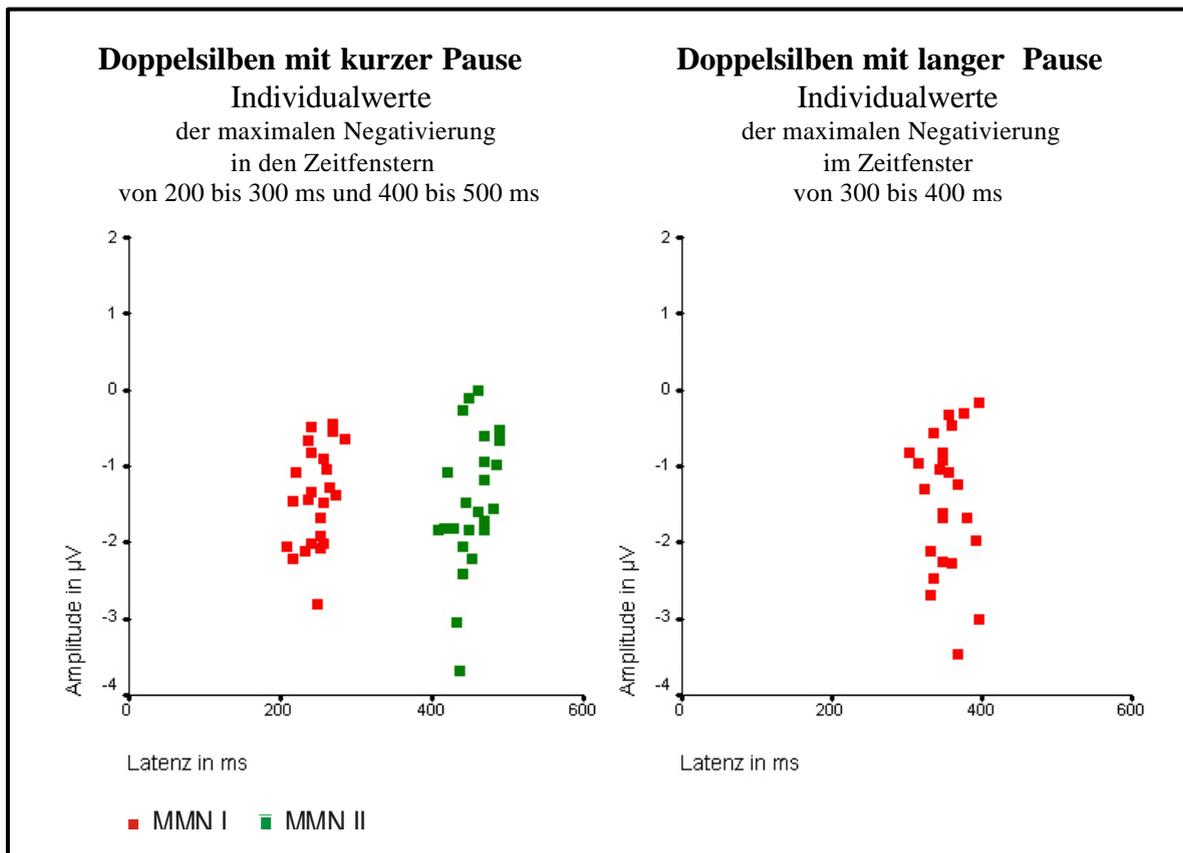


Abb. 4.2.1.4: Darstellung der Individualwerte (Amplituden, Latenzen) der maximalen Negativierung (MMN I, MMN II) in den entsprechenden Zeitfenstern von 24 Erwachsenen an der Elektrodenposition F3. Es zeigt sich eine breite Streuung um die Amplitudenwerte.

Es kann eine breite Verteilung hinsichtlich der Amplitudenwerte verzeichnet werden. Für eine objektive Beurteilung der individuellen Daten wurde daher nur die Auslenkung der Differenz-

kurve als MMN gewertet, welche an der F3 Elektrode einen Amplitudenwert von $< -0,5 \mu\text{V}$ erreichte. Es wurde die Position F3 gewählt, da in den meisten Fällen die Amplituden im Grand-average an dieser Elektrode am stärksten ausgeprägt waren. Es ergab sich daraus für 22 (91,67 %) von 24 Probanden eine MMN I und für 21 (87,50 %) von 24 Versuchspersonen eine MMN II auf die Doppelsilben mit kurzer Pause. 20 (83,34 %) von 24 Teilnehmern präsentierten eine MMN I auf die Bedingung mit langer Pause.

Zur Einschätzung der Stabilität der Ergebnisse wurde 4 Monate nach der ersten Datenerhebung eine Wiederholungsmessung für beide Bedingungen bei jeweils 13 Erwachsenen durchgeführt. Die Auswertung erfolgte entsprechend der Vorgehensweise zum Messzeitpunkt 1. Die gemittelten Differenzkurven des ersten und zweiten Experiments sind für beide Stimulustypen in der Abb. 4.2.1.5 dargestellt. Im Grand-average der zweiten Messung lassen sich erneut zwei MMN-Antworten auf die Stimuli mit kurzer Pause bei 250 bzw. 450 ms sowie eine Mismatch-Antwort auf die Reize mit langer Pause bei 350 ms erkennen. Somit konnte eine

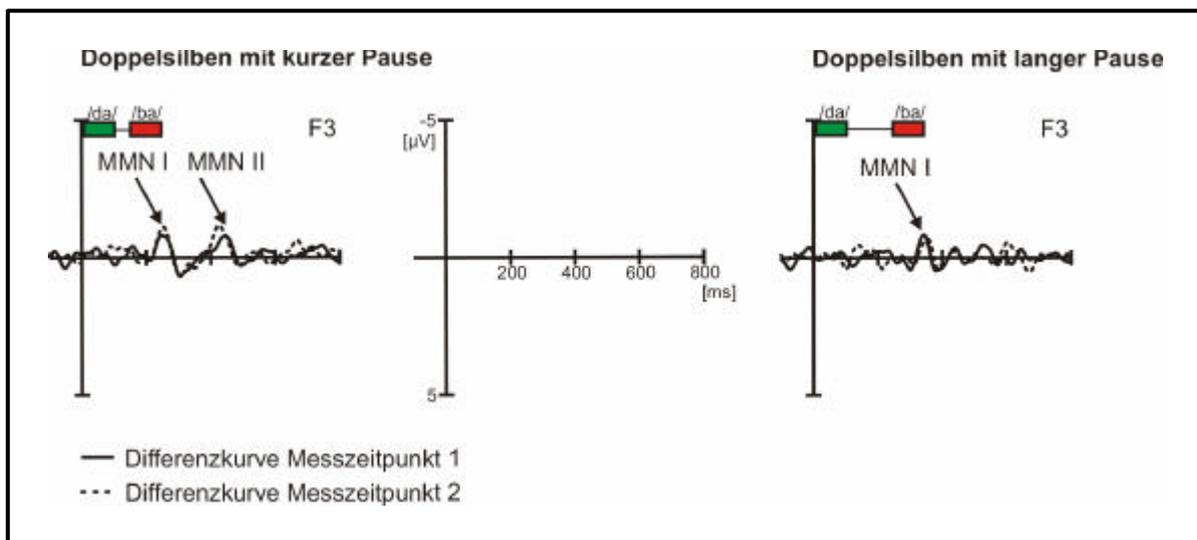


Abb. 4.2.1.5: Gemittelte Differenzkurven der 1. Messung (schwarze durchgezogene Linien) und der Wiederholungsmessung (schwarze unterbrochene Linien) bei gesunden Erwachsenen ($n = 13$) für die Doppelsilben mit kurzer Pause (links) und langer Pause (rechts). Es zeigt sich eine gute Re-test-Stabilität der Ergebnisse.

gute Re-test-Stabilität der Ergebnisse nachgewiesen werden. Es erfolgte zusätzliche eine individuelle Datenanalyse an der F3 Elektrode. Die Resultate sind in der Tab. 4.2.1.3 (S.70) aufgelistet und veranschaulichen eine gute Reproduzierbarkeit der Einzeldaten. Für die statisti-

sche Analyse wurde die Elektrodenposition F3 gewählt, da hier die MMN-Gipfel bei beiden Messungen am stärksten ausgeprägt waren. Bei der Berechnung wurden nur die Probanden berücksichtigt, bei denen die entsprechende Komponente zu beiden Messzeitpunkten beobachtet werden konnte. Die Varianzanalyse mit dem Einflussfaktor Messzeitpunkt (Messzeitpunkt 1, Messzeitpunkt 2) erbrachte für beide Bedingungen keine signifikanten Amplituden bzw. Latenzunterschiede (siehe Tab. 8.4.2.1.3, Anhang, S. 127).

Messzeitpunkt	Doppelsilben mit kurzer Pause		Doppelsilben mit langer Pause
	MMN I	MMN II	MMN I
1	13 (100,00 %)	11 (84,61 %)	10 (76,92 %)
2	12 (92,31 %)	10 (76,92 %)	10 (76,92 %)
1 und 2	12 (92,31 %)	9 (69,23 %)	7 (53,85 %)

Tab. 4.2.1.3: 13 Probanden nahmen zu beiden Untersuchungsterminen an der EKP-Messung teil. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der individuellen Datenanalysen für beide Bedingungen an der F3 Elektrode. Es sind die Anzahl der Personen und deren prozentualer Anteil am Gesamtkollektiv (n = 13) aufgelistet, die die entsprechende Komponente ($< -0,5 \mu\text{V}$) in ihren Differenzkurven präsentierten. Es zeigt sich eine gute Reproduzierbarkeit der Daten in der Einzelanalyse.

4.2.2 Säuglinge im Alter von 4 Wochen

Es wurden die Daten von insgesamt 47 Kindern im Alter von 4 Wochen ausgewertet. In der Abb. 4.2.2.1 (S. 72) und der Abb. 4.2.2.2 (S. 73) sind die gemittelten Standardantworten, Deviantantworten und die entsprechenden Differenzkurven (Deviant minus Standard) auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause dargestellt. Aufgrund der großen Amplitudenwerte der kortikalen Potenzialantworten wurde in den folgenden Abbildungen die Skalierung der y-Achse auf $\pm 10 \mu\text{V}$ geändert. Bei der Betrachtung der Grafiken wird deutlich, dass sowohl für die Bedingung mit kurzer als auch für die Bedingung mit langer Pause die Kurvenverläufe von Standard- und Deviantantwort übereinstimmen. In den Differenzkurven zeichnen sich dementsprechend keine eindeutigen Auslenkungen von der Nulllinie ab.

Zur statistischen Absicherung dieser Ergebnisse wurden die mittleren Amplituden der Differenzkurven in 50 ms Zeitfenstern von 75 bis 725 (bzw. 825) ms ausgelesen. Es folgte durch die Anwendung des Einstichproben t-Tests eine Untersuchung der mittleren Amplituden auf signifikante ($p < 0,05$) Abweichungen von der Nulllinie (Testwert = $0 \mu\text{V}$). Für beide Stimulustypen konnten keine signifikanten Bereiche in den Kurvenverläufen nach dem bedeutungswirksamen Wechsel (Change onset) verzeichnet werden.

Bei der Durchsicht der Einzeldaten fiel auf, dass die Antwortmuster beider Bedingungen einer großen Variabilität unterlagen und keine eindeutigen Tendenzen erkennen ließen. Die Differenzkurven variierten dabei zwischen positiven und negativen Auslenkungen. Aufgrund dieser hohen Varianz erfolgte eine Beschränkung der Auswertung auf Gruppenebene. Es wurde jedoch geprüft, ob die individuellen Unterschiede möglicherweise im Zusammenhang mit den Einflussfaktoren Vigilanz (wach, Non-REM-Schlaf) oder Geschlecht (männlich, weiblich) stehen. Um eine möglichst detaillierte Varianzanalyse durchführen zu können, wurden die mittleren Amplituden der 50 ms Zeitfenster als Zielvariable eingesetzt. Die Gruppeneinteilung zur Prüfung des Vigilanzeinflusses erfolgte in Anlehnung an das Verfahren zur Auswertung der kortikalen Standardantworten. Für das Experiment mit kurzer Pause (Experiment mit langer Pause) wurden 5 (6) wache Kinder 23 (18) Säuglingen im Non-REM-Schlaf gegenübergestellt. Es konnten dabei keine signifikanten Effekte für die Einflussgröße Vigilanz (wach, Non-REM-Schlaf) erzielt werden (siehe Tab.8.4.2.2.1 und 8.4.2.2.2, Anhang, S. 127 und 128).

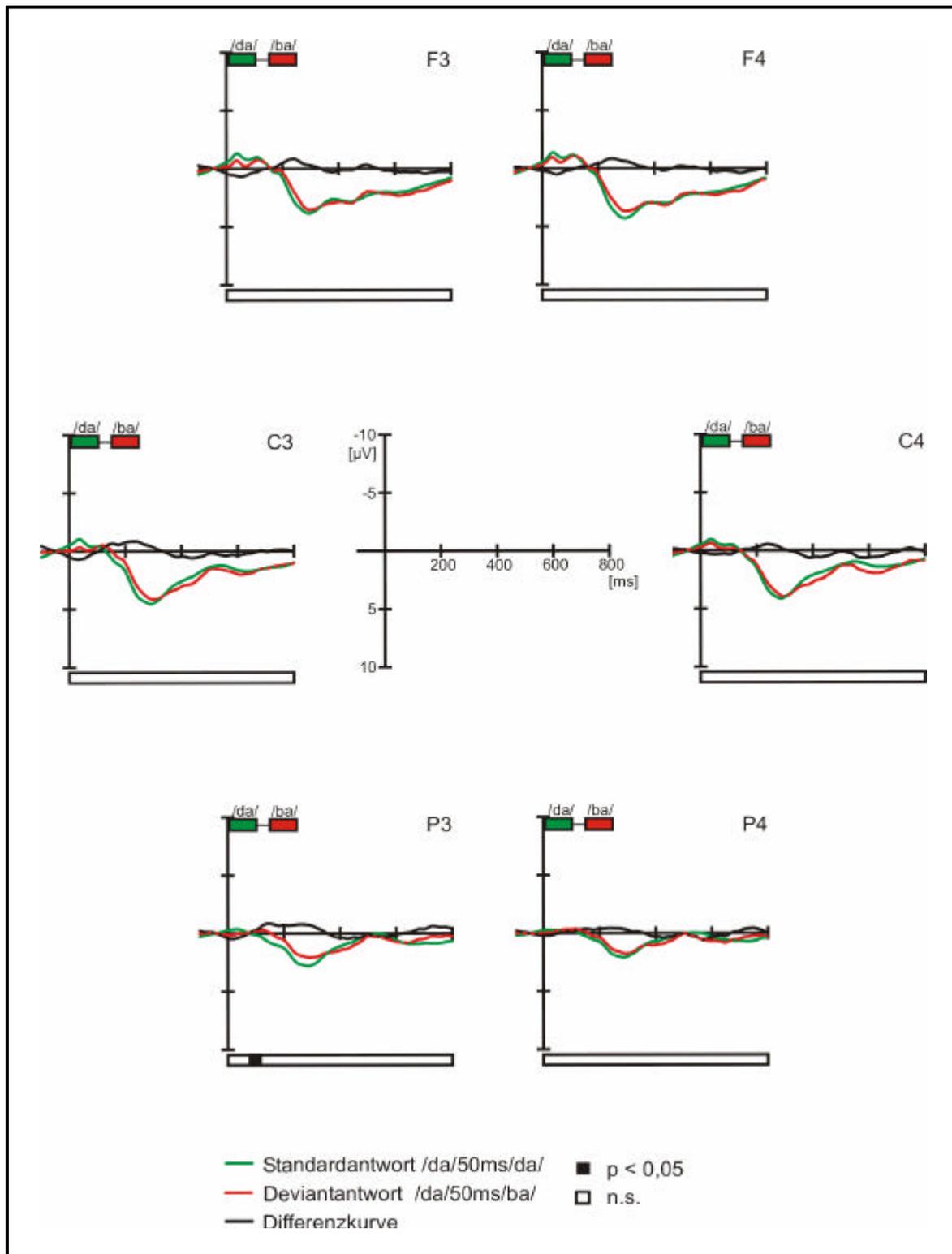


Abb. 4.2.2.1: Gemittelte Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit kurzer Pause von 47 Säuglingen (4 Wochen alt). Es zeigen sich nach dem Change onset keine signifikanten Abweichungen der Differenzkurven von der Nulllinie.

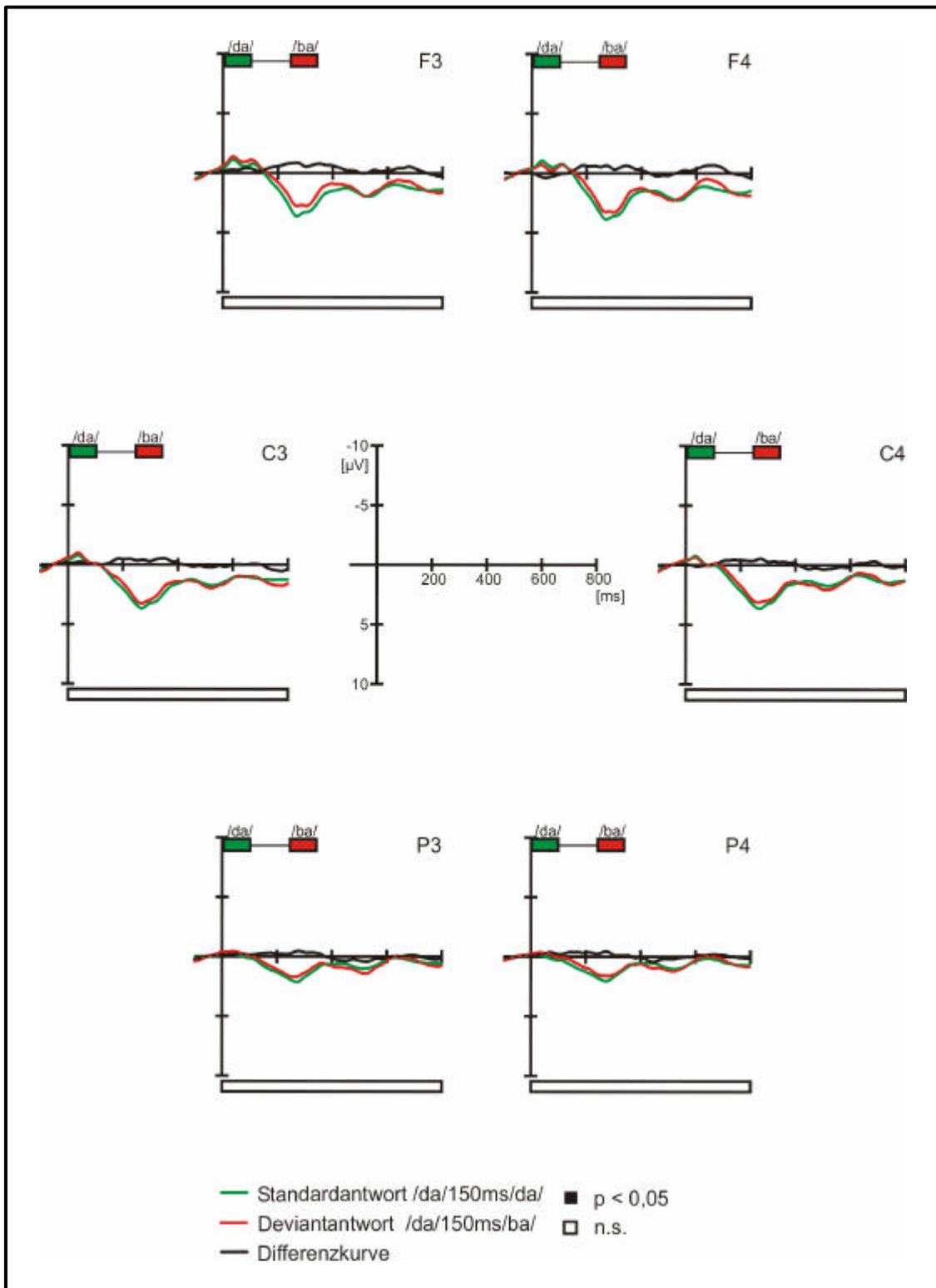


Abb. 4.2.2.2: Gemittelte Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit langer Pause von 47 Säuglingen (4 Wochen alt). Es zeigen sich nach dem Change onset keine signifikanten Abweichungen der Differenzkurven von der Nulllinie.

Zur Untersuchung von geschlechtsspezifischen Unterschieden in den Mismatch-Antworten wurden die Differenzkurven von 33 männlichen Säuglingen mit denen von 14 weiblichen Säuglingen verglichen. Die Ergebnisse der Varianzanalyse (Zielvariable: mittlere Amplitude, Einflussfaktor: Geschlecht (männlich, weiblich)) sind tabellarisch (siehe Tab. 8.4.2.2.3 und Tab. 8.4.2.2.4) im Anhang auf S. 128 und S. 129 aufgelistet. Sie ergaben ebenfalls keine signifikanten Differenzen zwischen männlichen und weiblichen Versuchsteilnehmern.

4.2.3 Säuglinge im Alter von 5 Monaten

Zur Einschätzung der altersabhängigen Reifung und Entwicklung der Mismatch-Antworten wurde das Experiment am selben Studienkollektiv nach 4 Monaten erneut durchgeführt. Die Abb. 4.2.3.1 (S. 76) und Abb. 4.2.3.2 (S. 77) präsentieren die gemittelten Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit kurzer bzw. langer Pause bei 47 Säuglingen im Alter von 5 Monaten. Für die Bedingung mit kurzer Pause wird in der Abb. 4.2.3.1 (S. 76) deutlich, dass Deviant- und Standardantworten im Kurvenverlauf übereinstimmen. In den Differenzkurven zeichnen sich erneut keine einheitlichen Auslenkungen von der Nulllinie ab. Im Gegensatz dazu kommt in den Mismatch-Antworten auf die Silben mit langer Pause eine deutliche Veränderung zum Ausdruck (siehe Abb. 4.2.3.2, S. 77). Vor dem Einsetzen des bedeutungswirksamen Wechsels im Stimulus zeigen Deviant- und Standardantworten Konfirmität. Nach dem Auftreten des eigentlichen Unterschieds im Reizparadigma (zweite Silbe /ba/) weisen die Deviantantworten eine ausgeprägtere Positivierung als die Standardantworten auf. Die Differenzkurven lassen dementsprechend um 550 ms eine positive Auslenkung mit einer Amplitude von etwa 4 μV erkennen. Eine solche positive Komponente konnte in den gemittelten Differenzkurven der Kinder im Alter von 4 Wochen nicht gefunden werden.

Die statistische Auswertung erfolgte in Anlehnung an das Verfahren zum Messzeitpunkt 1. Die mittleren Amplituden (50 ms Zeitfenster) des Grand-average, die im Einstichproben t -Test signifikante Abweichungen von der Nulllinie (Testwert = 0 μV) ergaben, wurden unter den Kurven gekennzeichnet. Zusätzlich wurde für die statistische Analyse der Positivierung um den Gipfel des Grand-average ein Zeitfenster von 450 ms bis 650 ms festgelegt. Innerhalb dieses Differenzkurvenabschnitts erfolgte für jeden Probanden die Bestimmung der Peak-Amplitude sowie der Peak-Latenz der maximalen Positivierung. Der Beginn (Onset) der zweiten Silbe im Doppelreiz wurde gleich Null gesetzt und dementsprechend die Latenz* der Positivierung berechnet. Die Mittelwerte (\pm STD) können der Tab. 4.2.3.1 (S. 78) entnommen werden.

Bei der Betrachtung der Abb. 4.2.3.2 (S. 77) fällt auf, dass die Positivierung frontal links und frontal rechts am stärksten ausgeprägt ist. An den parietalen Elektroden lässt sie sich nur ansatzweise erkennen und tritt hier zusätzlich zeitlich verzögert in Erscheinung. Diese Beobachtungen wurden in einer Varianzanalyse (Zielvariablen: Amplitude und Latenz,

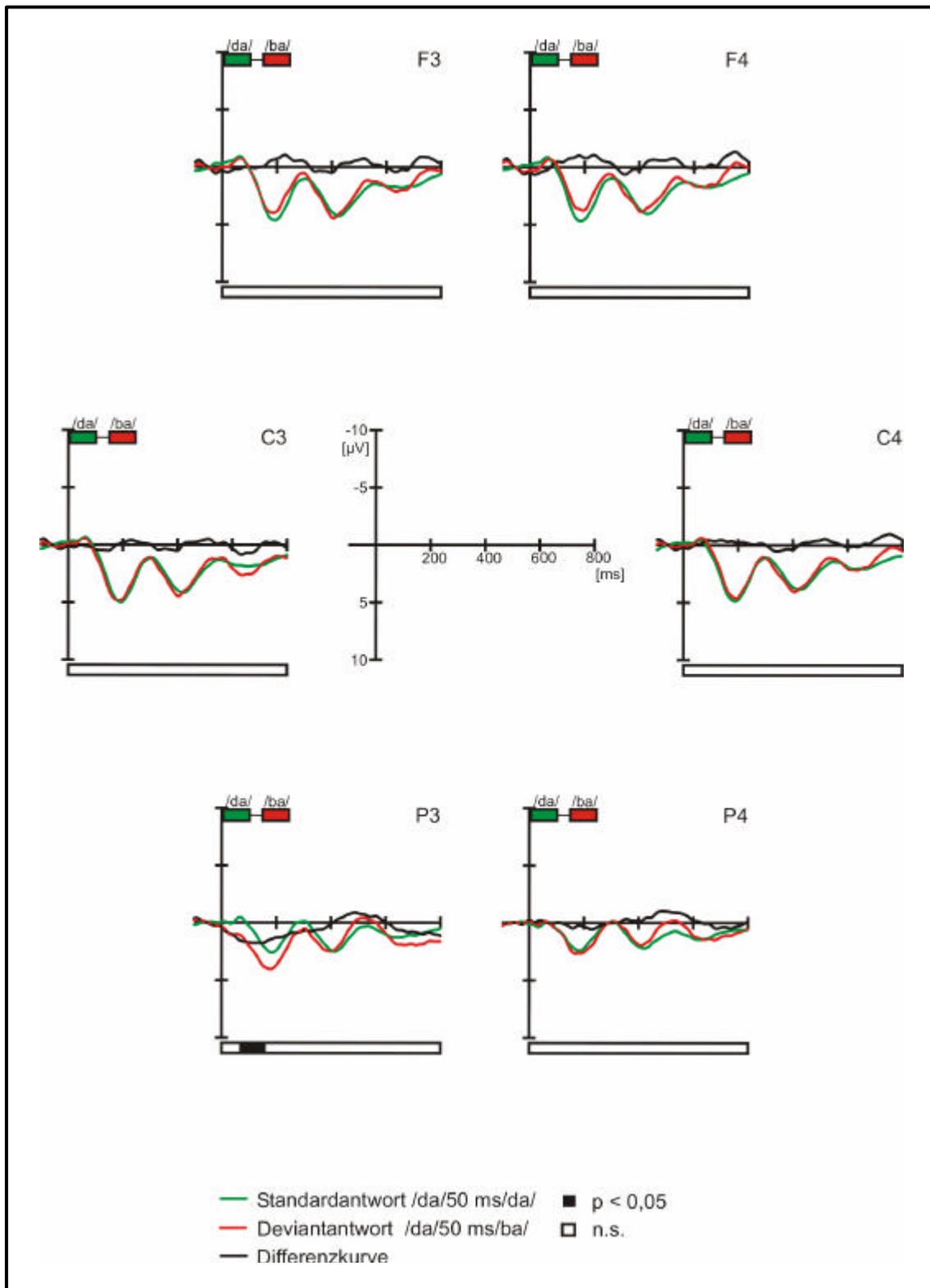


Abb. 4.2.3.1: Gemittelte Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit kurzer Pause von 47 Säuglingen (5 Monate alt). Es zeigen sich nach dem Change onset keine signifikanten Abweichungen der Differenzkurven von der Nulllinie.

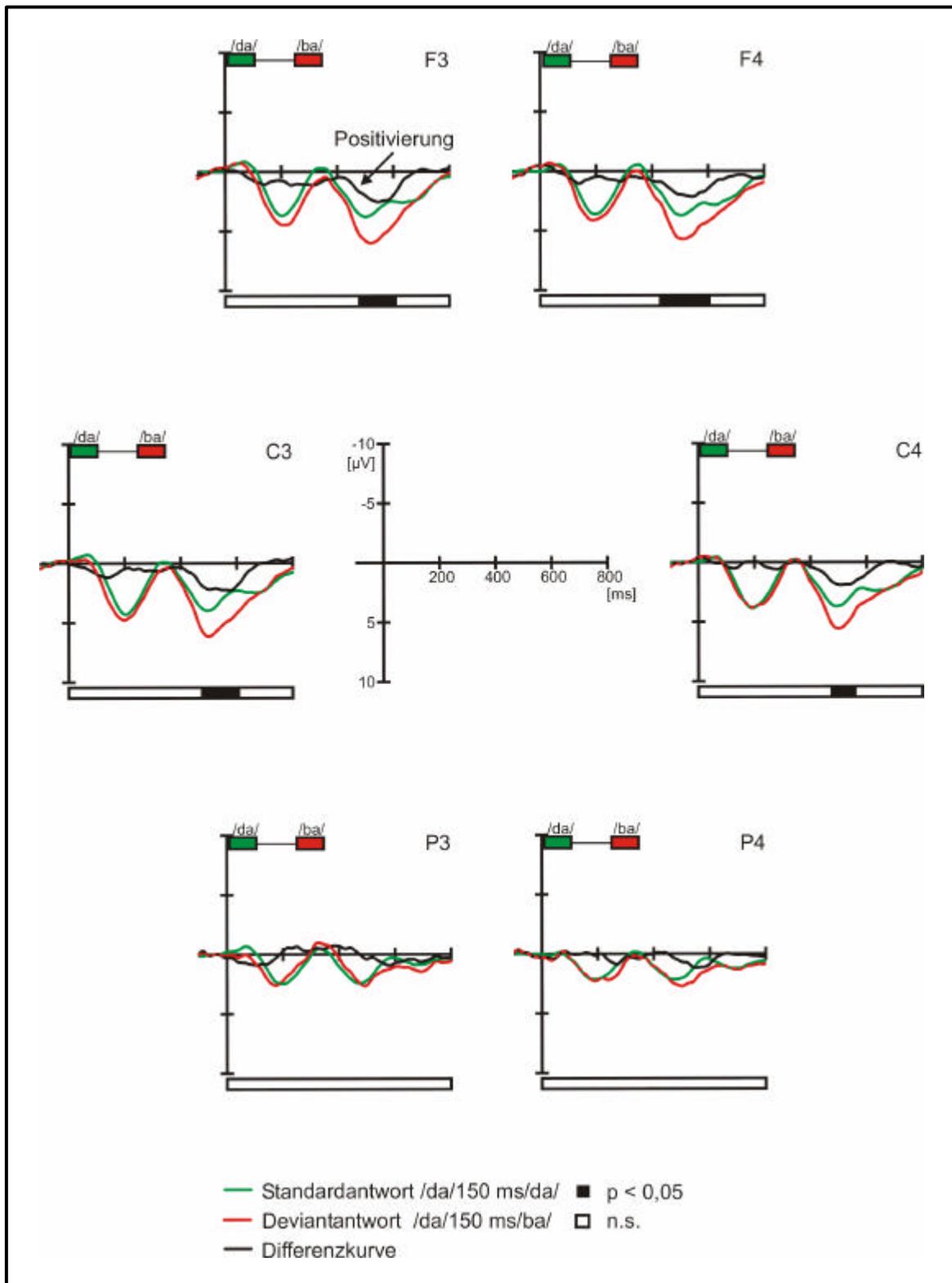


Abb. 4.2.3.2: Gemittelte Standardantworten, Deviantantworten und Differenzkurven auf die Doppelsilben mit langer Pause von 47 Säuglingen (5 Monate alt). Es zeigt sich nach dem Change onset eine signifikante Positivierung in den Differenzkurven.

Einflussfaktoren: Region (frontal, zentral, parietal) und Hemisphäre (rechts, links) auf statistische Relevanz überprüft (siehe Tab 8.4.2.3.1, Anhang, S. 129). Die regionalen Unterschiede bezüglich dem zeitlichen Auftreten der Positivierung konnten als signifikantes Ergebnis ($F = 5,494$; $p = 0,006$) abgesichert werden.

Positivierung	Elektrode	Doppelsilben mit langer Pause Mittelwerte (\pm STD)		
		Amplitude in μ V	Latenz in ms	Latenz* in ms
	F3	4,51 (5,02)	540,26 (54,16)	290,26 (54,16)
C3	4,41 (5,05)	544,09 (57,18)	294,09 (57,18)	
P3	2,91 (4,30)	556,78 (52,88)	306,78 (52,88)	
F4	4,11 (4,63)	537,22 (55,05)	287,22 (55,05)	
C4	3,88 (4,64)	534,89 (51,57)	284,89 (51,57)	
P4	3,54 (4,05)	562,64 (52,77)	312,64 (52,77)	

Tab. 4.2.3.1: Mittelwerte (\pm STD) für die Amplituden und Latenzen (Latenzen*) der Positivierung in den Differenzkurven auf die Doppelsilben mit langer Pause bei 47 Kindern im Alter von 5 Monaten.

Bei der individuellen Datenanalyse fielen bei den Kindern erneut sehr unterschiedliche Antwortmuster auf. Morr et al. (2002) hielten es für möglich, dass die MMN durch die Positivierung überlagert sein könnte, so dass sie sich bei geringen Stimuluskontrasten nur vereinzelt darstellen lässt. Dementsprechend wurden in der vorliegenden Arbeit die Kinder ermittelt, die an der F3 Elektrode in einem sehr frühen Zeitfenster von 100 bis 250 ms (nach Change onset) eine negative Auslenkung ($< -1 \mu$ V) auf die Kondition mit langer Pause präsentierten. Daraus ergab sich, dass im Alter von 5 Monaten bei 27 von 47 Säuglingen (57,45 %) eine frühe Negativierung auf die Bedingung mit langer Pause nachgewiesen werden konnte. In der Abb. 4.2.3.3 (S. 79) sind die gemittelten Differenzkurven der entsprechenden Kinder nochmals dargestellt. Interessanterweise zeigt sich zusätzlich noch eine Positivierung um 300 ms (nach Change onset), wie sie auch im Grand-average aller 47 Probanden zu sehen war.

Entsprechend dem Messzeitpunkt 1 wurde auch bei den Kindern im Alter von 5 Monaten der Einfluss von Vigilanz und Geschlecht mittels der mittleren Amplituden (50 ms Zeitfenster) untersucht. Zur Prüfung von Vigilanzeffekten wurden für das Paradigma mit kurzer Pause (langer Pause) 10 (12) wache Säuglinge 25 (23) Säuglingen im Non-REM-Schlaf

gegenübergestellt. Die Varianzanalyse (Zielvariable: mittlere Amplitude, Einflussfaktor: Vigilanz (wach, Non-REM-Schlaf)) ergab auch im Alter von 5 Monaten für beide Paradigmen keine signifikanten Unterschiede zwischen wachen Versuchsteilnehmern und Probanden, die im Non-REM-Schlaf verweilten (siehe Tab. 8.4.2.3.2 und Tab. 8.4.2.3.3, Anhang, S. 130). Zur Untersuchung von geschlechtsspezifischen Unterschieden wurden die Mismatch-Antworten von 33 männlichen Studienteilnehmern mit denen von 14 weiblichen Studienteilnehmern verglichen. Die Varianzanalyse (Zielvariable: mittlere Amplitude, Einflussfaktor: Geschlecht (männlich, weiblich)) erzielte für die weiblichen Probanden signifikant größere Amplituden der Positivierung auf die Bedingung mit langer Pause (siehe Tab. 8.4.2.3.4 und Tab. 8.4.2.3.5, Anhang, S. 131). Eine Wiederholung der Varianzanalyse mit einem balancierten schlafenden (Non-REM-Schlaf) Unterkollektiv (5 Mädchen, 5 Jungen) bestätigte nochmals dieses Ergebnis.

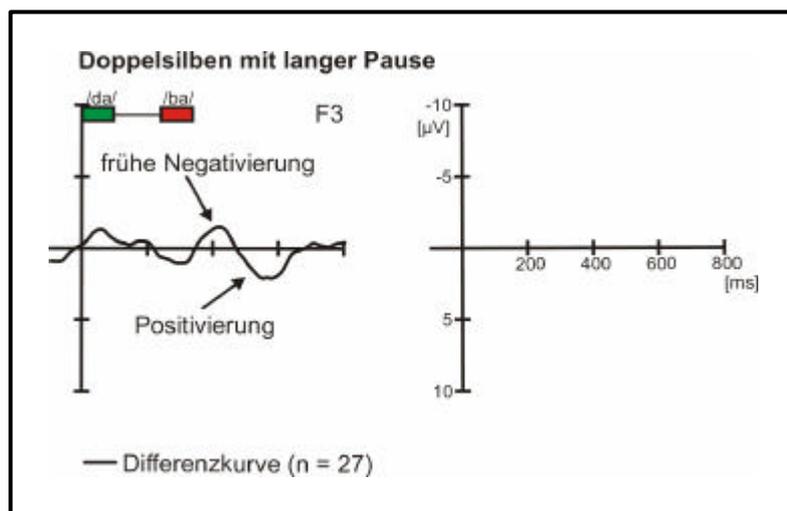


Abb. 4.2.3.3: Gemittelte Differenzkurven auf die Doppelsilben mit langer Pause von 27 Säuglingen (5 Monate alt), die in einem Zeitfenster von 100 ms bis 250 ms (nach Change onset) eine frühe Negativierung ($< -1 \mu\text{V}$) präsentierten. Dieser negativen Komponente schließt sich eine Positivierung um 300 ms (nach Change onset) an.