

**Die Erfassung hirnphysiologischer Korrelate
der Verarbeitung emotionaler und nichtemotionaler
Stimulusinformationen
im zentralen Nervensystem**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des
Doktorgrades der Philosophie
Im Fachbereich 3
Der Bergischen Universität Wuppertal

Vorgelegt von Andreas Krombholz
aus Hagen

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Wolfram Boucsein sowie bei Herrn Dr. Florian Schaefer für die Betreuung der Arbeit. Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Eltern, meinem Bruder, meinen Freunden und Kollegen bedanken, auf deren Unterstützung ich zurückgreifen konnte.

1	Einleitung	1
1.1	Theorien und Befunde zur Wahrnehmung und Verarbeitung von Gesichtern	5
1.2	Anatomische Substrate der Gesichtsverarbeitung	8
1.2.1	Läsionsstudien	8
1.2.2	Bildgebende Verfahren	12
1.2.3	Elektrophysiologische Verfahren	20
1.2.4	Folgerung für die Lokalisation der Gesichterverarbeitung	23
1.3	Nicht invasiv abgeleitete evozierte Potenziale	26
1.3.1	Die gesichtsspezifische N170-Komponente	26
1.3.2	Der N400-Effekt	43
1.4	Ableitung der Fragestellungen für die vorliegende Arbeit	62
2	Experiment 1	64
2.1	Hypothesen	64
2.2	Methoden Experiment 1	66
2.2.1	Versuchsteilnehmer	66
2.2.2	Versuchsdesign	67
2.2.3	Versuchsanordnung	68
2.2.4	Versuchsablauf	70
2.3	Auswertung der EEG-Daten	75
2.3.1	Parametrisierung	75
2.3.2	Statistische Auswertung	76
2.4	Ergebnisse	77
2.4.1	N400-Effekt: Amplituden und Latenzen	77
2.4.2	Die gesichtsspezifische N170: Amplituden und Latenzen	112
2.5	Diskussion Experiment 1	116

Inhalt

3	Experiment 2	121
3.1	Überleitung und Hypothesen	121
3.2	Methoden Experiment 2	124
3.2.1	Versuchsteilnehmer	124
3.2.2	Versuchsdesign	125
3.2.3	Versuchsanordnung	126
3.2.4	Versuchsablauf	128
3.3	Auswertung der EEG-Daten	128
3.3.1	Parametrisierung und statistische Auswertung	128
3.4	Ergebnisse	129
3.4.1	N400-Effekt: Amplituden und Latenzen	129
3.4.2	Die gesichtsspezifische N170: Amplituden und Latenzen	165
3.5	Diskussion Experiment 2	170
4	Zusammenfassende Diskussion	177
5	Zusammenfassung	187
6	Literaturverzeichnis	189
7	Anhang	I

1 Einleitung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Erfassung hirnpfysiologischer Korrelate der Verarbeitung emotionaler und nichtemotionaler visueller Stimulusinformationen. Hirnpfysiologische Korrelate werden durch Ableitung eines Elektroenzephalogramms (EEG) und der Analyse von visuell evozierten Potenzialen erfasst. Die Analyse von evozierten Potenzialen beinhaltet die zeitliche Verarbeitung der Stimulusinformation (ausgedrückt in der Latenz), die Stärke der Reaktionen (ausgedrückt in der abgeleiteten Amplitude) sowie die topographische Verteilung neuronaler Aktivität bei der Verarbeitung von unterschiedlichen Informationen. Evozierte Potenziale (ERPs) lassen eine exakte zeitliche Zuordnung einer in wenigen Millisekunden ablaufenden Reaktion des zentralen Nervensystems auf einen bewusst oder unbewusst wahrgenommenen Reiz zu (Picton, Bentin, Berg, Donchin, Hillyard, Johnson, Miller, Ritter, Ruchkin, Rugg und Taylor, 2000). Dabei lassen sich Potenziale, die eher von externen, physikalischen Eigenschaften eines dargebotenen Reizes moduliert werden (sogenannte exogene Potenziale) von solchen unterscheiden, die eher cortikale Verarbeitungsprozesse und die damit verbundene Aktivierung des Gehirns widerspiegeln (sogenannte endogene Potenziale).

Ein Beispiel für ein Potenzial, dessen Auslösung bereits durch einfache, zeitlich definierte Reize wie ein Tonsignal (Click) geschehen kann, stellt die N100-Komponente dar. Dabei handelt es sich um ein negatives Potenzial mit einer durchschnittlichen Latenz von 100 ms nach Beginn der Reizdarbietung. Die Modulation der N100-Amplitude ist von mehreren Faktoren wie z.B. der Reizintensität abhängig und wurde in vielen Arbeiten untersucht (z.B. Hillyard, Picton und Regan, 1978). Ein häufig untersuchtes Potenzial, das eher cortikale Verarbeitungsprozesse widerspiegelt, ist die P300-Komponente. Dabei handelt es sich um eine positive Komponente, die mit einer durchschnittlichen Latenz von 300 ms bei einer Reihe von Entscheidungsprozessen auftritt und bereits 1965 beschrieben wurde (Sutton, Braren, Zubin und John, 1965). Diese Komponente lässt sich relativ leicht durch sogenannte Auswahlparadigmen auslösen,

Theoretischer Hintergrund

bei denen Versuchspersonen seltene Zielreize innerhalb einer Reihe anderer Reize auffinden sollen (Oddball-Paradigma). Ihre Amplitude hängt dabei von der Sicherheit des Auftretens des seltenen Zielreizes sowie der subjektiv empfundenen Wahrscheinlichkeit seines Auftretens ab. Sowohl die P300-Komponente als auch die N100-Komponente wurden in zahlreichen Arbeiten untersucht (z.B. Donchin, Ritter und McCallum, 1978; Laurian, Bader, Lenares und Oros, 1991; Carretie und Iglesias, 1995). Neben diesen zwei beschriebenen Komponenten gibt es weitere Komponenten, die entsprechend ihrer Modalität (visuell, auditorisch und somatosensorisch) mit verschiedenen physiologischen wie auch pathophysiologischen Prozessen in Verbindung gebracht werden können (z.B. Chiappa, 1990).

Einen nicht zu unterschätzenden Nachteil evozierter Potenziale stellt allerdings deren eher geringe räumliche Auflösung dar. Rückschlüsse auf hirnanatomische Korrelate abgeleiteter evozierter Potenziale müssen daher eher vorsichtig gezogen werden. Um dennoch Rückschlüsse auf hirnanatomische Korrelate ziehen zu können, ist es notwendig, die Anzahl der Elektroden, an denen Hirnströme abgeleitet werden, zu erhöhen. Dies wird in der vorliegenden Arbeit durch Verwendung von 124 Elektroden realisiert. Eine weitere Schwierigkeit bei der Interpretation evozierter Potenziale, besonders visuell evozierter Potenziale, stellt die Konfundierung von externen Merkmalen und der internen Repräsentation eines Reizes dar. Um Rückschlüsse auf interne, cortikale Verarbeitungsprozesse zu ziehen, ist es daher notwendig, die einzelnen Anteile eines evozierten Potenzials zu differenzieren, zu kontrollieren und in Interpretationen zu berücksichtigen, die durch externe Merkmale, wie physikalische Eigenschaften eines Reizes, bedingt sind.

Bei den Experimenten, die in der hier vorliegenden Arbeit beschrieben werden, wurden Stimuli und Paradigma so gestaltet, dass eine Verarbeitung des emotionalen Anteils der Stimuli sichergestellt werden konnte. Als reliable Stimuli, die emotionale Informationen enthalten und vermitteln können, eignen sich Gesichter von Personen. Gesichtsausdrücke stellen phylogenetisch entwickelte Ausdrucksformen dar, die für die soziale

Theoretischer Hintergrund

Interaktion von großer Bedeutung sind (Eibl-Eibesfeldt, 1989). Ekman, Sorensen und Friesen (1969) und Izard (1971) fanden beispielsweise heraus, dass Menschen aus verschiedenen Kulturen in ähnlichen emotionalen Situationen ähnliche Gesichtsausdrücke annehmen. Ebenso fanden sie heraus, dass Menschen aus verschiedenen Kulturen die emotionale Bedeutung eines Gesichtsausdrucks, der von einer Person aus einem anderen Kulturkreis dargestellt wurde, korrekt beurteilen konnten. Ekman und Friesen kamen 1975 aufgrund von Analysen, die sie in den 60er Jahren anhand von Photographien und Filmen von Personen durchführten, die verschiedene Emotionen erlebten, zu der Schlussfolgerung, dass sich emotionale Gesichtsausdrücke sechs Basisemotionen zurechnen lassen (Angst, Ekel, Überraschung, Trauer, Wut und Freude). Die Fähigkeit, Gesichter anhand der beschriebenen Basisemotionen zu unterscheiden, wurde schon bei Kindern im Verlauf der ersten zwei Lebensjahre festgestellt (Nelson, 1987). Aufgrund dieser Befunde liegt es nahe, Gesichter und die in ihnen dargestellten emotionalen Ausdrücke zur Untersuchung von Verarbeitungsprozessen emotionaler Informationen zu verwenden.

Neben der emotionalen Bedeutung lassen sich aus Gesichtern nicht-emotionale Informationen, beispielsweise die Identität einer Person, extrahieren. Kognitive Modelle der Verarbeitung von Gesichtern gehen dabei von der Annahme aus, dass es sich bei der Erkennung der Identität eines Gesichtes und bei der Erkennung der ausgedrückten Emotion um zwei getrennte, aber parallel arbeitende neuronale Systeme handelt (Bruce und Young, 1986; Breen, Caine und Coltheart, 2000). Das Modell von Bruce und Young wird unter Punkt 1.1 ausführlicher beschrieben. Unterstützung erfährt diese Annahme durch das Krankheitsbild der Prosopagnosie, einer speziellen Form der visuellen Agnosie. Die meisten Menschen, die unter dieser Störung leiden, sind nicht mehr in der Lage, Gesichter zu erkennen, die ihnen bekannt und vertraut sind. Dabei kann sich das Nicht-Wiedererkennen sogar auf ihr eigenes Gesicht beziehen, wenn sie es selber im Spiegel wahrnehmen. Erhalten bleibt Patienten mit dieser Störung dagegen die Fähigkeit, auf Photographien dargestellte Personen anhand von bestimmten charakteristischen Merkmalen (z.B. Bart, Brille) zu identifizieren. Ebenso gelingt es ihnen,

Theoretischer Hintergrund

menschliche von nichtmenschlichen Gesichtern zu unterscheiden. Eine weitere Fähigkeit, die Prosopagnostikern erhalten bleibt und die Annahme einer getrennten Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks und der Identität untermauert, ist die, dass bei fehlender Erkennung der Identität der emotionale Ausdruck normal erkannt und auch benannt werden kann. Eine Analyse von post mortem-Untersuchungen von Prosopagnostikern ergab eine zumeist bilaterale Schädigung des Gehirns, speziell in Übergangsbereichen zwischen Occipitallappen und Temporallappen (Damasio, Damasio und Van Hoesen, 1982). Diese anatomische Lokalisation der Schädigung wurde durch bildgebende Verfahren derselben Arbeitsgruppe und in späteren Arbeiten an lebenden Patienten mit Prosopagnosie bestätigt (z. B. Damasio, Tranel und Damasio, 1989). Diese Befunde deuten zunächst auf eine bilaterale Gesichterverarbeitung hin. Unilaterale Schädigungen deuten jedoch darauf hin, dass jede Hemisphäre unterschiedliche Aspekte der Erkennung erfüllt. So zeigen beispielsweise Patienten mit einer rechtshemisphärischen, unilateral begrenzten Schädigung im Bereich des Gyrus fusiformis eine weniger ausgeprägte Form der Prosopagnosie, verglichen mit Patienten deren Schädigung bilateral vorliegt, da ihnen beispielsweise die Fähigkeit erhalten bleibt, ihr eigenes Gesicht zu erkennen.

Die Besonderheiten der Gesichtererkennung sind Gegenstand von Forschungsarbeiten, die mit Hilfe unterschiedlicher Methoden (bildgebende Verfahren, elektrophysiologische Verfahren und invasive Methoden) versuchen, den Prozess der Gesichterverarbeitung zu erklären. Im folgenden Abschnitt werden Theorien und Befunde zur Wahrnehmung von Gesichtern und deren anatomische Korrelate vorgestellt. Daran anschließend werden unter Punkt 1.2 hirnpfysiologische Korrelate der Gesichtererkennung und ihre Relevanz für das Erforschen der Verarbeitungsprozesse emotionaler und nichtemotionaler Gesichtsinformation beschrieben.

Theoretischer Hintergrund

1.1 Theorien und Befunde zur Wahrnehmung und Verarbeitung von Gesichtern

Kognitive Modelle der Verarbeitung von Gesichtern gehen von zwei getrennten, aber parallel ablaufenden Prozessen bei der Erkennung des Gesichtsausdrucks und der Erkennung der Identität eines Gesichtes aus. Das Modell von Bruce und Young (1986), welches im Folgenden näher beschrieben wird, stellt ebenso wie das Modell von Breen et al. (2000) ein funktional ausgerichtetes Modell dar, in dem anatomische Grundlagen eher sekundär sind. Kernpunkt dieses Modells ist die Annahme, dass die verschiedenen Prozesse, die an der Wahrnehmung von Gesichtern beteiligt sind, in unterschiedlichen Strukturen ablaufen, die in dem Modell in unterschiedliche Boxen eingeteilt sind, (vgl. Abb 1.1). Die den jeweiligen Boxen zugeordneten Prozesse werden getrennt dargestellt, wobei hier zum leichteren Verständnis die einzelnen Boxen mit den Ziffern 1-8 durchnummeriert wurden. In einem ersten Schritt (structural encoding, Box1) wird ein visuell wahrgenommener Reiz rein strukturell, d.h. unabhängig von semantischen Inhalten encodiert und im Falle eines Gesichtes als ein solches interpretiert. Basierend auf dieser Encodierung kann die weitere Verarbeitung des Gesichtes nun in unterschiedlichen Bahnen gleichzeitig verlaufen. In Abhängigkeit von der Präsentation des Gesichtes, z.B. frontal oder seitlich, können unterschiedliche Informationen aus dem Gesicht extrahiert werden. Das Erkennen eines Gesichtes als ein bekanntes Gesicht, das zuvor schon einmal gesehen worden ist, erfolgt in Box 2 (Face Recognition Units). Dieser Prozess steht in einer wechselseitigen Beziehung zu Box 3 (Person Identity Nodes), in der die Identität des bekannten Gesichtes ermittelt werden kann. An diesem Punkt der Verarbeitung könnte die Identität der Person z.B. auch aufgrund der Stimme, der Haare oder anderer Merkmale erfolgen. Ist die Identität einer Person in Box 3 ermittelt, kann schließlich, wie in Box 4 (Name Generation) dargestellt, der betreffende Name der Person zugeordnet werden. Während die in den Boxen 1-4 ablaufenden Prozesse nicht auf eine direkte, frontale Betrachtung des Gesichtes angewiesen sind, ist es für die Analyse des emotionalen Zustandes (Expression Analysis, Box 5), der die Sprache begleitenden Bewegungen der Lippen und der Zunge (Facial Speech Analysis, Box 6) und der Charakterisierung unbekannter Gesichter (Directed Visual Processing, Box 7)

Theoretischer Hintergrund

notwendig, ein Gesicht möglichst frontal wahrzunehmen. Das kognitive System (Cognitive System, Box 8) kann an verschiedenen Punkten der Verarbeitung diesen Prozess erleichtern, ebenso wird es durch die verschiedenen Analyseprozesse mit neuen Informationen erweitert.

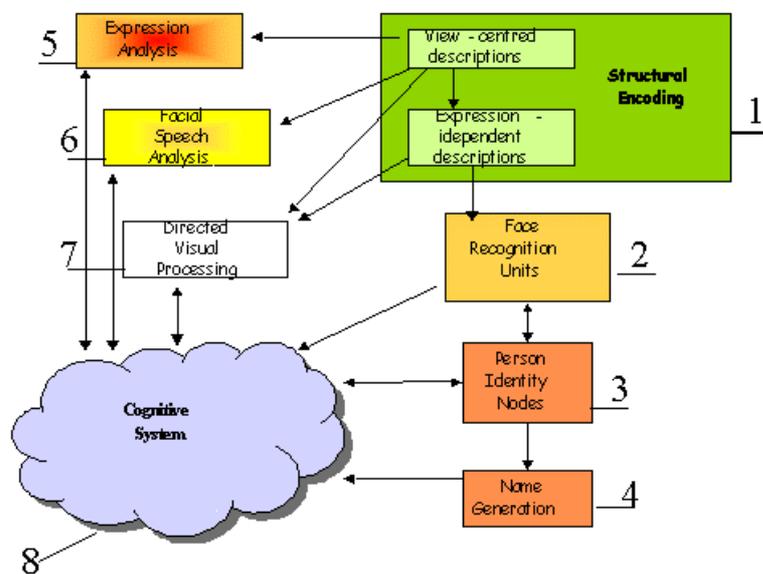


Abbildung. 1.1 Kognitives Modell der Gesichtserkennung, Bruce und Young (1986)

Das kognitive Modell von Breen et al. (2000) stellt eine Erweiterung des beschriebenen Modells von Bruce und Young (vgl. Abb. 1.1) dar. Hinzu gekommen ist ein zweiter Weg von den „Face-Recognition-Units“ (FRU, in Abb. 1.2), der zu einer affektiven Reaktion auf Seiten des Betrachters bei der Wahrnehmung bereits bekannter Reize führt. Diese affektive Reaktion auf bekannte Reize wurde von Breen et al. durch Messung der elektrodermalen Aktivität bestimmt. Das kognitive System (Box 8 in Abb. 1.1) wird in diesem Modell nicht berücksichtigt (s.u.).

Theoretischer Hintergrund

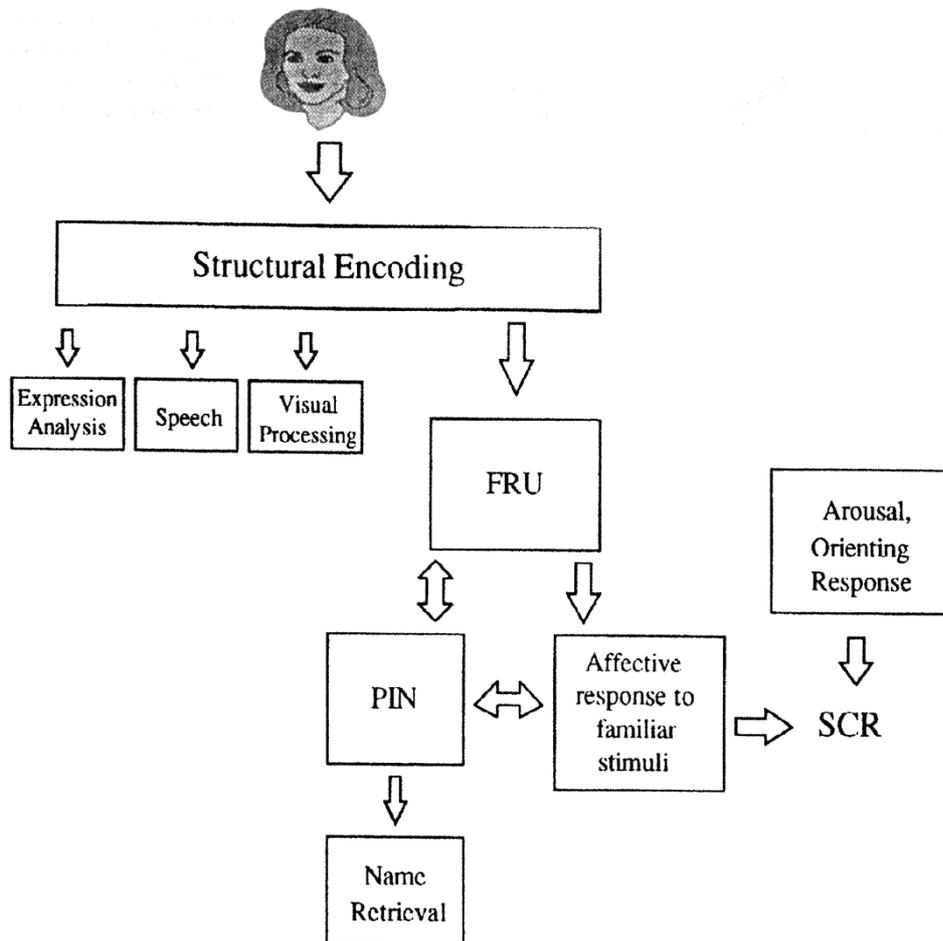


Abbildung 1.2 Kognitives Modell der Gesichtererkennung von Breen, Caine und Coltheart, (2000).

Die von beiden Modellen gemachten Annahmen, dass die Gesichterverarbeitung in verschiedenen aufeinanderfolgenden Schritten und in unterschiedlichen Modulen erfolgt, lassen sich teilweise durch bestimmte neuropsychologische Störungen wie das bereits besprochene Krankheitsbild der Prosopagnosie stützen. Treten Defizite bei der Verarbeitung eines Reizes (in diesem Fall eines Gesichtes) nur für bestimmte Aspekte dieses Reizes auf, liegt es nahe, die Ursache dafür in getrennten Verarbeitungsprozessen für die einzelnen Aspekte zu suchen. Allerdings wird es unumgänglich sein, die diesen

Theoretischer Hintergrund

Verarbeitungsprozessen zugrunde liegenden anatomischen Substrate wie auch hirnpfysiologische Korrelate zu identifizieren, um genauere Aussagen über die Verarbeitungsprozesse machen zu können. Daher werden im folgenden Abschnitt die anatomischen Substrate eingehend besprochen, die bei der Gesichterverarbeitung von Bedeutung sind. Berücksichtigt werden dabei sowohl Befunde aus Läsionsstudien (unter Punkt 1.2.1) und Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren (unter Punkt 1.2.2) als auch Erkenntnisse, die mit Hilfe elektrophysiologischer Verfahren bezüglich der Gesichterverarbeitung gewonnen werden konnten (unter Punkt 1.2.3).

1.2 Anatomische Substrate der Gesichtsverarbeitung

Die Annahme, dass es für die Verarbeitung von Gesichtern spezielle Bereiche im Gehirn gibt, wird durch die Integration von Befunden gestützt, die mit unterschiedlichen Untersuchungsansätzen gewonnen wurden. Dabei spielen auch in Tierexperimenten gewonnene Erkenntnisse eine wichtige Rolle. Einzelzelleableitung im Bereich des Sulcus temporalis superior an Makaken zeigten beispielsweise, dass Zellen in diesem Bereich selektiv auf die Darbietung von Gesichtern, nicht aber auf andere Objekte reagierten (Gross, 1972; Desimone, 1991; Perrett, 1991).

1.2.1 Läsionsstudien

Das Erforschen der Auswirkungen von cerebralen Läsionen auf die Verarbeitung bestimmter Reize oder Reizinformationen lässt zunächst Rückschlüsse auf eine Lateralisation, d.h. auf die Dominanz einer Hemisphäre bei bestimmten Verarbeitungsprozessen zu, beispielsweise bei der Verarbeitung emotionaler Reizinformationen. Hinsichtlich einer Hemisphärendominanz ist die rechte Hemisphäre nach Meinung einiger Forscher (z.B. Bryden & Ley, 1983; Buck, 1984; Heilman, Bowers & Valenstein, 1985;

Theoretischer Hintergrund

Ross, 1985) generell dominanter bei der Verarbeitung emotionaler Reize, unabhängig von deren Valenz (positiv vs. negativ). Andere Autoren (z.B. Silberman & Weingartner, 1986) sehen die rechte Hemisphäre als für die Verarbeitung negativer Emotionen, die linke Hemisphäre für die Verarbeitung positiver Emotionen verantwortlich an. Ein erster Hinweis auf eine unterschiedliche Beteiligung beider Hemisphären an der Verarbeitung emotionaler Reize konnte durch Ergebnisse von Split-Brain-Experimenten gewonnen werden (Sperry, Zaidel und Zaidel; 1979). Bei solchen Experimenten lassen sich nach einer Durchtrennung des Balkens (Corpus Callosum) Reize selektiv der linken oder der rechten Hemisphäre darbieten. Sperry et al. (1979) beschrieben erstmals eine intensivere emotionale Reaktion, wenn emotionale Reize der rechten Hemisphäre dargeboten wurden, verglichen mit der Reaktion nach einer linkshemisphärischen Darbietung der gleichen Reize. Borod, Koff, Lorch, und Nicholas (1986) fanden bei Patienten mit einer rechtshemisphärischen Schädigung eine Beeinträchtigung speziell bei der Verarbeitung negativer emotionaler Reizinformationen. Diese Patienten zeigten eine geringere Leistung bei der Benennung negativer Gesichtsausdrücke, verglichen mit der Leistung von linkshemisphärisch geschädigten Patienten. Klos, Häussler-Carl, Beth, Pokorna, Kromichal und von Stockert (1990) fanden eine Unterlegenheit rechtshemisphärisch geschädigter Patienten ebenfalls bei der Beurteilung negativer Gesichtsausdrücke. Stone, Nisenson, Eliassen und Gazzaniga (1996) untersuchten diese Aspekte der Gesichtsverarbeitung in einer Einzelfallstudie bei einem Patienten. Die Trennung beider Hemisphären wurde durch eine Magnetresonanztomographie kontrolliert und sichergestellt. In einem ersten Teil der Untersuchung wurden dem Patienten Gesichter mit unterschiedlichen emotionalen Ausdrücken, getrennt für jede Hemisphäre, auf einem Monitor dargeboten. Nach der Gesichtsdarbietung wurden paarweise emotionale Wörter dargeboten, von denen eines dem dargestellten Gesichtsausdruck entsprach. Der Patient sollte auf einer Karte mit den gleichen emotionalen Wörtern auf das Wort zeigen, das dem emotionalen Gesichtsausdruck entsprach. Es traten keine Unterschiede in der Benennleistung zwischen den beiden Hemisphären auf. In beiden Darbietungsbedingungen zeigten sich insbesondere keine Unterschiede bei der Benennung positiver vs. negativer Gesichtsausdrücke. In einem zweiten Teil der Untersuchung wurden dem

Theoretischer Hintergrund

Patienten paarweise Gesichter dargeboten. In solchen sogenannten Face-Matching-Paradigmen werden Gesichter anhand eines vorher definierten, aufgabenrelevanten Kriteriums miteinander verglichen. Als aufgabenrelevante Kriterien werden in den meisten Untersuchungen die Identität oder der emotionale Ausdruck gewählt. In diesem Teil der Untersuchung war es die Aufgabe, zu entscheiden, ob es sich in beiden Gesichtern um den gleichen Ausdruck handelte oder nicht. Dabei wurden zwei Bedingungen mit unterschiedlichen Instruktionen untersucht. In Bedingung 1 wurde dem Patienten nur gesagt, dass er die Ausdrücke vergleichen soll und auf einer Karte im Falle einer Übereinstimmung auf das Wort „Gleich“ zeigen solle. In Bedingung 2 wurde die Benennung des Ausdrucks mit einbezogen. Dadurch wurde eine differenzierte Unterteilung von Ausdrücken der gleichen Valenz (positiv bzw. negativ) in bestimmte Emotionen wie Ärger oder Furcht verlangt. Nur in Bedingung 1 zeigte sich eine Hemisphären-dominanz darin, dass bei einer rechtshemisphärischen Darbietung die Anzahl korrekter Antworten signifikant größer war, verglichen mit einer linkshemisphärischen Darbietung. Diese Dominanz der rechten Hemisphäre konnte in Bedingung 2 nicht gefunden werden. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass es keine generelle Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke gibt. Möglicherweise benötigt die linke Hemisphäre aber die Benennung des Ausdrucks, um ein solches Urteil abgeben zu können.

Neben einem Lateralisationseffekt lassen sich Vergleiche innerhalb einer Hemisphäre ziehen. So kann beispielsweise die Beteiligung anteriorer Hirnbereiche (Frontallappen) mit der Beteiligung posteriorer Hirnbereiche (Temporallappen, Parietallappen oder Occipitallappen) verglichen werden. Eine Auswirkung von cerebralen Läsionen wurde bereits mit dem Krankheitsbild der Prosopagnosie beschrieben. Braun, Denault, Cohen und Rouleau (1994) untersuchten vier verschiedene Patientengruppen nach einer Lobektomie in unterschiedlichen Hirnbereichen. Bei einer Lobektomie wird ein Teil von geschädigtem Hirngewebe im entsprechenden Hirnlappen operativ entfernt. Die vier Gruppen teilten sich entsprechend ihres Lobektomiebereiches auf: 1. rechts frontal, 2. links frontal, 3. rechts temporal und 4. links temporal. Aufgrund dieser Gruppenein-

Theoretischer Hintergrund

teilung konnten die Autoren neben einer möglichen Lateralisation die Auswirkungen eher anterior gelegener Schädigungen mit denen eher posterior gelegenen Schädigungen vergleichen. Zusätzlich wurde eine Kontrollgruppe gesunder Probanden miteinbezogen. Die Aufgabe der Patienten wie auch der Kontrollgruppe war es, auf Photographien abgebildete Gesichter anhand der Identität oder des emotionalen Ausdrucks zu vergleichen. In den Ergebnissen zeigte sich, dass alle Patientengruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe in beiden Aufgaben mehr Fehler machten. Dagegen konnten keine Unterschiede zwischen den vier Patientengruppen gefunden werden. Auch hatte der Ort der Läsion keinen Einfluss auf die Bearbeitung der Aufgaben. Peper und Irle (1997) verglichen ebenfalls Patientengruppen mit unterschiedlich lokalisierten Läsionen aufgrund einer vorherigen operativen Entfernung eines Hirntumors. Die Patienten wurden in linkshemisphärisch operierte und rechtshemisphärisch operierte unterteilt und es wurden jeweils sechs weitere verschiedene Lokalisationen unterschieden. Für die linke Hemisphäre ergaben sich Untergruppen mit Läsionen in folgenden Bereichen: 1. ventral frontal, 2. fronto-temporal und fronto-striatal, 3. dorsolateral frontal und prämotorisch/motorisch, 4. parietal, 5. temporal-temporoparietal, und 6. fronto-temporal. Für die rechte Hemisphäre ergaben sich folgende Einteilungen: 1. ventral-frontal und fronto-temporal, 2. dorsolateral frontal, 3. prämotorisch/motorisch und superior parietal, 4. temporal-temporoparietal und fronto-temporal, 5. parietal und 6. heteromodal-parietal. Zusätzlich wurde wieder eine gesunde Kontrollgruppe untersucht. Alle Gruppen hatten verschiedene Aufgaben zu bearbeiten. In einer ersten Aufgabe wurden ihnen Photographien von Gesichtern dargeboten, die die in der Einleitung erwähnten sechs Basisemotionen nach Ekman darstellten. Die entsprechende Emotion sollte von den Patienten benannt werden. In der nächsten Aufgabe benannte der Versuchsleiter eine Emotion und die Patienten sollten das Photo mit der entsprechend dargestellten Emotion zeigen. Anschließend wurde ein Photo als Vergleichsreiz präsentiert, gefolgt von zwei weiteren Gesichtern. Die Aufgabe der Patienten war es, das Gesicht zu identifizieren, das dem Vergleichsreiz entsprach. Die gleiche Art der Darbietung wurde ebenfalls im letzten Teil der Untersuchung gewählt. Die Patienten sollten die Gesichter nun aufgrund ihrer Valenz und ihres Arousal (beruhigend vs.

Theoretischer Hintergrund

erregend) vergleichen. Innerhalb der verschiedenen Gruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Bearbeitung der verschiedenen Aufgaben. Bei dem Vergleich des Arousals zeigten die Patientengruppen signifikant schlechtere Leistungen, verglichen mit der Kontrollgruppe. Dabei zeigte sich die Beeinträchtigung am meisten ausgeprägt bei den Patienten, deren Läsion rechts parietal lokalisiert war. Bei der Verarbeitung negativer Emotion waren besonders die rechts parietal und rechts frontal operierten Patienten beeinträchtigt. In der Aufgabe, in der die Patienten die dargestellten Gesichtsausdrücke anhand der sechs Basisemotionen benennen sollten, zeigten die rechts parietal operierten Patienten und die links temporal operierten Patienten die deutlichsten Beeinträchtigungen. Die Ergebnisse deuten nach Ansicht der Autoren nicht auf eine Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung von emotionalen Gesichtsausdrücken generell hin. Die intrahemisphärische Lokalisation einer Schädigung scheint eine genauso wichtige Rolle bei der Verarbeitung bestimmter Aspekte eines emotionalen Gesichtsausdruckes zu spielen.

1.2.2 Bildgebende Verfahren

Eine Methode zur neuroanatomischen Lokalisation von gesichtsspezifischen Bereichen bei Patienten und gesunden Probanden stellen Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren dar, die eine sehr hohe räumliche Auflösung haben (Positronen-Emissions-Tomographie, PET; Funktionelle Kernspintomographie, fMRI). In einer PET-Studie von Sergent, Ohta und MacDonald (1992) wurde die Hirnaktivität bei der Betrachtung und Verarbeitung verschiedener visueller Stimuli gemessen und miteinander verglichen. Den Versuchspersonen wurden sechs Stimulusklassen mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen dargeboten: 1. Bildschirm mit Fixationskreuz, 2. passiv zu betrachtende Gesichter, 3. Wellenmuster deren Orientierung angegeben werden sollte, 4. unbekannte Gesichter, deren Geschlecht benannt werden sollte; 5. Gesichter bekannter Personen, deren Identität benannt werden sollte und 6. verschiedene Objekte, die einer Kategorie zugeordnet werden sollten. Es zeigte sich bei der Betrachtung von Gesichtern allgemein

Theoretischer Hintergrund

eine Beteiligung relativ großflächiger Hirnbereiche, die sich von occipitalen Hirnarealen bis in temporale Bereiche erstrecken und besonders ventro-mediale Bereiche einbeziehen. Bei der Geschlechtererkennungsaufgabe zeigte sich im Vergleich zu der Wellenorientierungsaufgabe und der Objektkategorisierungsaufgabe eine erhöhte Aktivität im Bereich des ventralen Occipitallappens, wobei eine rechtshemisphärische Dominanz auftrat. In der Identitätserkennungsaufgabe zeigte sich eine erhöhte Aktivierung eher in anterioren Hirnbereichen. Der Gyrus fusiformis beider Hemisphären sowie der rechte linguale Gyrus erwiesen sich in dieser Aufgabe als die Bereiche mit der höchsten reizspezifischen Aktivierung. Neben diesen Hirnarealen, in denen sich eine erhöhte Aktivität bei der Verarbeitung von Gesichtern im Vergleich zur Verarbeitung von anderen Objekten zeigte, wurden Bereiche lokalisiert, in denen bei Gesichterverarbeitung und Objektwahrnehmung gleichermaßen eine Aktivität gemessen wurde, diese Bereiche waren der orbitofrontale Cortex beider Hemisphären sowie der linke Gyrus fusiformis. Der rechte fusiforme Gyrus scheint nach Ansicht der Autoren speziell an der Erkennung der Identität einer Person beteiligt zu sein, da sich eine erhöhte Aktivität in diesem Hirnareal nur in der entsprechenden Bedingung zeigte. Im Gegensatz zu den Befunden, die an Makaken erhoben wurden und eine Beteiligung des Sulcus temporalis superior nahe legte, konnten Sergent et al. (1992) keine mit Gesichterverarbeitung assoziierte Aktivität in diesem Bereich feststellen. Eine erhöhte Aktivität in einem Hirnbereich allein lässt allerdings noch keine exakten Rückschlüsse darüber zu, was genau an dem verarbeiteten Objekt diese Aktivierung ausgelöst hat. So können unterschiedliche Aktivierungsmuster im Gehirn auf Unterschiede der Stimuli zurückzuführen sein, die rein physikalischer oder struktureller Natur sind, was noch nicht gleichbedeutend mit der Spezialisierung eines Areals für die Verarbeitung eines spezifischen Stimulus sind.

Theoretischer Hintergrund

Puce, Allison, Gore und McCarthy (1995) untersuchten in einer fMRI-Studie die Hirnaktivität bei der Betrachtung von Gesichtern im Vergleich zu der Betrachtung derselben Bilder, die aber derart verändert wurden, dass sie als Gesichter nicht mehr zu erkennen waren. Auf diese Art und Weise veränderte Gesichter werden als „scrambled-Faces“ bezeichnet. Bei dieser Prozedur, die sich auch auf andere Stimuli anwenden lässt, werden die Elemente des betreffenden Stimulus durcheinander geworfen. Durch diese Veränderung der Bilder werden andere Reizeigenschaften, die einen möglichen Einfluss auf die Hirnaktivität haben können wie z.B. die Farbe oder die Leuchtintensität, zwischen den Bedingungen konstant gehalten. Wäre nun die erhöhte Aktivierung in einem Hirnareal in einer Bedingung (hier intakte Gesichter) im Vergleich zu dem gleichen Hirnareal in einer anderen Bedingung (hier durcheinander geworfene Gesichter) nur auf unterschiedliche physikalische Eigenschaften der Stimuli zurückzuführen, sollten keine signifikanten Unterschiede in der Aktivierung zwischen den intakten Gesichtern und den verzerrten Gesichtern auftreten, da diese physikalischen Eigenschaften über die Stimuli konstant gehalten wurden. Puce et al. (1995) fanden die höchste Aktivierung bei der Betrachtung der intakten Gesichter verglichen mit der Aktivierung, die bei der Betrachtung der „scrambled-Faces“ gemessen wurde, im mittleren Anteil des fusiformen Gyrus. Es zeigte sich eine geringe Dominanz dieses Areales in der rechten Hemisphäre, allerdings waren diese Hemisphärenunterschiede nicht signifikant.

Kanwisher, McDermott und Chun (1997) untersuchten ebenfalls in einer fMRI-Studie verschiedene Aspekte bei der Wahrnehmung von Gesichtern. In einem ersten Teil dieser Untersuchung war es das Ziel, generell aktivere Areale bei der passiven Wahrnehmung von Gesichtern im Vergleich zu anderen Objekten (z.B. Telephone) zu lokalisieren. Es zeigte sich in nur einem einzigen Hirnareal eine höhere Aktivierung bei der Darbietung von Gesichtern im Vergleich zu den anderen Objekten, und zwar im Gyrus fusiformis, mit einer Dominanz der rechten Hemisphäre. In einem zweiten Teil des Experiments sollte die Frage untersucht werden, ob die vergleichsweise höhere Aktivierung dieser Region bei Gesichterdarbietung durch unterschiedliche physikalische Stimulusmerkmale (Helligkeit, Kontrastschärfe) im Vergleich zu den Kontrollstimuli bedingt war. Dazu

Theoretischer Hintergrund

wurden die zuvor benutzten Gesichter so manipuliert, dass sie als Gesichter nicht mehr zu erkennen waren („scrambled-Faces“). Alle zuvor im Reizmaterial enthaltenen physikalischen Merkmale wurden aber wie bei Puce et al. (1995) konstant gehalten. Es zeigte sich wie im ersten Experiment eine signifikant höhere Aktivierung im Gyrus fusiformis bei der Darbietung intakter Gesichter als bei der Darbietung der „scrambled-Faces“, wobei in diesem Teil des Experimentes keine rechtsseitige Hemisphären dominance berichtet wurde. In einem dritten Teil dieser Untersuchung wurde der Einfluss einer generell höheren Hirnaktivität auf als „menschlich“ wahrgenommene Reize im Vergleich zu Reizen untersucht, die als „nichtmenschliche Reize“, z.B. Objekte, wahrgenommen werden. Dazu wurden neben den schon in den ersten beiden Teilen der Untersuchung verwendeten Objekte Hände als Stimuli dargeboten. Auch in dieser Bedingung fand sich eine höhere Aktivierung im fusiformen Gyrus bei der Präsentation der Gesichter, so dass die Wahrnehmung eines Reizes als „menschlich“ zumindest nicht ausreicht, um die in dieser Hirnregion gefundene Aktivierung zu erklären.

Clark, Maisog und Haxby (1998) untersuchten gesichtsspezifische Hirnaktivität in einer fMRI-Studie. Dazu präsentierten sie drei unterschiedliche Typen von Stimuli: 1. wiederholt dargebotene intakte Gesichter, 2. einmalig dargebotene intakte Gesichter und 3. „scrambled-Faces“. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, das Erkennen von wiederholt dargebotenen intakten Gesichtern (Zielreiz) per Tastendruck anzuzeigen. Auf die Darbietung intakter Gesichter wie auch von „scrambled-Faces“ zeigte sich bilateral eine erhöhte Aktivität im ventrolateralen occipitalen Cortex, im fusiformen Gyrus, im lateralen occipito-temporalen Sulcus und im inferioren temporalen Gyrus. In diesen Bereichen trat die erhöhte Aktivität auf die Darbietung intakter Gesichter eher anterior auf, bei Darbietung der „scrambled-Faces“ eher posterior.

Tong, Nakayama, Moscovitch, Weinrib und Kanwisher (2000) untersuchten in einer fMRI-Studie unterschiedliche Aspekte eines Gesichtsreizes, die zu einer neuronalen gesichtsspezifischen Aktivität speziell im fusiformen Gyrus führen könnten. In einem ersten Teil der Untersuchung wurde die Aktivität bei der Darbietung von menschlichen

Theoretischer Hintergrund

Gesichtern, Gesichtern von Katzen, schematischen Gesichtern und von anderen Objekten wie z.B. Photoapparaten gemessen. Es zeigten sich keine Unterschiede in der gemessenen Aktivität zwischen der Betrachtung der menschlichen Gesichter und der Katzensgesichter. Die von den beiden Stimulusgruppen hervorgerufene Aktivität war jedoch signifikant höher im Vergleich zu den schematischen Gesichtern. Die geringste Aktivität im fusiformen Gyrus war bei der Darbietung der Objekte zu registrieren. Im zweiten Teil der Untersuchung wurden den Versuchspersonen Bilder von menschlichen Gesichtern, Gesichtern von Comicfiguren (z.B. Mickey Mouse), aufrecht und invertiert und als Kontrollreize Bilder von anderen Objekten dargeboten. Keine Unterschiede ergab der Vergleich zwischen den menschlichen Gesichtern und den aufrecht dargebotenen Cartoongesichtern, dagegen war die Aktivität als Reaktion auf invertiert dargebotene Gesichter signifikant geringer. Wie im ersten Teil war die geringste Aktivität als Reaktion auf die Objekte zu registrieren. Im dritten Teil der Untersuchung wurden vollständige Gesichter, Gesichter ohne Augen, Augen alleine und Häuser dargeboten. Vollständige Gesichter bewirkten im Vergleich zu den Gesichtern ohne Augen eine höhere Aktivität, dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Wurden Augen dagegen alleine dargeboten, zeigte sich eine signifikant niedrigere Aktivität im Vergleich zu den beiden Gesichtern (vollständig und ohne Augen). Objekte lösten wiederum die geringste Aktivität im fusiformen Gyrus aus. Im letzten Teil der Untersuchung wurden Gesichter in vier verschiedenen Positionen dargeboten: 1. frontal, 2. in einer Profilansicht, 3. schräg und 4. um 180 Grad abgewandt (Kopf von hinten). Die frontale Darbietung unterschied sich in der hervorgerufenen Aktivierung nicht von der Profilansicht, die schräge Darbietung sowie die um 180 Grad abgewandte Darbietung zeigten dagegen signifikant niedrigere Aktivitäten. Die Autoren leiteten aus ihren Ergebnisse die Schlussfolgerung ab, dass es keine spezifischen Merkmale eines Gesichtes sind, auf die Populationen von spezialisierten Neuronen im fusiformen Gyrus reagieren. Vielmehr sei es ein breites Spektrum an Gesichtsdarbietungen (menschliche Gesichter, Cartoongesichter, Katzensgesichter) die eine solche neuronale Aktivität hervorrufen können.

Theoretischer Hintergrund

Die bisherigen Befunde, die mit bildgebenden Verfahren gewonnen wurden, beschreiben erhöhte Aktivierungen in bestimmten Hirnbereichen, die durch die Wahrnehmung von Gesichtern allgemein im Gegensatz zu der Wahrnehmung anderer Objekte bedingt zu sein scheinen. Besonders der fusiforme Gyrus scheint eine besondere Rolle bei der Verarbeitung von Gesichtern zu spielen. Daneben gibt es Befunde aus Untersuchungen, deren Ziel es war, die an der Wahrnehmung und Verarbeitung speziell des emotionalen Gehaltes der Gesichter, operationalisiert durch den emotionalen Gesichtsausdruck, beteiligten Hirnbereiche zu identifizieren. Einige Befunde zu diesem Aspekt der Gesichtsverarbeitung werden im Folgenden vorgestellt.

George, Ketter, Gill, Haxby, Ungerleider, Herscovitch und Post (1993) verwendeten in einer PET-Studie zu diesem Zweck ein Face-Matching-Paradigma, bei dem die Versuchspersonen die Aufgabe hatten, aus zwei gleichzeitig auf einem Monitor dargebotenen Gesichtern das Gesicht zu bestimmen, das mit einem dritten, ebenfalls gleichzeitig dargebotenen Gesicht hinsichtlich eines aufgabenrelevanten Kriteriums übereinstimmte. Die aufgabenrelevanten Kriterien waren die Identität der Personen und der emotionale Gesichtsausdruck. Je nach Aufgabe mussten die Versuchspersonen angeben, welches der zwei Gesichter die gleiche Identität oder den gleichen emotionalen Ausdruck wie das dritte Gesicht zeigte. Die emotionalen Gesichtsausdrücke waren entweder neutral, freudig oder traurig. Als Kontrollbedingung wurde eine Lokalisationsbedingung eingeführt, bei der unterhalb der Bilder ein Punkt zu sehen war, der entweder rechts oder links unter dem Bild platziert war. Um die in den einzelnen Bedingungen (Identität vs. emotionaler Gesichtsausdruck) spezifisch aktiveren Hirnbereiche zu identifizieren, wurde die durch die Kontrollbedingung ausgelöste Aktivierung von den einzelnen Bedingungen subtrahiert. Daraus resultierend zeigten in der Emotionsbedingung folgende Bereiche eine erhöhte Aktivität: 1. untere Anteile des Occipitallappens beider Hemisphären, 2. anteriore Bereiche beider Temporallappen sowie 3. der präfrontale Cortex mit einer rechtsseitigen Dominanz. In der Identitätsaufgabe waren die aktiveren Bereiche: 1. untere Anteile des Occipitallappens beider Hemisphären sowie 2. mittlere Anteile beider Temporallappen. In der Kontrollaufgabe zeigte sich eine erhöhte

Theoretischer Hintergrund

Aktivität nur in parieto-occipitalen Bereichen. Schließlich wurde die Identitätsbedingung von der Emotionsbedingung subtrahiert, um die Hirnbereiche zu bestimmen, deren Aktivität ausschließlich durch den emotionalen Gehalt der Gesichter bedingt war. Dabei zeigten sich folgende Bereiche selektiv aktiv: 1. der anteriore Anteil des cingulären Gyrus rechtshemisphärisch, 2. bilaterale Anteile des präfrontalen Cortex sowie 3. frontale Bereiche mit einer linkshemisphärischen Dominanz. Diese Bereiche wurden daher von George et al. (1993) als verantwortlich für die Wahrnehmung und Verarbeitung des emotionalen Gehaltes von Gesichtern angesehen.

Ebenfalls in einer PET-Studie verwendeten Gur, Skolnick und Gur (1994) eine Diskriminationsaufgabe zur Lokalisation emotionspezifischer Hirnbereiche. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, auf einer siebenstufigen Skala mit den Extrempunkten „sehr fröhlich“ bis „sehr traurig“ den von ihnen wahrgenommenen emotionalen Gesichtsausdruck auf Photographien anzugeben. Die emotionalen Gesichtsausdrücke waren neutral, fröhlich oder traurig und wurden von Schauspielern dargestellt. Als weitere Aufgabe hatten die Versuchspersonen ebenfalls auf einer siebenstufigen Skala das ungefähre Alter (in Dekaden) der abgebildeten Personen anzugeben. In allen drei Aufgaben (Diskrimination des fröhlichen Gesichtsausdrucks, Diskrimination des traurigen Gesichtsausdrucks sowie Angabe des Alters) zeigte sich im Vergleich zur Baselineaktivität (gemittelte Aktivität vor einer Aufgabenbearbeitung) eine erhöhte Aktivitätszunahme in der rechten Hemisphäre, was von den Autoren als konsistent mit Befunden angesehen wurde, die eine generelle Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung von Gesichtern unabhängig vom emotionalen Ausdruck nahe legen. Für die Wahrnehmung der fröhlichen Gesichter fand sich die Zunahme der Aktivität in frontalen Bereichen mit einer linkshemisphärischen Dominanz. Verglichen mit der durch die Angabe des Alters bedingten Aktivitätszunahme zeigte sich in beiden Emotionsaufgaben eine Zunahme in rechtshemisphärischen parietalen Bereichen.

Morris, Öhmann und Dolan (1998) untersuchten ebenfalls in einer PET-Studie die neuronale Aktivität selektiv bei der Darbietung ängstlicher Gesichter. Dabei wurden die

Theoretischer Hintergrund

Gesichter so präsentiert, dass sie entweder bewusst wahrgenommen werden konnten oder in der Form, dass die Versuchspersonen keine bewusste Wahrnehmung angeben konnten. Sowohl auf die bewusst wahrgenommenen ängstlichen Gesichter als auch auf die nicht-bewusst wahrgenommenen Gesichter zeigte sich eine bilaterale Zunahme der Aktivität in der Amygdala. Das Ausmaß dieser Zunahme zeigte einen Hemisphäreneffekt in Abhängigkeit von der bewussten oder unbewussten Wahrnehmung des ängstlichen Gesichtes. Eine erhöhte Aktivierung als Antwort auf die unbewusst wahrgenommenen Gesichter zeigte sich rechtshemisphärisch in inferioren und medialen Anteilen der Amygdala. Als neuronale Antwort auf bewusst wahrgenommene Gesichter zeigte sich die Aktivitätszunahme stärker linkshemisphärisch in posterioren und superioren Bereichen der Amygdala. In einer weiteren fMRI-Studie untersuchten Phillips, Young, Senior, Brammer, Andrews, Calder, Bullmore, Perrett, Rowland, Williams, Gray und David (1997) die Hirnaktivität bei der Darbietung ängstlicher Gesichtsausdrücke und von Gesichtsausdrücken, die die Emotion Ekel darstellten. Zusätzlich wurden Bilder mit neutralen Gesichtsausdrücken dargeboten. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, durch Tastendruck das Geschlecht der dargestellten Person anzugeben. Bei der Darbietung von Gesichtern, die die Emotion Ekel darstellten, fanden Phillips et al. eine Aktivitätszunahme im anterioren Bereich der rechtshemisphärischen Insel und im medialen Frontalcortex. Eine Aktivitätszunahme aufgrund der Darbietung der ängstlichen Gesichter konnte in der Amygdala beider Hemisphären gemessen werden.

Die Befunde deuten auf eine Beteiligung occipitaler und temporaler Bereiche (besonders des inferioren temporalen Gyrus), des fusiformen Gyrus und des lingualen Gyrus bei der Verarbeitung von Gesichtern hin. Eine rechtshemisphärische Dominanz scheint sich ebenfalls zu zeigen, allerdings wird diese nicht konsistent berichtet. Bei der Verarbeitung des emotionalen Gehaltes konnte eine Beteiligung des anterioren cingulären Gyrus, des präfrontalen Cortex sowie des frontalen Cortex gezeigt werden. Bei der Verarbeitung ängstlicher Gesichtsausdrücke zeigte sich eine Aktivitätszunahme in der Amygdala, bei der Verarbeitung von Gesichtern die die Emotion „Ekel“ darstellten, war eine Aktivitätszunahme in der Insel zu beobachten.

1.2.3 Elektrophysiologische Verfahren

Neben den geschilderten Untersuchungen, in denen die speziell an der Verarbeitung von Gesichtern und deren emotionalen Ausdrücken beteiligten Strukturen mit bildgebenden Verfahren identifiziert werden sollten, lassen sich Prozesse der Gesichterwahrnehmung auch mit elektrophysiologischen Methoden erfassen. Hierzu gibt es die Möglichkeit der Ableitung mit Tiefenelektroden oder eine Ableitung mit an der Schädeloberfläche angebrachten Elektroden, wobei die Ableitung neuronaler Aktivität an Tiefenelektroden eine genauere Lokalisation ermöglicht. Diese Methode lässt sich aber nur dann einsetzen, wenn ein Patient im Rahmen eines sogenannten stereotaktischen Eingriffs behandelt wird. Oftmals handelt es sich dabei um Patienten, die an einer nicht anderweitig behandelbaren Epilepsie leiden. Ein Vorteil bei diesen Operationen ist die Tatsache, dass die Patienten nicht vollständig anästhesiert sind, was eine Durchführung z.B. neuropsychologischer Tests erlaubt. Ein weiterer Vorteil ist, dass über die eingeführten Elektroden bestimmte Bereiche des Gehirns elektrisch gereizt werden können. In diesem Abschnitt werden zunächst die Befunde vorgestellt, die während stereotaktischer Eingriffe und der Ableitung mit Tiefenelektroden erhoben worden sind, da diese sich wegen der Möglichkeit einer genauen Lokalisierung gemeinsam mit den in den vorherigen Abschnitten besprochenen Ergebnissen diskutieren lassen. Die Ergebnisse aus Untersuchungen mit Oberflächenelektroden, die mit der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Ableittechnik kompatibel sind, werden unter Punkt 1.3 gesondert vorgestellt.

Fried, Mateer, Ojemann, Wohns und Fedio (1982) reizten während eines stereotaktischen Eingriffs eine Anzahl von Hirnbereichen elektrisch. Sie fanden eine Beeinträchtigung bei der Benennung emotionaler Gesichtsausdrücke während der elektrischen Reizung der posterioren Anteile des rechten mittleren temporalen Gyrus. Zu einer allgemeinen Beeinträchtigung bei der Wahrnehmung von Gesichtern kam es bei Reizung in parieto-occipitalen Bereichen sowie bei Reizung des posterioren inferioren frontalen Gyrus. Ojemann, Ojemann und Lettich (1992) registrierten mit Mikroelektro-

Theoretischer Hintergrund

den die neuronale Aktivität bei der Bearbeitung von Vergleichsaufgaben für Gesichtsidentitäten, emotionale Gesichtsausdrücke und komplexe Muster. Dabei fanden sie eine Aktivität im anterioren Bereich des mittleren temporalen Gyrus, die nur bei der Benennung emotionaler Gesichtsausdrücke auftrat. Während der Identitätsaufgabe trat eine Aktivität eher in posterioren Bereichen auf. Für beide Aufgabenbearbeitungen zeigte sich gleichermaßen eine Aktivierung im superioren wie auch im inferioren Temporallappen.

Halgren, Baudena, Heit, Clarke und Marinkovic (1994) führten Tiefenableitungen an 33 Patienten durch, deren Epilepsie nicht mehr auf eine medikamentöse Therapie ansprach. Weitere neurologische Beeinträchtigungen lagen nicht vor. Ziel der Untersuchung war es, den zeitlichen Verlauf und anatomische Korrelate bei der Erkennung von Gesichtern und von Wörtern zu identifizieren. Tiefenelektroden wurden im Temporallappen, Parietallappen und im Occipitallappen nach einem standardisierten System (Talairach-System; Talairach und Tournoux, 1988) angebracht, das eine exakte Lokalisation der Elektrodenpositionen anhand eines Koordinatensystems erlaubt. Nach den berechneten Koordinaten waren die Elektroden in folgenden Bereichen angebracht: 1. im lingualen Gyrus, 2. im fusiformen Gyrus, 3. im lateralen Bereich des occipitalen Cortex, 4. im posterioren parahippocampalen Gyrus, 5. im posterioren Hippocampus, 6. im anterioren Hippocampus, 7. in der Amygdala, 8. im posterioren Anteil des medialen Temporallappens, 9. im anterioren Anteil des medialen Temporallappens, 10. im posterioren Anteil des superioren Temporallappens, 11. im anterioren Anteil des Temporallappens, 12. im posterioren cingulären Gyrus und im Gyrus supramarginalis. Den Patienten wurden Bilder von ihnen unbekannten Gesichtern dargeboten, die zum Teil mehrfach gezeigt wurden. Ihre Aufgabe war es, anzugeben, ob es sich bei einem Gesicht um ein schon vorher gezeigtes handelte oder nicht. Die gleiche Aufgabenstellung und Versuchsdurchführung wurde auch in der Worterkennungsaufgabe verwendet. Die Analyse der abgeleiteten Potenziale deuteten auf eine Reihe von Komponenten hin, deren Auftreten nur als Antwort auf die Wahrnehmung der Gesichter, nicht aber der Wörter zurückzuführen zu sein scheint. Dabei handelte es sich um Komponenten, die in

Theoretischer Hintergrund

einem Zeitfenster von 70 ms bis 700 ms nach Darbietung des Gesichtsreizes an unterschiedlichen Lokalisationen auftraten. Für die unter Punkt 1.3.1 beschriebenen Experimente und auch für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen ist die gesichtsspezifische Aktivität in einem Latenzbereich von 140 ms bis 200 ms nach Reizdarbietung von besonderem Interesse, daher werden hier die von Halgren et al. (1994) als gesichtsspezifisch berichteten Komponenten nur für dieses Zeitfenster (hier 130 ms bis 200 ms) dargestellt. In diesem Zeitfenster konnten zwei Komponenten gefunden werden, die sich an verschiedenen Lokalisationen zeigte. Eine erste negative Komponente wurde in einen Latenzbereich von 90 ms bis 150 ms gefunden und aufgrund ihrer mittleren Latenz als N130 bezeichnet. Eine zweite, positive Komponente mit einer mittleren Latenz von 180 ms wurde als P180 bezeichnet. Die größten Amplituden der N130 sowie der P180 konnten in Bereichen des fusiformen Gyrus beider Hemisphären abgeleitet werden, wobei keine Hemisphärendominanz berichtet wurde. Beide Komponenten ließen sich auch an anderen Lokalisationen zeigen, jedoch traten sie dort schwächer und nicht nur als gesichtsspezifische Reaktion auf. Allison, Ginter, McCarthy, Nobre, Puce, Luby und Spencer (1994) implantierten bei Patienten Elektroden, subdural auf der kortikalen Oberfläche, in Vorbereitung eines stereotaktischen Eingriffes aufgrund einer nicht anderweitig behandelbaren Epilepsie. Die Elektroden wurden ebenfalls nach dem Talairach-System platziert. Als visuelle Reize wurden den Patienten Bilder von Gesichtern, „scrambled-Faces“, Autos, „scrambled-Cars“ sowie Bilder von Schmetterlingen dargeboten. In einem ersten Teil der Untersuchung wurde die Aktivität bei der Betrachtung der Bilder gemessen. In einem zweiten Teil wurden Bereiche, die eine gesichtsspezifische Aktivität nahe legten, elektrisch gereizt. Bei der Messung der Aktivität während der Betrachtung der Bilder konnte ein negatives Oberflächenpotenzial identifiziert werden, das mit einem maximalen Peak ungefähr 200 ms nach Darbietung eines Gesichtsreizes auftrat, nicht aber bei der Darbietung anderer Reize. Diese Komponente wurde als N200-Komponente bezeichnet und von den Autoren als eine gesichtsspezifische EEG-Komponente angesehen. Die Hirnbereiche, in denen die N200 auftrat waren der fusiforme Gyrus sowie der inferiore temporale Gyrus beider Hemisphären. Bei elektrischer Reizung dieser Bereiche zeigte sich eine Unfähig-

Theoretischer Hintergrund

keit der Patienten, ihnen bekannte Personen auf Bildern korrekt zu benennen. Diese Unfähigkeit bezog sich nicht auf andere Reize und verschwand nach der elektrischen Stimulation wieder.

1.2.4 Folgerung für die Lokalisation der Gesichterverarbeitung

Vergleicht man die Areale, die mit Hilfe von Läsionsstudien, bildgebenden Verfahren und Ableitungen mit Tiefenelektroden als gesichtsspezifisch identifiziert wurden, mit den Arealen, die bei vorliegender Hirnschädigung zum Krankheitsbild der Prosopagnosie führen, lassen sich anatomische Übereinstimmungen finden. Wie schon weiter oben unter Punkt 1 beschrieben, wurden in post-mortem-Untersuchungen wie auch in in-vivo-Studien an dieser Patientengruppe Schädigungen im Übergangsbereich des Temporallappens zum Occipitallappen festgestellt, die den Gyrus fusiformis einbezogen. Dieser Bereich scheint in besonderer Weise an der Wahrnehmung von Gesichtern beteiligt zu sein, da er in nahezu allen beschriebenen Studien als der Bereich identifiziert wurde, in dem, verglichen mit anderen Reizen, eine erhöhte Aktivität zu finden war. Eine Hemisphärendominanz im Sinne einer Lateralisation wurde dagegen nicht in allen Untersuchungen gefunden. Beide Hemisphären scheinen daher an der Verarbeitung von Gesichtern und deren emotionalen Ausdrücken beteiligt zu sein. Auch kann die Gesichterverarbeitung nicht nur einer einzelnen umschriebenen Struktur des Gehirnes alleine zugeordnet werden, weitere Bereiche in occipito-temporalen Strukturen zeigen ebenfalls eine Beteiligung bei der Wahrnehmung von Gesichtern. Die Lage des fusiformen Gyrus wird in Abbildung 1.3 und Abbildung 1.4 dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Hirnstruktur an der basalen Oberfläche beider Hemisphären. Der Gyrus fusiformis grenzt an den anterioren Anteil des inferioren temporalen Cortex (Gyrus temporalis inferior).

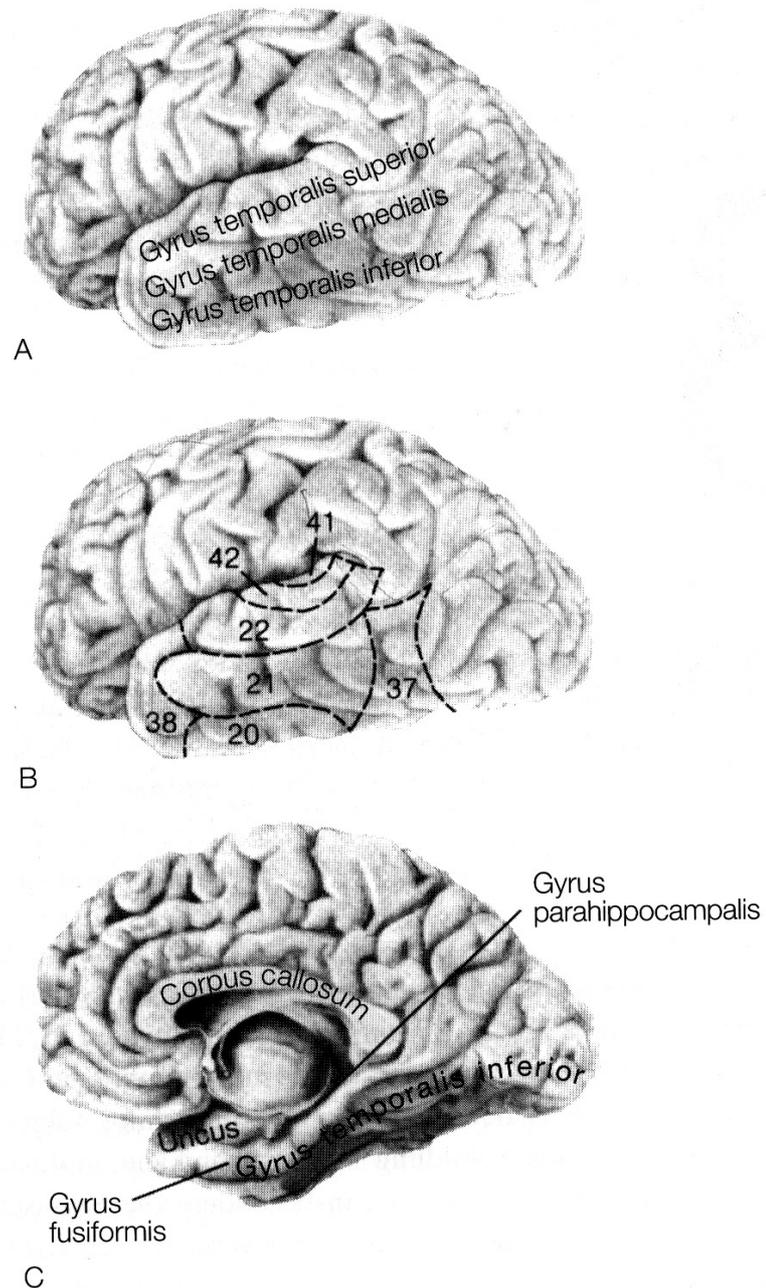


Abbildung 1.3 A: Lage und Unterteilung des Temporallappens (laterale Ansicht der linken Hemisphäre); B: Lage der Brodman-Areale; C: Lage des Gyrus fusiformis (mediale Ansicht der rechten Hemisphäre); aus: Kolb & Whishaw, 1996, Abb. 13.1, S 242

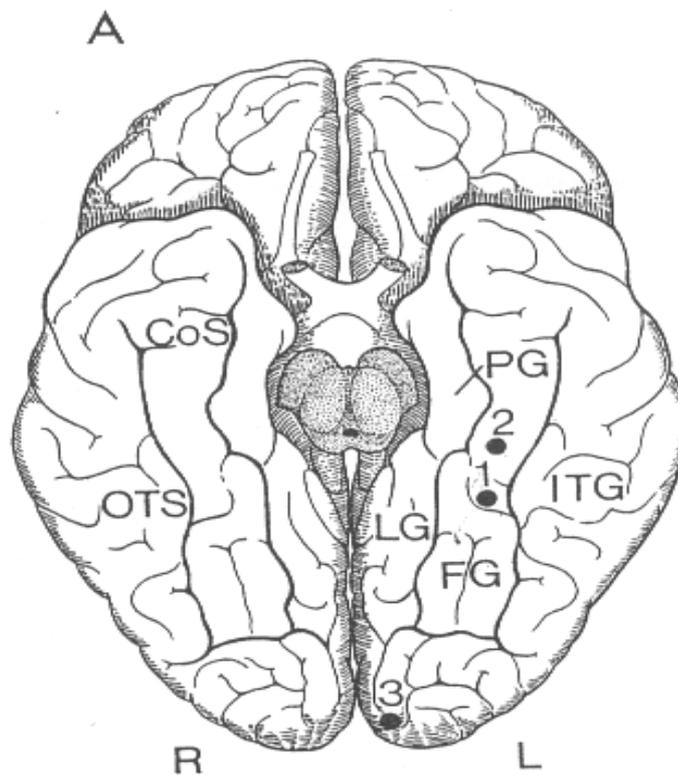


Abbildung. 1.4 Ansicht des fusiformen Gyri (FG), des lingualen Gyri (LG), des parahippocampalen Gyri (PG), des inferioren temporalen Gyri (ITG), des occipitotemporalen Sulcus sowie des collateralen Sulcus (CoS). Aus: Allison et al. (1994). *Human extrastriate Visual Cortex and the Perception of Faces, Words, Numbers and Colors. Cerebral Cortex*, 5, 544-554.

Allerdings muss einschränkend berücksichtigt werden, dass sich Ergebnisse, die an Personen mit einer strukturellen oder funktionalen Hirnschädigung leiden (z.B. Epilepsiepatienten) nicht ohne weiteres auf gesunde Personen übertragen lassen, da man nicht sicher sein kann, ob es zu einer Um- bzw. Reorganisation von Hirnfunktionen gekommen ist.

1.3 Nicht invasiv abgeleitete evozierte Potenziale

Die bislang beschriebenen anatomischen Korrelate normaler und gestörter Gesichterverarbeitung wurden in Tierversuchen, Untersuchungen an gesunden Probanden sowie in der an Epilepsiepatienten subdural abgeleiteten Aktivität, hervorgerufen durch Darbietung von Gesichtsreizen, gezeigt. Ebenso lassen Beeinträchtigungen dieses Prozesses durch elektrische Stimulation bestimmter Hirnbereiche Rückschlüsse auf die Lokalisation der Gesichterverarbeitung zu. Daneben bieten an der Schädeloberfläche ableitbare ERPs die Möglichkeit, den Prozess der Gesichterverarbeitung im allgemeinen, wie auch spezifische Aspekte dieses Prozesses, zu untersuchen. Dabei geben ERPs insbesondere über die zeitlichen Charakteristika der Gesichterverarbeitung Hinweise und weniger über die genaue Lokalisation. Die nicht-invasive Ableitung von evozierten Potenzialen erlaubt die Untersuchung von gesunden Versuchspersonen und somit eine Vermeidung der Konfundierung durch mögliche Reorganisationen von Hirnfunktionen. Ebenso können Aufgabenstellungen im EEG-Labor variiert werden, die mit Hilfe bildgebender Verfahren nur schwer zu realisieren sind. In dem folgenden Abschnitt werden Untersuchungen und Befunde zu Oberflächenableitungen beschrieben. Bei allen beschriebenen EEG-Studien wurden die Elektroden einem standardisierten System folgend (10-20er System, Jasper, 1958) positioniert.

1.3.1 Die gesichtsspezifische N170-Komponente

Eine der am häufigsten in der Literatur beschriebenen und als gesichtsspezifisch angesehene ERP-Komponente ist eine Negativierung im evozierten Potenzial, deren maximaler Peak (maximaler Gipfelpunkt einer Amplitude) mit einer durchschnittlichen Latenz von 170 ms nach Beginn der Darbietung von Gesichtern auftritt und daher als N170-Komponente bezeichnet wird. Die Gesichtsspezifität der zwischen 140 ms und 200 ms nach Reizdarbietung auftretenden ERP-Komponente ist Gegenstand von Unter-

Theoretischer Hintergrund

suchungen mit teilweise recht unterschiedlichen Fragestellungen. Dabei sind Fragestellungen und Paradigmen oftmals denen ähnlich, die Gegenstand der schon beschriebenen Untersuchungen mit anderen Meßmethoden waren.

Eine erste zu beantwortende Frage ist, ob dieses evozierte Potenzial tatsächlich nur durch die Wahrnehmung des spezifischen Gesichtsreizes ohne Beeinflussung durch semantische Aspekte (z.B. Ausdruck oder Identität der Gesichter) ausgelöst werden kann. Diese Aspekte können auch unter dem Begriff „Top-Down-Prozesse“ subsumiert werden. In dem kognitiven Modell der Gesichtererkennung von Bruce und Young entspräche eine Generierung der N170 nur durch die strukturelle Verarbeitung des Reizes, ohne weitere Modulationen, dem in Box 1 beschriebenen Prozess. Des Weiteren lässt sich die Frage stellen, ob diese Komponente nur durch die Darbietung eines vollständigen Gesichtes ausgelöst wird oder ob es einzelne Merkmale des Gesichtes sind, die eine spezifische Reizantwort bedingen. Für die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Experimente war es von besonderem Interesse, ob es gelingen würde, eine Modulation der N170 speziell durch die in den Gesichtern dargestellten emotionalen Ausdrücke zu erreichen. Neben den die Gesichterverarbeitung auslösenden Faktoren ist die intrahemisphärische Lokalisation der gesichtsspezifischen Komponente sowie eine mögliche Lateralisation bei der Verarbeitung von Gesichtern ein zu untersuchender Aspekt. Dabei spielen auch die anatomischen Grundlagen der Gesichterverarbeitung eine wichtige Rolle. Elektrophysiologische Korrelate, die an der Schädeloberfläche abgeleitet und gemessen werden können und mit spezifischen Prozessen in tiefer gelegenen Hirnstrukturen assoziiert sein sollen, sollten sich in den sich über diesen Strukturen befindlichen Bereichen zeigen. Für gesichtsspezifische ERPs bedeutet dies, dass es sinnvoll ist, in tempero-occipitalen Bereichen nach diesen zu suchen. Dabei ist allerdings die schon erwähnte eingeschränkte räumliche Auflösung des Elektroenzephalogramms zu berücksichtigen.

Theoretischer Hintergrund

In einer Arbeit von Bentin, Allison und McCarthy (1996) wurde über verschiedene Studien und unterschiedliche Fragestellungen berichtet. In einem ersten Experiment sollte untersucht werden, ob sich ein evoziertes Potenzial, das nur auf Gesichter, nicht aber auf andere Stimuli (Kontrollstimuli) ausgelöst wird, an der Schädeloberfläche ableiten und messen lässt. Als Kontrollstimuli verwendeten die Autoren Bilder von „scrambled-Faces“, Autos, „scrambled-Cars“ und Schmetterlingen. Die Darbietung der Stimuli erfolgte auf einem Monitor. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, zu zählen, wie oft ein vorher definierter Zielreiz (Schmetterling) auftrat. Nach Auswertung der evozierten Potenziale für jede Stimuluskategorie konnte an den temporalen Elektroden T5 und T6 eine negative Komponente gefunden werden, die nach der Präsentation der Gesichter auftrat, nicht aber nach der Präsentation der anderen Objektkategorien. Diese negative Komponente trat mit einer durchschnittlichen Latenz von 172 ms nach Reizdarbietung auf und wurde daher als N170-Komponente bezeichnet. Auf die Darbietung der verzerrten Gesichter konnte ebenfalls eine Negativierung gefunden werden, allerdings mit einer signifikant niedrigeren Amplitude. Die Amplitude der N170 zeigte rechtshemisphärisch eine größere Ausprägung, dieser Effekt war aber nicht signifikant. In einem zweiten Teil der Untersuchung sollte der Frage nachgegangen werden, ob sich die N170 nicht auch durch andere erkennbare Körperteile auslösen lässt. Dazu wurden Bilder von Händen als Kontrollstimuli gewählt. Ein weiterer Vergleich, der in diesem zweiten Experiment angestellt werden sollte, war der zwischen der Reizantwort auf menschliche Gesichter und der Reizantwort, die bei der Darbietung nichtmenschlicher Gesichter abgeleitet werden kann. Dazu wurden Bilder von Tiergesichtern präsentiert. Eine weitere Kategorie von Kontrollstimuli waren Bilder von Möbelstücken. Als Zielreize, die die Versuchspersonen zählen sollten, wurden Bilder von Autos dargeboten. Wie im ersten Experiment ließ sich über den Elektroden T5 und T6 eine N170-Komponente ableiten, die in diesem Fall geringfügig ausgeprägter an T6 (rechte Hemisphäre) zu messen war, allerdings war dieser Effekt ebenfalls nicht signifikant. Diese N170-Komponente war nur für die menschlichen Gesichter zu registrieren. Zwischen den verschiedenen Kontrollstimuli ergaben sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich einer Negativierung in dem interessierenden Zeitbereich.

Theoretischer Hintergrund

Dieses Potenzial konnte somit nicht durch die Darbietung von Körperteilen generell oder nichtmenschlicher Gesichter ausgelöst werden. In einem weiteren Experiment wurde nun untersucht, wie sich das evozierte gesichtsspezifische Potenzial verhält, wenn die Gesichter auf dem Kopf stehend dargeboten werden. Diese Fragestellung wurde vor dem Hintergrund entwickelt, dass gesunde Personen ebenso wie Personen, die an einer Prosopagnosie leiden auch mehr Schwierigkeiten zeigen, ein bestimmtes Gesicht zu erkennen, wenn dies auf dem Kopf stehend dargeboten wird (z.B. Diamond & Carey, 1986; Tanaka & Farah, 1993). Als Kontrollstimuli wurden wieder Bilder von Schmetterlingen und Autos gezeigt, die ebenfalls invertiert dargeboten wurden. Die Versuchspersonen sollten wie in den Experimenten zuvor einen Zielreiz (Schmetterling) zählen. Die Ergebnisse dieses Experimentes zeigten die auch in den anderen Experimenten gefundene N170-Komponente an den Elektroden T5 und T6, die nur durch die Gesichter, aufrecht und invertiert dargeboten, hervorgerufen wurde. In diesem Teil der Untersuchung war die rechtshemisphärisch abgeleitete N170 signifikant größer im Vergleich zur linkshemisphärisch abgeleiteten. Die Latenz der N170 als Reaktion auf die invertiert dargebotenen Gesichter war signifikant länger als die Latenz der N170, die durch aufrecht dargebotene Gesichter hervorgerufen wurde. In einem vierten Experiment der Untersuchung wurde nun die neuronale Aktivität bei der Betrachtung vollständiger Gesichter mit der Aktivität bei der Betrachtung nur einzelner Komponenten eines Gesichtes (Augen, Nase, Lippen und Mund) verglichen. Eine N170 konnte durch die Darbietung der Gesichter sowie der Darbietung der Augen hervorgerufen werden. In beiden Hemisphären war die N170 in der Augenbedingung größer als in der Gesichterbedingung. Latenzunterschiede zwischen Gesichtern und Augen wurden im Sinne einer längeren Latenz der N170 auf separat dargebotene Augen gefunden. Die Präsentation von Lippen oder Mund brachte keine N170 hervor. In einem fünften Experiment der Untersuchung wurde die Anordnung einzelner Komponenten in ihrer relativen Lage zueinander in den Gesichtern verändert, um die Notwendigkeit für eine bestimmte Konfiguration der Gesichtsmerkmale zur Auslösung einer N170 zu untersuchen. Die veränderte Konfiguration innerhalb des Gesichtes zeigte keinen Einfluss auf die N170.

Theoretischer Hintergrund

Die größere rechtshemisphärische Ausprägung dieser Komponente war wiederum nicht signifikant.

George, Evans, Fiori, Davidoff und Renault (1996) präsentierten in einem Prime-Probe-Paradigma Bilder von intakten Gesichtern und ebenfalls Bilder von Gesichtern, in denen die Anordnung der Augen, Nase und Mund verändert waren, die Anordnung der einzelnen Merkmale untereinander blieb aber erhalten. Als Prime-Stimulus wurde entweder ein intaktes oder ein „scrambled-Face“ dargeboten. Als Probe-Stimuli wurden gleichzeitig ein intaktes und ein „scrambled-Face“ gezeigt und die Versuchspersonen hatten anzugeben, welches der beiden Bilder dem Prime-Stimulus entsprach. An den temporalen Elektroden T3/T4 und T5/T6 konnten die Autoren auf das zweite Gesicht eine N170 ableiten, die rechtshemisphärisch in beiden Bedingungen (intaktes Gesicht vs. verändertes Gesicht) eine größere Amplitude aufwies. Intakte Gesichter lösten eine N170 mit einer geringeren Amplitude aus, verglichen mit der N170 als Reaktion auf die „scrambled-Faces“. Die N170 auf diese veränderten Gesichter trat mit einer signifikant längeren Latenz als die N170 auf die intakten Gesichter auf. Linkenkaer-Hansen, Palva, Sams, Hietanen, Aronen und Ilmoniemi (1998) präsentierten ihren Versuchspersonen Bilder von intakten Gesichtern und von Gesichtern, die mit einer niedrigen Pixelauflösung dargestellt wurden. Durch die niedrige Pixelauflösung war das Gesicht von dem Hintergrund kaum zu unterscheiden. Beide Gesichtertypen wurden aufrecht und invertiert dargeboten. Invertiert dargebotene Gesichter zeigten in beiden Bedingungen signifikant größere Amplituden in der N170, die auch auf die kaum erkennbaren Gesichter gefunden wurde, verglichen mit den aufrecht dargebotenen. Ebenso trat die N170 bei invertierter Darbietung mit einer längeren Latenz auf. Die Elektroden, an denen die N170 gefunden wurde, waren die P5 und die P6. Roisson, Delvenne, Debatisse, Goffaux, Bruyer, Crommelinck und Guerit (1999) untersuchten den Einfluss der Darbietungsorientierung (aufrecht vs. invertiert) in einem Face-Matching-Paradigma. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, zu entscheiden, ob ein dargebotenes Gesicht mit einem zuvor dargebotenen Gesicht übereinstimmt oder nicht. Die Gesichterpaare wurden der Fragestellung entsprechend aufrecht oder auf dem Kopf stehend

Theoretischer Hintergrund

dargeboten. Die Autoren fanden eine Negativierung in occipito-temporalen Bereichen, speziell an den Elektroden T5 und T6, die der N170 entsprach. Zwischen den aufrecht und den invertiert dargebotenen Gesichtern zeigten sich signifikante Unterschiede sowohl in der Amplitude der N170 als auch in der Latenz. Die Amplituden als Reaktion auf invertiert dargebotene Gesichter waren größer und traten mit einer längeren Latenz auf.

Sagiv und Bentin (2001) präsentierten den Versuchspersonen vier verschiedene Typen von Gesichtern: 1. Reale Gesichter, 2. Portraitzeichnungen von Gesichtern, 3. Karikaturen von Gesichtern und 4. schematische Gesichter. Als Kontrollstimuli wurden „scrambled-Faces“, „scrambled-schematic-Faces“ und Bilder von Blumen dargeboten. Alle vier Typen von Gesichtern lösten eine N170 an den Elektroden P7/P8 und PO7/PO8 aus, die rechtshemisphärisch signifikant größer war. Dabei fanden sich keine Unterschiede zwischen den realen Gesichtern und den schematischen Gesichtern. Karikaturen von Gesichtern lösten die N170 mit der niedrigsten Amplitude innerhalb der Gesichtereize aus. In Experiment 2 wurde der Inversionseffekt zwischen realen und schematischen Gesichtern verglichen. Die Inversion der realen Gesichter führte zu einer größeren Ausprägung der Amplitude der N170 verglichen mit der aufrechten Darbietung. Das Invertieren der schematischen Gesichter hatte einen gegenteiligen Effekt, hier zeigte sich eine verminderte Amplitude, verglichen mit der aufrechten Darbietung. Für beide Typen von Gesichtern zeigte sich in der invertierten Bedingung eine längere Latenz.

Itier und Taylor (2002) untersuchten in ihrer Studie neben dem Inversionseffekt den Einfluss einer Kontrastumkehrung von Photographien. Eine Beeinträchtigung durch eine Umkehr der Kontrastverhältnisse konnte von Kemp, McManus und Pigott (1990) auf die Wiedererkennungsleistung gefunden werden. Itier und Taylor präsentierten den Versuchspersonen drei verschiedene Stimuli: 1. aufrecht dargebotene Gesichter, 2. invertiert dargebotene Gesichter und 3. Kontrast invertierte Gesichter (hier wird positiv mit negativ vertauscht). Als Reaktion auf die Gesichter konnte wiederum eine

Theoretischer Hintergrund

N170 abgeleitet werden, die sich hinsichtlich der Amplitude und ihrer Latenz in den verschiedenen Darbietungen unterschied. Die größten Amplituden der N170 wurden auf die Kontrast invertierten Gesichter gefunden, diese lösten wiederum signifikant größere Amplituden aus, verglichen mit den aufrecht dargebotenen Gesichtern. Invertiert dargebotene Gesichter hatten eine längere Latenz der N170 zur Folge als die Kontrast invertierten Gesichter, diese zeigten längere Latenzen als die aufrecht dargebotenen Gesichter.

Eine mögliche Ursache für den wiederholt berichteten Inversionseffekt liegt nach Diamond und Carey (1986) darin, dass die Wahrnehmung eines Gesichtes von der Konfiguration von Merkmalen erster Ordnung abhängig ist. Allen menschlichen Gesichtern ist die Anordnung von zwei Augen die sich oberhalb der Nase befinden und der darunter liegende Mund gemeinsam. Diese Wahrnehmung eines Reizes als menschliches Gesicht entspricht der strukturellen Verarbeitung in Box 1 in dem kognitiven Modell von Bruce und Young (1986, vgl. Abb. 1.1). Werden Gesichter nun auf dem Kopf stehend dargeboten, verändern sich die konfiguralen Anordnungen der einzelnen Merkmale des Gesichtes, was sich erschwerend auf die Wahrnehmungsleistung des Reizes auswirkt.

Eimer (1998) verglich evozierte Potenziale nach Darbietung von intakten Gesichtern mit der Reaktion auf Gesichter, aus denen die Augen und Augenbrauen entfernt waren und Potenzialen, die durch die Darbietung von Häusern ausgelöst wurden. Dabei sollte die Frage, ob sich die N170 auf die Wahrnehmung eines ganzen Gesichtes oder auf einzelne Teile eines Gesichtes, speziell der Augenpartien zurückführen lässt, untersucht werden. Eimer bezieht sich bei dieser Fragestellung auf Ergebnisse anderer Studien, in denen sich die N170-Komponente ebenfalls bei isolierter Darbietung von Augen ableiten ließ (z.B. Bentin et al., 1996) und sich von der durch vollständige Gesichter evozierten N170 hinsichtlich der Amplitude unterschied. Liegt der N170 nun eine augenspezifische Verarbeitung zu Grunde, sollte sich dies in einem Fehlen oder zumindest in einer verminderten Ausprägung dieser Komponente widerspiegeln, wenn

Theoretischer Hintergrund

Gesichter ohne Augenpartien dargeboten werden. Die Ergebnisse dieser Studie brachten jedoch keine Augenspezifität der N170-Komponente hervor. Das Fehlen der Augenpartie führte nicht zu einem Fehlen oder zu einer verminderten Ausprägung dieser Komponente. Wie in den anderen schon beschriebenen Studien auch, war ihr Auftreten nur auf die Präsentation von Gesichtern im Gegensatz zu der Präsentation von Kontrollreizen (hier Häusern) zurückzuführen. Ein Unterschied zeigte sich allerdings in der Latenz der N170 zwischen den Gesichtern mit Augenpartien und denen ohne Augenpartien. Gesichter ohne Augen brachten eine N170 mit einer längeren Latenz hervor, was in Übereinstimmung mit Untersuchungen steht, in denen ebenfalls dieses evozierte Potenzial auf die Darbietung isolierter Augen untersucht wurde (z.B. Tanaka und Farah, 1993).

In einer weiteren Untersuchung von Eimer (2000) wurden in einem ersten Experiment Gesichter in verschiedenen Ansichten dargeboten: 1. frontal, 2. in einer Profilansicht, 3. schräg und 4. um 180 Grad abgewandt. Die Darbietung der Gesichter in verschiedenen Ansichten sollte die Frage beantworten, ob es sich bei der N170 eher um eine Komponente handelt, die durch das Wahrnehmen eines Kopfes hervorgerufen wird. Wäre dies der Fall, sollten sich keine Unterschiede in der N170 zwischen den verschiedenen Ansichten zeigen. In einem zweiten Experiment wurden aus den dargebotenen Gesichtern neben den Augen auch die Nase und der Mund entfernt. Die dadurch ausgelösten Potenziale wurden mit denen verglichen, die durch Gesichter hervorgerufen wurden, von denen die externalen Merkmale (z.B. Haare, Ohren) entfernt wurden. Als Kontrollstimuli wurden wieder Bilder von Händen und von Häusern dargeboten. Im ersten Experiment fand Eimer an den Elektroden T5 und T6 eine N170, die nicht bei Darbietung der Kontrollstimuli auftrat. Signifikante Unterschiede in der Amplitude der N170 zeigten sich zwischen der frontalen Ansicht und der schrägen sowie der abgewandten Ansicht, die frontale Ansicht rief in beiden Vergleichen die größere Amplitude hervor. Die Darbietung der Gesichter im Profil dagegen hatte keine Minderung der Amplitude zur Folge. Die Wahrnehmung eines Kopfes alleine erklärt das Auftreten der N170 daher nicht. Im zweiten Experiment fand Eimer signifikant größere Amplituden

Theoretischer Hintergrund

auf die vollständigen Gesichter im Vergleich zu den Gesichtern ohne externale oder internale Merkmale. Gesichter ohne externale Merkmale zeigten eine signifikant geringere Amplitude im Vergleich zu den Gesichtern ohne interne Merkmale, allerdings war dieser Effekt nur rechtshemisphärisch (T6) signifikant.

Um den Einfluss von Top-Down Prozessen auf die Wahrnehmung und Verarbeitung von Gesichtern zu untersuchen, verglichen Bentin und Deouell (2000) die N170 als Reaktion auf bekannte Gesichter mit der N170 die als Reaktion auf unbekannte Gesichter abzuleiten war. Das Erkennen einer Person als bekannt setzt das Erkennen der Identität voraus. Dazu präsentierten sie in einem ersten Experiment der Untersuchung den Versuchspersonen Photographien von ihnen unbekannt Personen und Photographien von bekannten Personen (Sportler, Schauspieler und aus dem Fernsehen bekannte Persönlichkeiten). Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, das Auftreten eines definierten Zielreizes (Schmetterling) zu zählen und die Gesichter zu ignorieren. Als Reaktion auf die Gesichtsreize konnten die Autoren die N170 messen, die nicht als Reaktion auf die Darbietung der Schmetterlinge auftrat. Die Lokalisation der N170 war posterior-temporal, an den Elektroden P7/P8 und PO7/PO8. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Amplitude und der Latenz der N170 zwischen bekannten und unbekannt Gesichtern. Die Amplitude der N170 war in beiden Bedingungen rechtshemisphärisch größer, allerdings war der Hemisphäreneffekt nicht signifikant. In einem zweiten Experiment wurden als Zielreiz, den die Versuchspersonen zählen sollten, Photographien von bekannten Politikern dargeboten. Der Bekanntheitsgrad der Gesichter (Identität) war nun im Gegensatz zum ersten Experiment aufgabenrelevant. Verglichen werden sollten im zweiten Experiment die N170 zwischen den bekannten und unbekannt Gesichtern, die keine Politiker darstellten. Die N170-Komponenten, die durch die Zielreize ausgelöst wurden, gingen nicht in die Berechnungen mit ein. Die Elektroden, an denen die N170 mit den größten Amplituden abgeleitet werden konnten, waren PO7 und PO8. In diesem Experiment konnte ein signifikanter Hemisphäreneffekt mit einer rechtshemisphärischen Dominanz gefunden werden. Wie im ersten Experiment auch, unterschieden sich die Amplituden und die Latenzen

Theoretischer Hintergrund

der N170 zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern nicht voneinander. Um den Einfluss des aufgabenrelevanten Kriteriums, die Identität der Gesichter, zu überprüfen, wurden die Ergebnisse des ersten Experimentes in einer mixed-model Anova mit den Ergebnissen des zweiten Experimentes verglichen. Das Experiment (1 vs. 2) ging dabei als Between-Faktor in die Berechnungen ein. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die N170 im ersten Experiment weder in der Amplitude noch in der Latenz von der N170 im zweiten Experiment unterschied, die Aufgabe hatte keinen Einfluss auf die Gesichtskomponente. Fasst man die Ergebnisse dieser Studie zusammen, ist zunächst zu bemerken, dass es den Autoren in Übereinstimmung mit den schon beschriebenen Untersuchungen gelungen ist, die N170-Komponente nur auf Gesichter zu registrieren. Betrachtet man die Lokalisation dieses Potenzials, so steht diese im Zusammenhang mit den für die Verarbeitung von Gesichtern wahrscheinlich verantwortlichen Hirnbereichen. Eine Modulation der N170-Komponente durch Top-Down Einflüsse, konnte nicht gefunden werden. Eine Lateralisation in der Wahrnehmung von Gesichtern zeigte sich im ersten Experiment nicht, obwohl sich rechtshemisphärisch eine ausgeprägtere (aber nichtsignifikant größere) N170-Komponente ableiten ließ. Im zweiten Experiment war ein signifikanter Hemisphärenereffekt im Sinne einer rechtshemisphärischen Dominanz vorhanden.

In einer Untersuchung von Campanella, Hanoteau, Depy, Rossion, Bruyer, Crommelinck und Guerit (2000) sollte ebenfalls der Einfluss des Bekanntheitsgrades von Gesichtern auf die N170 untersucht werden. Den Hintergrund ihrer Untersuchung bildete der kategoriale Wahrnehmungsprozess von Gesichtern (Harnad, 1987). Dieser Effekt besagt, dass die Unterscheidung von zwei gemorphten Gesichtern unterschiedlicher Identität leichter fällt, im Vergleich zur Unterscheidung von zwei gemorphten Gesichtern derselben Identität. Beim Prozess des Morphens werden die Gesichter entlang eines Kontinuums entsprechend vorher bestimmter Kriterien verändert, so kann beispielsweise das Kriterium der emotionale Ausdruck sein, der von positiv (Mundwinkelstellung nach oben) hin zu einem negativen Ausdruck (Mundwinkelstellung nach unten) „gemorph“ wird. Ebenso können die Identitäten der Gesichter das zu verändernde

Theoretischer Hintergrund

Kriterium sein. Die Abstände zwischen den einzelnen gemorphten Bildern werden ebenfalls vorher festgelegt und konstant gehalten.

Beale und Keil (1995) morphten Bilder von John F. Kennedy hin zur Identität von Bill Clinton. Ihre Versuchspersonen hatten die Bilder zu identifizieren und zu entscheiden, ob es sich um Kennedy oder Clinton handelte. Schwierigkeiten zeigten sich nur bei den Bildern, in denen die prozentuale Verteilung der Identitäten 60% Kennedy und 40% Clinton, 50% Kennedy und 50% Clinton, sowie 40% Kennedy und 60% Clinton war. In einem zweiten Teil der Untersuchung wurden die Versuchspersonen mit einem Face-Matching-Paradigma konfrontiert. Dabei hatten sie zu entscheiden, welchem von zwei paarweise dargebotenen, gemorphten Gesichtern ein drittes Bild entsprach. Die zwei gemorphten Gesichter konnten innerhalb einer Identität oder zwischen zwei verschiedenen Identitäten gemorpht sein. Dabei handelte es sich nicht um vorher schon bekannte Personen, die Bekanntheit der Identität wurde hier durch das Primen der Gesichter durch ein vorheriges Präsentieren der zwei Gesichter erreicht. Die Abstände zwischen den Bildern waren in beiden Bedingungen gleich. Die Versuchspersonen zeigten mehr Schwierigkeiten beim Zuordnen der gemorphten Abbildungen von Gesichtern unterschiedlicher Identitäten als beim Zuordnen gleicher Identitäten. Campanella et al. (2000) wollten mit ihrer Studie untersuchen, ob sich dieser Identitäts-Primingeffekt in der N170 widerspiegelt. Dazu wurden paarweise Gesichter aus drei verschiedenen kategorialen Zugehörigkeiten realisiert: 1. Gesichter mit identischer Identität, 2. gemorphte Gesichter mit identischer Identität, 3. Gesichter mit unterschiedlicher Identität. Die prozentuale Verteilung der Gesichter war: 90% / 10%, 70% / 30%, 50% / 50%, 30% / 70% und 10% / 90%. ERPs wurden jeweils auf das erste und auf das zweite Gesicht der paarweise, nacheinander dargebotenen Stimuli aufgezeichnet. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, zu entscheiden, ob das zweite dargebotene Gesicht der Identität des ersten Gesichtes entsprach oder nicht und diese Entscheidung durch das Drücken einer bestimmten Taste mitzuteilen. Die Ergebnisse der Analyse der evozierten Potenziale auf das erste Gesicht eines Paares zeigten eine N170 wie in den zuvor beschriebenen Studien auch, die sich bilateral an den Elektroden T5 und T6 ableiten

Theoretischer Hintergrund

ließ. Unterschiede in der Amplitude oder in der Latenz der N170 zwischen den verschiedenen Gesichtern zeigten sich nicht. Eine Modulation der N170-Komponente konnte jedoch bei der Analyse der Reaktion auf das jeweils zweite dargebotene Gesicht eines Reizpaares registriert werden. Es konnte eine verminderte Amplitude gemessen werden, wenn das zweite Gesicht der Identität des ersten zu 100% entsprach, ebenso wenn es sich um die gleiche Identität, aber eine gemorphte handelte, verglichen mit der N170-Amplitude auf das zweite Gesicht einer anderen Identität. Dieser Effekt einer verminderten Amplitude, der den Einfluss eines Top-Down Prozesses reflektiert, wurde nur rechtshemisphärisch festgestellt. Eine verminderte Amplitude auf wiederholt dargebotene Gesichter im evozierten Potential konnte schon in anderen Untersuchungen gefunden werden (Begleiter, Porjesz & Wang, 1995; Ji, Porjesz, & Begleiter, 1998). Insbesondere die rechtshemisphärische Dominanz bezüglich der Amplitudenminderung konnte ebenfalls schon gezeigt werden (z.B. Badgaiyan & Posner, 1996). Der bei gemorphten und nichtgemorphten Gesichtern der gleichen Identität gefundene Habituationseffekt deutet auf einen Erkennensprozess schon auf frühester Wahrnehmungsstufe hin, da er sich nicht bei Gesichtern abweichender Identität vom ersten Reiz hin einstellt.

Einen weiteren Top-Down Einfluss untersuchten Bentin und Golland (2002). Der Hintergrund der Studie war eine Untersuchung von Bentin, Sagiv, Mecklinger, Friederici und van Cramon (2002), in der gezeigt wurde, dass zwei schmale Striche, die direkt nach der Präsentation schematischer Gesichter dargeboten und dadurch in einen Gesichtskontext gebracht wurden, eine N170 hervorrufen konnten. Wurden dieselben Linien vor den schematischen Gesichtern präsentiert, konnte keine N170 abgeleitet werden. Dieser Effekt wurde jetzt von Bentin und Golland mit schematischen Gesichtern untersucht, in denen die einzelnen Komponenten so vertauscht wurden, dass sie als Gesicht nicht mehr zu erkennen waren. In einem ersten Versuchsdurchgang wurden den Versuchspersonen verschiedene Reize auf dem Monitor dargeboten. Die Zielreize, auf die es zu reagieren galt, waren Bilder von Blumen. Als Distraktoren wurden die veränderten schematischen Gesichter dargeboten. Im zweiten Block waren die Distraktoren intakte schematische Gesichter. Block drei enthielt schließlich wieder dieselben verän-

Theoretischer Hintergrund

dernten schematischen Gesichter wie Block eins als Distraktoren. Im ersten Block, in denen die veränderten schematischen Gesichter noch nicht in einen Gesichtskontext eingefügt waren, konnte keine N170 abgeleitet werden. Dagegen zeigten sich auf die Darbietung dieser Reize in Block drei eine N170, die mit der größten Amplitude an den Mastoiden abgeleitet werden konnte. Das Priming der schematischen Komponenten in Block zwei als Gesichter führte in Block drei zu einer Wahrnehmung dieser Komponenten als ein Gesichtsreiz. Des Weiteren konnte ein signifikanter Hemisphäreneffekt mit einer größeren Amplitude der N170 über der rechten Hemisphäre gefunden werden.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Erforschung der Spezifität der Gesichterverarbeitung eine Rolle spielt, ist der Einfluss der selektiven Aufmerksamkeit. In einigen fMRI- Studien konnte eine Erhöhung der Aktivität im Gyrus fusiformis registriert werden, wenn eine aufmerksamkeitsfördernde Aufgabenstellung an die Versuchspersonen erfolgte (z.B. Wojciulik, Kanwisher und Driver, 1998; O'Craven, Downing und Kanwisher, 1999; Shouten, Furey und Haxby, 1999). So fanden beispielsweise Haxby, Horwitz und Ungerleider (1994) eine erhöhte Aktivierung im Gyrus fusiformis in einem Face-Matching-Paradigma.

In einer ERP-Studie von Cauquil, Edmond und Taylor (2000) sollte der Einfluss eben dieses Aspektes auf gesichtsspezifische evozierte Potenziale durch Variation der Aufgabenstellung untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden den Versuchspersonen visuelle Stimuli verschiedener Kategorien gezeigt: 1. Gesichter mit frontaler Blickrichtung, 2. Gesichter mit geschlossenen Augen, 3. verzerrte Gesichter, 4. nur Augen, 5. nur Lippen und 6. Bilder von Blumen. Die Zielreize, auf die die selektive Aufmerksamkeit gelenkt wurde und deren Entdecken per Knopfdruck bestätigt werden sollte, waren entweder nur Augen oder Gesichter, deren Augen geschlossen waren. Die Auswertung der evozierten Potenziale zeigte eine nur durch Gesichtsreize hervorgerufene N170 an den posterioren Elektroden P7/P8 und P9/P10. Die Latenzen der N170 in der Augenbedingung waren ebenfalls signifikant länger, verglichen mit den anderen Gesichtsreizen. Auf die Darbietung der Augen alleine wurde die N170 mit der größten Amplitude gemessen. Diese Effekte zeigten sich unabhängig davon, welcher Reiz durch

Theoretischer Hintergrund

gemessen. Diese Effekte zeigten sich unabhängig davon, welcher Reiz durch die Aufgabenstellung im Fokus der Aufmerksamkeit stand, d.h. die selektive Aufmerksamkeit beeinflusste in dieser Studie die Gesichterwahrnehmung nicht auf dieser frühen Stufe des Prozesses.

Eimer (2000) präsentierte Bilder von Gesichtern und Bilder von Stühlen im Zentrum der visuellen Aufmerksamkeit (zentrale Bedingung) und peripher. In der peripheren Bedingung wichen die Stimuli 3.5 Grad horizontal vom Zentrum der visuellen Aufmerksamkeit ab. Die Zielreize die zu entdecken waren, variierten in verschiedenen Versuchsbedingungen zwischen den Gesichtern und den Stühlen. In der ersten Versuchsbedingung sollten die Versuchspersonen auf die jeweils relevanten Zielreize reagieren, wenn diese bereits in einem vorherigen Durchgang dargeboten worden sind. In einer zweiten Bedingung sollte das Entdecken eines vorher definierten Reizes angezeigt werden. Diese Zielreize waren Stühle, männliche Gesichter oder weibliche Gesichter. Die dritte Versuchsbedingung entsprach der ersten, diesmal wurden die Reize aber peripher präsentiert. Die Auswertung der evozierten Potenziale zeigte eine N170 auf Gesichter an den Elektroden T5 und T6. Diese Komponente konnte ebenfalls in der peripheren Bedingung, allerdings mit einer verminderten Amplitude gefunden werden. Keine Unterschiede konnten zwischen den Gesichtern, die als Zielreize definiert waren und den Gesichtern, die nicht beachtet werden sollten, in der Amplitude und der Latenz der N170 gefunden werden. Eine Modulation der N170 durch selektive Aufmerksamkeitsprozesse konnte nicht gezeigt werden.

Die bislang geschilderten Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass es sich bei der N170-Komponente um ein evoziertes Potenzial handelt, dessen Auftreten durch die Wahrnehmung eines Reizes als Gesicht hervorgerufen wird. Die Lokalisation dieser Komponente lässt sich mit den Hirnbereichen in Verbindung bringen, die mit Hilfe bildgebender Verfahren als an der Verarbeitung von Gesichtern beteiligte Strukturen identifiziert wurden. Weitere Verarbeitungsprozesse wie die Erkennung einer Identität, die Entscheidung, ob es sich um ein bekanntes oder unbekanntes Gesicht handelt sowie

Theoretischer Hintergrund

das Erkennen eines bestimmten emotionalen Gesichtsausdruckes laufen nach den im Abschnitt 1.1 dargestellten kognitiven Modellen von Bruce und Young (1986) und Breen et al. (2000) in späteren Schritten ab. Dennoch konnten in einigen Studien Einflüsse solcher Prozesse auf die als gesichtsspezifisch anzusehende N170 gezeigt werden. Der Einfluss des emotionalen Gesichtsausdruckes auf die frühe Gesichtsverarbeitung ist ebenfalls Gegenstand der Forschung mit evozierten Potenzialen. Die Modulation der N170 durch eine Variation der Gesichtsausdrücke wurde bisher eher selten untersucht und die Frage, ob sich unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke in Unterschieden in dieser frühen Komponente widerspiegeln, ist noch nicht beantwortet.

Boucsein, Schaefer, Sokolov, Schröder und Furedy (2001) registrierten die neuronale Aktivität bei der Betrachtung schematischer Gesichter, die unterschiedliche emotionale Ausdrücke darstellten. Dabei wurden Gesichter mit positiven, negativen und neutralen Ausdrücken verwendet. Die dargebotenen Gesichter wechselten nacheinander auf dem Monitor von positiv zu negativ, negativ zu positiv, positiv zu neutral, neutral zu positiv, neutral zu negativ und von negativ zu neutral. Die Variation der emotionalen Gesichtsausdrücke wurde durch eine Änderung der Mundwinkelstellung und der Orientierung der Augenbrauen realisiert. Zwischen den Darbietungen der einzelnen Gesichter wurden keine reizfreien Intervalle eingelegt, so dass die Versuchspersonen ein Gesicht mit unterschiedlichen Ausdrücken wahrnahmen. Als Kontrollstimuli wurden einmal die schematischen Gesichter in ihrer Anordnung so verändert, dass sie als Gesichter nicht mehr erkennbar waren („scrambled-Faces“) und es wurden aus den Elementen der Gesichter Bilder von Uhren mit wechselnden Uhrzeiten hergestellt. Die Auswertung der ERPs zeigte als Reaktion auf die schematischen Gesichter wie auch als Reaktion auf die Uhren eine gesichtsspezifische Negativierung mit einer durchschnittlichen Latenz von 180 ms nach Beginn der Reizdarbietung. Boucsein et al. nannten diese Komponente daher N180. Die Aktivität war an den Elektroden T5 und T6 am deutlichsten ausgeprägt. Die Tatsache, dass die Darbietung der Uhren ebenfalls eine Aktivität wie die Darbietung der schematischen Gesichter ausgelöst hat, lässt sich in Anlehnung an die schon beschriebene Studie von Bentin und Golland (2002) erklären, die zeigen konnten,

Theoretischer Hintergrund

dass die Präsentation von graphischen Elementen in einem Gesichtskontext eine N170 auslösen konnte. Unterschiede in der Amplitude der gesichtsspezifischen Aktivität wurden von Boucsein et al. (2001) zwischen einem Wechsel des Gesichtsausdrucks von neutral zu einem emotionshaltigen Gesicht und umgekehrt gefunden. Der Wechsel von neutral zu emotional löste eine höhere Negativierung in der N180 aus als von emotional zu neutral. Daher wurde eine Modulation der Gesichtswahrnehmung durch den dargestellten emotionalen Gehalt angenommen.

Eimer und Holmes (2002) präsentierten ihren Versuchspersonen Bilder von ängstlichen Gesichtern, Gesichtern mit neutralem Ausdruck und Bilder von Häusern. Alle Stimuli wurden in aufrechter Orientierung sowie invertiert dargeboten. Als Reaktion auf die Gesichter konnte an den Elektroden T5 und T6 eine N170 abgeleitet werden, die bei invertierter Darbietung eine längere Latenz zeigte. Keine Unterschiede zeigten sich bei dem Vergleich der N170 zwischen den Gesichtern mit einem ängstlichen und einem neutralen Ausdruck. Campanella, Quinet, Bruyer, Crommelinck und Guerit (2002) verwendeten gemorphte Gesichter, die entlang eines Kontinuums von der Emotion Freude bis zur Emotion Furcht verändert wurden. Die Gesichter wurden paarweise dargeboten, das zweite Gesicht konnte entweder als gemorpht, aber der gleichen Emotionskategorie (z.B. Freude) zugehörend erkannt werden, es konnte einer anderen Emotionskategorie zugeordnet werden, oder beide Bilder waren identisch. An den Elektroden T5 und T6 konnte eine N170 mit einem Maximum nach 150 ms auf das erste wie auch auf das zweite Gesicht registriert werden. Als Reaktion auf das zweite Gesicht zeigten sich Unterschiede in der N170 zwischen den verschiedenen Bedingungen. In den Fällen, in denen das zweite Gesicht einen identischen emotionalen Ausdruck darstellte oder innerhalb einer Emotionskategorie gemorpht war, war die Amplitude der N170 sowohl linkshemisphärisch wie auch rechtshemisphärisch vermindert, verglichen mit der N170, die als Reaktion auf das zweite Gesicht mit einer anderen dargestellten Emotion abzuleiten war. Es zeigte sich in dieser Studie wie in der Studie von Boucsein et al. (2001) auch, eine Modulation der N170 durch unterschiedliche Gesichtsausdrücke.

Theoretischer Hintergrund

Ein Problem bei der Analyse und Interpretation von möglichen Einflüssen unterschiedlicher emotionaler Gesichtsausdrücke auf evozierte Potenziale im allgemeinen und auf frühe Potenziale im besonderen stellt die Tatsache dar, dass es bei einer Veränderung des Ausdruckes ebenfalls zu einer Veränderung der inneren Komponenten des Gesichts kommt. Ein fröhlicher Gesichtsausdruck ist z.B. mit einer Orientierung der Mundwinkel nach oben verbunden, ein trauriger oder ärgerlicher Gesichtsausdruck mit einer nach unten gerichteten Mundwinkelstellung. Werden beide Bilder betrachtet und Unterschiede z.B. in einer frühen Komponente gefunden, lassen sich diese nicht unbedingt darauf zurückführen, dass der Betrachter zwei verschiedene emotionale Bedeutungen verarbeitet hat. Ein Vergleich dieser beiden Bilder im Sinne einer Entscheidungsaufgabe kann ebenfalls erfolgreich durchgeführt werden, da nur die Stellungen der Mundwinkel verglichen werden müssen. Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit, ein Paradigma zu konstruieren und zu verwenden, in dem sichergestellt ist, dass die Gesichter und deren Ausdrücke in ihrer semantischen Bedeutung verarbeitet worden sind, d.h. die emotionale Bedeutung muss klar verarbeitet werden. Das Ziel der hier vorgestellten Arbeit war es, die Modulation der N170 durch unterschiedliche Gesichtsausdrücke zu untersuchen und gleichzeitig die semantische Verarbeitung der emotionalen Bedeutung der Gesichter zu gewährleisten. Einen erfolgversprechenden Ansatz stellt dabei die Verwendung des sogenannten N400-Effekts dar. Dieser Effekt und seine Relevanz für das geschilderte Ziel der Arbeit wird daher im folgenden Abschnitt beschrieben.

1.3.2 Der N400-Effekt

Der N400-Effekt bzw. die N400-Komponente beschreibt ein Potenzial, das durch die Subtraktion zweier verschiedener Bedingungen gewonnen wird. Für die N400 wird das evozierte Potenzial, das sich in einer Matchbedingung messen lässt, von dem Potenzial subtrahiert, das sich in der entsprechenden Mismatchbedingung messen lässt. Das so gewonnene Potenzial gibt somit ein Differenzpotenzial wieder.

Erstmalig beschrieben wurde der N400-Effekt von Kutas und Hillyard (1980). In ihrer ursprünglichen Untersuchung im Rahmen der Sprachforschung präsentierten sie Versuchspersonen Sätze auf einem Bildschirm, die aus jeweils sechs Wörtern bestanden. Jedes Wort wurde separat dargeboten. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, die Sätze still zu lesen, um spätere Fragen zu deren Inhalt zu beantworten. Ein Viertel der Sätze endete mit einem semantisch abweichenden Wort. Beispielsweise endete der Satz „Er bestrich sein Brot mit...“ mit dem Wort „Socken“. Der Grad der semantischen Abweichung wurde in zwei Experimenten der Untersuchung variiert, es wurden semantisch moderat abweichende und semantisch stark abweichende Wörter am Satzende präsentiert. Auf die Präsentation der semantisch abweichenden Wörter ließ sich ein negatives evoziertes Potenzial ableiten, das ca. 250 ms nach Darbietung des Wortes begann und seinen maximalen Peak nach ca. 400 ms zeigte. Die Amplitude dieser als N400 bezeichneten Komponente zeigte eine Abhängigkeit von dem Grad der semantischen Abweichung, je stärker die semantische Abweichung war, umso stärker ausgeprägt war die Amplitude der N400. Abgeleitet wurde die Aktivität an den über der Mittellinie des Schädels gelegenen Elektroden Fz, Cz und Pz. Die am stärksten ausgeprägte N400 zeigte sich an der Elektrode Cz. In einem weiteren Experiment von Kutas und Hillyard (1984) wurde die N400 in Abhängigkeit von der Erwartung eines semantischen Endes eines Satzes untersucht. Der Grad der Erwartung wurde durch ein vorheriges Verfahren bestimmt, in dem einer großen Anzahl von Personen Sätze präsentiert wurden, deren Ende offen blieb und durch die Versuchspersonen mit einem sinnvollen Wort vervollständigt werden sollten. Die Sätze wurden so gewählt, dass die Anzahl der

Theoretischer Hintergrund

möglichen sinnvollen Satzendungen unterschiedlich war und somit die Erwartung eines bestimmten Satzendes variiert werden konnte. Ein Beispiel für einen Satz, dessen Anzahl sinnvoller Endungen gering war und mit einem häufig genannten Wort vervollständigt wurde, ist der hier wörtlich ins Deutsche übersetzte Satz: „Er verschickte den Brief ohne ... Briefmarke“. Ein Beispiel für einen Satz, dessen Anzahl sinnvoller Endigungen groß war und ein am Satzende selten genanntes Wort ist der hier ebenfalls wörtlich ins Deutsche übersetzte Satz: „Er wurde beruhigt von dem freundlichen ... Wind“. Die Wörter, die in ihrer Anzahl häufig am Satzende genannt wurden gingen als Wörter mit hoher Erwartung in die eigentliche Untersuchung ein, die selten genannten Wörter gingen als die Wörter mit niedriger Erwartung in die Untersuchung ein. Evozierte Potenziale wurden an den Elektroden Fz, Cz, Pz und Oz abgeleitet, zusätzlich wurde die neuronale Aktivität in Bereichen gemessen, die mit links beziehungsweise rechts anterior temporal und posterior temporal angegeben wurden. Die Autoren konnten eine N400 ableiten, die die stärkste Ausprägung auf die Wörter zeigte, deren Auftreten am Satzende am wenigsten erwartet wurde. Die unterschiedliche Anzahl an möglichen Satzendungen zwischen den Sätzen hatte dagegen keinen signifikant unterschiedlichen Einfluss auf die N400. Die Autoren zogen aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass es sich bei der in der N400 widerspiegelnden Aktivität um einen Indikator für eine semantische Abweichung eines Wortes vom vorherigen Kontext handelt und umgekehrt proportional zu dem Ausmaß des semantischen Primings ist.

Der N400-Effekt wurde ausgehend von den beschriebenen ursprünglichen Arbeiten von Kutas und Hillyard unter verschiedenen Gesichtspunkten in der Sprachforschung und auch außerhalb dieser Forschungsrichtung untersucht, allerdings wurden in der Sprachforschung die Grundlagen für die späteren Arbeiten geliefert. In den verschiedenen Arbeiten und Fragestellungen spielen Aspekte wie die auslösenden Faktoren, die Lokalisation und der Zeitverlauf dieser Komponente eine große Rolle, zusätzlich bietet sie die Möglichkeit, Personen mit Hirnschäden zu untersuchen und spezifische Defizite bei kognitiven Prozessen zu entdecken.

Theoretischer Hintergrund

Im Rahmen der Sprachforschung wurden verschiedene Arten von Paradigmen verwendet, um Sprachprozesse zu analysieren. Das von Kutas und Hillyard in ihrer ursprünglichen Arbeit verwendete Paradigma sowie das in der Untersuchung zu dem Erwartungseffekt verwendete Paradigma zählen zu den sogenannten Satzlese-Paradigmen. Ebenfalls ein Satzlese-Paradigma wurde von Neville, Kutas, Chesney und Schmidt (1986) verwendet. Sie präsentierten den Versuchspersonen Sätze, bestehend aus jeweils vier separat dargebotenen Wörtern auf dem Bildschirm. Nach dem vierten Wort wurde ein Wort präsentiert, das entweder sinnvoll in den Kontext des Satzes passte (Match-Bedingung), oder nicht (Mismatch-Bedingung). Die Versuchspersonen mussten angeben, ob das letzte dargebotene Wort in den Kontext passte. An insgesamt 16 Elektroden wurden evozierte Potenziale als Reaktion auf jedes Wort des Satzes analysiert. Dabei zeigte sich, dass die ersten vier Wörter in ihrer evozierten Antwort keine Unterschiede aufwiesen. Die Wörter, die den Satz sinnvoll beendeten, unterschieden sich ebenfalls nicht von den ersten vier Wörtern in ihrer evozierten Antwort. Eine signifikant größere Negativierung zeigte sich nach Darbietung der Wörter die den Satz nicht sinnvoll beendeten, mit einem maximalen Peak nach ca. 396 ms (N400). Diese N400 war rechts parietal am deutlichsten ausgeprägt.

Kutas, Neville und Holcomb (1987) untersuchten den durch sinnlose Satzendungen hervorgerufenen N400-Effekt in drei verschiedenen Darbietungsmodalitäten der Sätze. Einer Gruppe von Versuchspersonen wurden die Sätze, wie in den vorherigen beschriebenen Untersuchungen auch, Wort für Wort auf einem Bildschirm präsentiert. Eine zweite Gruppe bekam die Sätze über einen Kopfhörer vorgesprochen. Eine dritte Gruppe setzte sich aus Personen zusammen, die seit ihrer Geburt taub waren und deren erst-gelernte Sprache American Sign Language (ASL) war. Diese Gruppe bekam die Sätze in dieser Sprache präsentiert. Evozierte Potenziale wurden an insgesamt 16 Elektroden abgeleitet. Die Hälfte der dargebotenen Sätze endete semantisch sinnvoll oder semantisch unsinnig. Die Versuchspersonen sollten nach jedem Satz angeben, ob der Satz sinnvoll beendet worden war. In allen drei Gruppen zeigte sich eine N400 auf die Sätze, die mit einem semantisch sinnlosen Wort endeten. Dieser Effekt war am

Theoretischer Hintergrund

deutlichsten ausgeprägt an centro-parietalen Elektroden, eine Lateralisation wurde nicht berichtet. Die Latenz der N400 war in der auditiven Darbietung signifikant kürzer verglichen mit den zwei anderen Modalitäten, die sich nicht voneinander unterschieden. Kutas et al. (1987) zogen aus den Ergebnissen die Schlussfolgerung, dass die N400 durch semantische Abweichungen ausgelöst werden kann, unabhängig von der Modalität, in der die Sätze dargeboten werden.

Neben Satzlese-Paradigmen werden Paradigmen verwendet, in denen Wortpaare oder Wortlisten als Stimuli dienen. In diesen sogenannten lexikalischen Entscheidungsaufgaben werden Versuchspersonen Abfolgen von Buchstaben präsentiert und deren Aufgabe besteht darin, so schnell wie möglich anzugeben, ob es sich dabei um ein Wort handelt, oder nicht. Foss (1982) konnte anhand von Reaktionszeiten zeigen, dass die Reaktion auf ein Wort, dem ein semantisch ähnliches Wort voranging und somit ein Priming bedingte, signifikant schneller war, verglichen mit semantisch nichtverwandten Wörtern. Bentin, McCarthy und Wood (1985) untersuchten den Effekt des semantischen Primings in einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe. Sie präsentierten ihren Versuchspersonen nacheinander 240 Wörter und die gleiche Anzahl an Nichtwörtern. Die Versuchspersonen sollten bei Erkennen von Wörtern eine „Ja-Taste“ drücken, bei Nichtwörtern eine „Nein-Taste“. Die Wörter wurden aufgeteilt in je 80 Primewörter und 80 Zielwörter, die semantisch ähnlich waren, z.B. Regen-Schnee. Dazu wurden 80 semantisch unähnliche Wörter als Füllwörter verwendet. Die Ableitung der evozierten Potenziale wurde an den Elektroden Fz, Cz und Pz, sowie an zwei frontalen, zwei temporalen, zwei centralen, zwei parietalen und zwei occipitalen Elektroden durchgeführt. Wörter, die semantisch nicht geprimed waren, lösten eine N400 an centralen Lokalisationen aus. Die Zielwörter, denen ein semantisch ähnliches Wort vorausging, führten nicht zu einer Auslösung der N400. Ähnliche Ergebnisse wurden von Rugg (1985) ebenfalls in einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe berichtet, in der die Versuchspersonen das Erkennen von Wörtern im Gegensatz zu Nichtwörtern per Tastendruck bestätigen sollten. Zusätzlich wurden mehrere Wörter wiederholt dargeboten, um den Effekt des semantischen Primings durch Wortwiederholungen zu untersu-

Theoretischer Hintergrund

chen. Den Versuchspersonen wurde mitgeteilt, dass sie einige dargebotene Wörter zuvor schon einmal gesehen haben können, dieses sei für ihre Aufgabe aber irrelevant. Wörter, die nicht geprimed wurden, zeigten eine signifikant geringere Positivierung verglichen mit den geprimten Wörtern. Dieser Effekt war an den Elektroden Cz und Pz am stärksten ausgeprägt.

Neben semantischen Aspekten der Sprachverarbeitung wurden lexikalische Entscheidungsaufgaben und Satzlese-Paradigmen verwendet, um zu untersuchen, ob sich der N400-Effekt auch durch syntaktische Abweichungen auslösen lässt. Münte, Heinze und Mangun (1993) verglichen die N400 in einer Entscheidungsaufgabe, die durch semantische Abweichungen hervorgerufen wurde, mit der N400, die durch syntaktische Abweichungen hervorgerufen wurde. Dazu präsentierten sie deutsche Wortpaare, die sich aus einem Artikel oder Pronomen an erster Stelle und einem Verb oder Nomen an zweiter Stelle zusammensetzten. Syntaktisch korrekt war z.B.: Das-Haus, syntaktisch inkorrekt war: Der-Haus. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, nach jedem dargebotenen Wortpaar anzugeben, ob es syntaktisch korrekt war oder nicht. Als evozierte Reaktion auf das zweite Wort eines syntaktisch inkorrekten Paares zeigte sich eine N400, die sich linkshemisphärisch, frontopolar zeigte und ca. 50 ms später ihr Maximum zeigte als die N400 in der semantischen Bedingung. Die in der semantischen Bedingung hervorgerufene N400 zeigte neben einer kürzeren Latenz auch eine andere Topographie mit einem centro-parietalen Maximum. Bei einem Vergleich der N400, hervorgerufen durch eine semantische Abweichung, mit der N400, die durch eine syntaktische Abweichung in einem Satzlese-Paradigma hervorgerufen wurde, konnten Münte und Heinze (1994) keine Unterschiede zwischen den Bedingungen feststellen. Sie präsentierten den Versuchspersonen Sätze auf einem Monitor, die entweder semantisch oder syntaktisch inkorrekt beendet wurden. Die Versuchspersonen hatten zu entscheiden, ob der Satz korrekt war. Eine Unterscheidung der zwei möglichen inkorrekten Endungen wurde nicht verlangt. Ein Beispiel für einen syntaktisch inkorrekt endenden Satz war der deutsche Satz: „Der Zollbeamte kontrolliert den Koffers“.

Theoretischer Hintergrund

Semantisches Priming und der damit verbundene N400-Effekt, wurden ausgehend von den Ergebnissen, die mit verbalem Stimulusmaterial gewonnen wurden, auch mit nonverbalen Stimuli untersucht. Dabei werden als nonverbale Stimuli Bilder von Objekten, Tieren und Gesichtern verwendet. Speziell die Verwendung von Gesichtern als Stimuli und das Primen von bestimmten Aspekten eines Gesichtes ist für die hier vorgestellte Arbeit von Bedeutung. In den Modellen zur Gesichterverarbeitung von Bruce und Young (1986) und Breen et al. (2000) wird die Ansicht vertreten, dass unterschiedliche Aspekte der Gesichterverarbeitung, wie der emotionale Ausdruck oder die Identität, in getrennten Modulen ablaufen. Diesen Annahmen folgend sollten sich die verschiedenen Aspekte separat und unabhängig voneinander semantisch primen und somit deren Verarbeitung sicherstellen lassen. Für die weiter unten beschriebenen und in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Experimente bedeutet dies das explizite Primen der Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke sowie nicht-emotionaler Stimulusinformationen, die in dem selben Stimulus dargeboten werden. Zunächst werden im Folgenden Untersuchungen und Befunde mit nonverbalen Stimuli, auch Gesichtern, vorgestellt, daran anschließend werden Untersuchungen, die das Primen speziell von emotionalen Gesichtsausdrücken verwendeten, vorgestellt.

Den Hintergrund für die Untersuchung des semantischen Primings für nonverbale Stimuli bilden zwei gegensätzliche theoretische Annahmen bezüglich der internen Repräsentation von semantischen Stimulusinformationen. Paivo (1971) postulierte die Existenz zweier unterschiedlicher, voneinander unabhängiger Systeme (Dual-coding-theory). Ein System sollte seiner Meinung nach eher für die Verarbeitung nonverbaler Informationen, ein zweites System eher für die Verarbeitung verbaler Informationen zuständig sein. Beide Systeme seien aber in enger Verbindung miteinander. Demgegenüber steht die Annahme eines gemeinsamen semantischen Speichers, unabhängig von der Stimulusmodalität, in der eine Information übermittelt wird (z.B. Anderson und Bower, 1973). Vanderwart (1984) untersuchte semantisches Priming in einem Reaktionszeitexperiment in einem sogenannten „Cross-Modality-Paradigma“.

Theoretischer Hintergrund

Dazu verwendete er als Prime-Stimuli entweder Wörter oder Bilder, als Probe-Stimuli wurden Wörter oder Nichtwörter dargeboten. Den Versuchspersonen wurde gesagt, dass es sich bei den Probe-Stimuli um Wörter oder Nichtwörter handelte. In den Fällen, in denen ein Wort erschien, könne es sich um eine Wiederholung des Primes, um ein der Bedeutung ähnliches oder um ein der Bedeutung unähnliches Wort handeln. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, so schnell wie möglich per Tastendruck anzugeben, ob der Probe-Stimulus ein Wort oder ein Nichtwort war. Der Annahme einer gemeinsamen semantischen Repräsentation folgend, sollten sich keine Unterschiede in den Reaktionszeiten zwischen Wortpriming und Bildpriming zeigen. Der Theorie von Paivo folgend, sollten sich dagegen Unterschiede in den Reaktionen zeigen, da er davon ausgeht, dass es bei Darbietung eines nonverbalen Stimulus zuerst zu einer Überführung der Information in den verbalen Speicher kommt, was sich in einer längeren Reaktionszeit zeigen würde. Die Ergebnisse zeigten einen Priming-Effekt im Sinne einer kürzeren Latenz auf semantisch assoziierte Stimuli, unabhängig von der Modalität des Prime-Stimulus. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Reaktionszeiten gefunden. Nach Meinung von Vanderwart spricht dieses Ergebnis nicht für modalitätsspezifische semantische Repräsentationen.

Bajo und Canas (1989) konnten ebenfalls in einem Reaktionszeitexperiment semantisches Priming für verbale Stimuli, nonverbale Stimuli sowie für modalitätsübergreifende Stimuli (Cross-Modality) zeigen. In einer Cross-Modality-Bedingung werden entweder als Prime Wörter und als Probe Bilder oder als Prime Bilder und als Probe Wörter verwendet. Insbesondere das semantische Priming in einer Cross-Modality-Bedingung spricht nach Ansicht von Bajo und Canas in Übereinstimmung mit Vanderwart für die Existenz eines gemeinsamen semantischen Speichers für verbale und nonverbale Informationen. In ihrem Reaktionszeitexperiment verglichen sie den Primingeffekt in vier Bedingungen: 1. Wort-Wort, 2. Wort-Bild, 3. Bild-Bild, 4. Bild-Wort. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, so schnell wie möglich das paarweise an zweiter Position dargebotene Wort laut zu lesen, oder im Falle eines Bildes, dies laut zu benennen. Die

Theoretischer Hintergrund

Auswertung der Reaktionszeiten zeigte generell kürzere Reaktionszeiten beim Lesen der Wörter als beim Benennen der Bilder.

Semantisches Priming zeigte sich in signifikant kürzeren Reaktionszeiten auf die Stimuli, denen ein semantisch ähnlicher Stimulus vorausging. Dieser Effekt wurde für alle vier Bedingungen gefunden, d.h. er zeigte sich unabhängig von der Modalität. Ein Interaktionseffekt konnte dahingehend gefunden werden, dass sich die Verkürzung der Reaktionen bei der Bilderbenennung deutlicher zeigte als in der Wort-Lese Bedingung. Nach Meinung der Autoren deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass der Effekt des Primings nicht davon abhängt, in welcher Modalität eine semantische Information dargeboten wird, dass aber die Aufgabenstellung zur Verarbeitung bestimmter Stimulusinformationen entscheidend sei.

Barrett und Rugg (1990) verwendeten in einer ERP-Studie paarweise Bilder von Objekten, die nicht identisch, in der Match Bedingung aber semantisch assoziiert waren, z. B. ein Bild eines Schraubenschlüssels und das einer Schraube. Die Versuchspersonen sollten eine semantische Übereinstimmung der dargebotenen Objekte per Tastendruck anzeigen. Auf die Darbietung eines Objektes in einem Paar, das semantisch keine Übereinstimmung zum ersten Objekt enthielt, fanden die Autoren ein negatives Differenzpotenzial mit einem Maximum nach ca. 300 ms, daher wurde dieser Effekt von den Autoren als N300 bezeichnet. Am deutlichsten ausgeprägt war diese N300 rechtshemisphärisch an frontalen Elektroden. Eine zweite Negativierung nach Darbietung semantisch nicht assoziierter Objekte zeigte sich nach ca. 450 ms an parietalen Elektroden, hier war der Effekt nicht lateralisiert. Diese Ergebnisse führten zu der Fragestellung, ob sich der N400-Effekt modalitätsabhängig bei Verwendung von Bildern, die von einem semantischen Kontext abweichen, generell mit einer kürzeren Latenz und einer anderen Topographie zeigt, als der „klassische“ N400-Effekt bei Verwendung von Wörtern und daher eine als bildspezifisch zu bezeichnende N300 Komponente darstellt, da nach Ansicht von Barrett und Rugg diese frühe Negativierung in keiner Untersuchung mit verbalen Stimuli berichtet wurde. Dies würde bedeuten, dass verbale und nonverbale

Theoretischer Hintergrund

Stimulusinformationen aus einem gemeinsamen semantischen Speicher abgerufen werden können. Die Ergebnisse von Barrett und Rugg, die eine zweite Negativierung in einem späteren Zeitfenster und an anderer Lokalisation gefunden haben, lassen aber auch die Möglichkeit zu, dass es sich nicht um ein und dieselbe Komponente mit unterschiedlicher Latenz und unterschiedlicher Topographie handelt, sondern um zwei verschiedene und von einander abgrenzbare Potenziale. Dies würde nach Meinung der Autoren gegen eine gemeinsame semantische Repräsentation verbaler und nonverbaler Stimuli sprechen.

Nigam, Hoffman und Simons (1992) verglichen den N400-Effekt in einem Satzleseparadigma, in dem ein Teil der Sätze mit einem nicht in den Kontext passenden Wort und ein anderer Teil der Sätze mit einem nicht in den Kontext passenden Bild endete. Durch diesen direkten Vergleich wollten die Autoren die schon angesprochene Fragestellung untersuchen, ob sich der N400-Effekt bei auch inkongruenten Bildern zeigt, was ihrer Meinung nach eine generelle Verarbeitung der Bedeutung eines Stimulus unabhängig von der Modalität widerspiegelt und ob dieser Effekt sich mit unterschiedlicher Latenz und/oder mit einer anderen Topographie zeigt als bei Verwendung von inkongruenten Wörtern. Die Auswertung der N400 erbrachte keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Bedingungen. Unabhängig davon, ob der Satz durch ein inkongruentes Wort oder ein inkongruentes Bild beendet wurde, zeigte sich eine N400-Komponente als Reaktion auf eine semantische Abweichung. Weder die Latenz noch die Topographie der N400 unterschied sich zwischen den Bedingungen. Das maximale Auftreten der N400 wurde von den Autoren in einem Zeitfenster von 240 ms bis 420 ms nach Stimuluspräsentation (Satzende) mit einem maximalen Peak nach ca. 350 ms berichtet. Die N400-Komponente war am deutlichsten ausgeprägt an lateralen, centroparietalen Elektroden. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Barrett und Rugg wurde keine zweite, mit einer kürzeren Latenz und einer anderen Topographie auftretenden Komponente gefunden. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass es keine Unterschiede in der semantischen Repräsentation der beiden Modalitäten gibt. Die Tatsache, dass es keine Latenzunterschiede in der N400 zwischen Wörtern und Bildern

Theoretischer Hintergrund

gab, deutete daraufhin, dass Bilder bei der Verarbeitung nicht zuerst verbalisiert werden und daher auf einen verbalen Speicher zugegriffen wird. Wäre dies der Fall, so sollte sich eine längere Latenz der N400 in der Bildbedingung zeigen, diese konnte aber nicht gefunden werden.

Holcomb und McPherson (1994) verwendeten in einer Untersuchung Strichzeichnungen von Objekten als Stimuli, die sie nacheinander paarweise auf einem Bildschirm präsentierten. Insgesamt wurden 150 Bilderpaare dargeboten. In 50 Paaren stellte das zweite Bild ein mit dem ersten Bild semantisch assoziiertes Objekt dar. In weiteren 50 Paarungen gab es keine semantische Beziehung zwischen den Bildern. In den verbleibenden 50 Bilderpaaren stellte das zweite Bild in Analogie zu den Nichtwörtern in lexikalischen Entscheidungsaufgaben ein Nichtobjekt dar. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, per Tastendruck anzugeben, ob sie das Objekt auf dem zweiten dargebotenen Bild erkannt hatten oder nicht. Es wurde keine Entscheidung hinsichtlich einer semantischen Übereinstimmung zwischen den Stimuli verlangt. Evozierte Potenziale wurden an insgesamt 13 Elektroden abgeleitet. Ein Ziel der Untersuchung war es wie in den schon beschriebenen Studien auch, überhaupt mit Bildern als Stimuli eine N400 oder einen N400-Effekt zu evozieren. Ein zweites Ziel war es, die zeitliche und topographische Charakteristik dieses Effekts in Bildbedingungen zu analysieren. Die Auswertung der evozierten Potenziale erbrachte eine Negativierung in einem Zeitfenster von 325 ms bis 550 ms in den Fällen, in denen das zweite Objekt keine semantische Beziehung zu dem ersten Objekt hatte und in den Fällen, in denen das zweite Bild ein Nichtobjekt darstellte. Im Gegensatz zu der von Barrett und Rugg sowie in Studien der Sprachforschung beschriebenen N400, fanden Holcomb und McPherson diese Komponente nicht centroparietal ausgeprägt, sondern frontal an der Elektrode Fz. Ebenso konnten sie eine Lateralisation mit einer linkshemisphärischen Dominanz finden. Die N400 als Reaktion auf die semantische Abweichung durch Nichtobjekte zeigte eine andere Topographie verglichen mit der N400, die durch semantische Abweichungen durch Objekte hervorgerufen wurde, im Sinne einer rechtshemisphärischen Dominanz.

Theoretischer Hintergrund

Ganis, Kutas und Sereno (1996) präsentierten ihren Versuchspersonen Sätze, die mit kongruenten oder inkongruenten Wörtern sowie mit kongruenten oder inkongruenten Bildern beendet wurden. EEG-Ableitungen wurden an 26 Elektroden durchgeführt. Die Präsentation der Sätze auf einem Bildschirm geschah Wort für Wort. Die Instruktion an die Versuchsperson war die, die Sätze zu lesen und anschließend an die EEG-Untersuchung Fragen zu deren Inhalten zu beantworten. Die Auswertung der Differenzpotenziale zeigte einen Mismatch-Effekt in beiden Bedingungen in einem Zeitfenster von 325 ms bis 475 ms (N400). Unterschiede zwischen den Bedingungen konnten von den Autoren hinsichtlich der Topographie gefunden werden. Die N400 in der Bedingung, in der Sätze mit einem inkongruenten Bild aufhörten, zeigte sich an frontalen Elektroden, in der Bedingung, in der Sätze mit einem inkongruenten Wort endeten, war dieser Effekt an parietalen Elektroden zu lokalisieren. Des Weiteren wurde die N400 in der Bildbedingung mit einer kürzeren Latenz registriert.

Die bisher geschilderten Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich der Mismatch-Effekt im Sinne einer höheren Negativierung im ERP auf einen semantisch inkongruenten Reiz in einem gegebenen Kontext auch in Paradigmen zeigt, in denen nonverbale Stimuli verwendet werden. Eine semantische Abweichung wird unabhängig von der Modalität erkannt, in der der Kontext und der abweichende Reiz dargeboten werden. Hinsichtlich der topographischen und zeitlichen Charakteristik des Mismatch-Effekts zeigt sich kein homogenes Bild. Während die N400 in verbalen Paradigmen mit einer centroparietalen Verteilung und im Falle einer Lateralisation mit einer rechtshemisphärischen Dominanz gefunden wurde, scheint sie bei Verwendung von Bildern als Stimuli eher frontal aufzutreten. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass es in einigen Untersuchungen zusätzlich zu der „klassischen“ N400 eine weitere, frühe und frontal verteilte Negativierung gibt (N300), die in Wortbedingungen nicht berichtet worden ist und daher als bildspezifisch angesehen wird. Ob sich der klassische N400-Effekt bei Bildern in zwei getrennten Komponenten zeigt, eine frühe frontale N300 und eine spätere centroparietale N400, bleibt unklar.

Theoretischer Hintergrund

Eine alternative Erklärung zu der Modalitätsspezifität der N300 wurde von Hamm, Johnson und Kirk (2002) vorgeschlagen und untersucht. Ihrer Ansicht nach lassen sich die beiden Komponenten durch die Verarbeitung unterschiedlicher semantischer Aspekte auf unterschiedlichen Ebenen von Bildern auslösen. Dabei soll die N300 eine Abweichung auf der kategorialen Identifikationsebene reflektieren, die N400 dagegen eine Abweichung auf einer spezifischeren Ebene. Sie präsentierten den Versuchspersonen Bilder von Objekten, denen eine Wortbenennung vorausging. Vier verschiedene Versuchsbedingungen wurden realisiert. In der „Basisbedingung“ stellte die Präsentation eines Hundes nach der Präsentation des Wortes „Vogel“ die inkongruente Bedingung dar. Zusätzlich wurden zwei untergeordnete Bedingungen verglichen. In der ersten, inkongruenten untergeordneten Bedingung folgte auf die spezifische Bezeichnung „Pudel“ das Bild eines Collies, in der zweiten untergeordneten Bedingung folgte auf das Wort „Ente“ das Bild eines Collies. Als vierte Bedingung wurden Differenzen zwischen der Basisbedingung und den jeweiligen untergeordneten Bedingungen berechnet. Die Versuchspersonen hatten nur die Aufgabe, still die dargebotenen Namen zu lesen, eine Entscheidungsaufgabe wurde nicht gestellt. Die Auswertung der evozierten Potenziale ergab eine N400 in allen vier Bedingungen, die eine centroparietale Verteilung aufwies. Eine N300 dagegen konnte nur in zwei der vier Bedingungen gefunden werden. Nur in den Fällen, in denen eine kategoriale Abweichung, z.B. Vogel vs. Hund, vorlag, ließ sich eine frontale N300 finden. Lag dagegen eine semantische Abweichung innerhalb einer Kategorie vor, zeigte sich keine N300. Die Autoren schlossen daraus, dass sich die N300 bei einer semantischen Abweichung auf kategorialer Ebene zeigt, eine N400 dagegen erst bei einer Verarbeitung auf einer spezifischeren Ebene auftritt. Das bedeutet, dass es sich bei der N300 und der N400 um zwei getrennte Komponenten handelt, die auf unterschiedliche Aspekte semantischer Abweichungen hin zu registrieren sind. Eine ähnliche Schlussfolgerung in Richtung von zwei getrennten Komponenten zogen West und Holcomb (2002) aus ihrer Untersuchung, in der sie ihren Versuchspersonen kurze Bildergeschichten präsentierten, die mit einem kongruenten oder inkongruenten Bild aufhörten. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, nach einer Aufforderung per Tastendruck anzugeben, ob die Geschichte sinnvoll war oder nicht. Die Auto-

Theoretischer Hintergrund

ren fanden nach Auswertung der Differenzpotenziale zwei getrennte Negativierungen, die erste mit einer Latenz von ca. 325 ms (N300), eine zweite mit einer Latenz von ca. 500 ms (N400). Die N300 zeigte eine centrale bis frontale Verteilung, die N400 trat an parietalen Elektroden auf.

Auch wenn die Frage, ob es sich bei der N300 und der N400 um getrennte Komponenten handelt bisher nicht abschließend beantwortet werden konnte, scheint erwiesen, dass es sowohl bei verbalen wie auch bei nonverbalen Reizdarbietungen, die von einem semantischen Kontext abweichen, zu einer höheren Negativierung im evozierten Potenzial kommt als in den Bedingungen, in denen der semantische Kontext nicht zerstört wird. Der Zeitbereich, in denen dieser Effekt auftritt, lässt sich von 250 ms bis 550 ms eingrenzen. Im folgenden werden Untersuchungen und Ergebnisse vorgestellt, in denen dieser Effekt zur Analyse der Verarbeitung von Gesichtern, bzw. spezifischer Aspekte von Gesichtern verwendet wurde.

1.3.2.1 Der N400-Effekt bei der Verarbeitung von Gesichtern

Barrett, Rugg und Perrett (1988) untersuchten die N400 in einem Gesichter-Identitäts-Matching-Paradigma, das vergleichbar war mit den Untersuchungen, in denen Wortpaare als Stimuli verwendet wurden. Sie präsentierten den Versuchspersonen 80 Paare von bekannten Gesichtern (z.B. Politiker, TV-Persönlichkeiten und Sportler) und 80 Paare von den Versuchspersonen unbekannt Personen. 40 Paarungen der Gesichter in jeder Bedingung setzten sich aus zwei identischen Personen zusammen, 40 Paarungen bestanden aus zwei verschiedenen Personen. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, mit einer definierten Taste anzugeben, ob es sich in einem nacheinander dargebotenen Paar um identische Personen handelte oder nicht. In den Fällen, in denen es sich bei den Gesichtern nicht um identische Personen handelte, zeigte sich eine frühe Negativierung in einem Zeitfenster von 250 ms bis 350 ms nach Darbietung des zweiten Gesichtes mit einer maximalen Ausprägung in frontalen und temporalen Bereichen

Theoretischer Hintergrund

beider Hemisphären. Eine zweite Negativierung zeigte sich in einem Zeitfenster von 450 ms bis 600 ms an parietalen Elektroden. Dieser Effekt war rechtshemisphärisch nur deutlicher ausgeprägt bei einem Mismatch zwischen bekannten Gesichtern; bei einem Mismatch zwischen unbekanntem Gesichtern war dieser Effekt bilateral zu registrieren. Die Autoren konnten somit zeigen, dass semantisches Priming und eine damit verbundene höhere Negativierung im Falle semantischer Abweichungen auch bei Gesichtern als nonverbale Stimuli auftrat. Ein weiteres interessantes Ergebnis dieser Studie war ein signifikanter Unterschied ca. 160 ms (N170) nach Präsentation des zweiten Gesichtes. An linkshemisphärischen, parietalen Elektroden zeigte sich eine signifikant größere Negativierung auf nicht-identische Gesichter.

Valdes-Sosa und Bobes (1990) untersuchten den Priming-Effekt innerhalb der strukturellen Verarbeitung von Gesichtern. Priming auf dieser Ebene findet nach dem Modell von Bruce und Young (1986) auf einer Ebene statt, auf der ein Reiz aufgrund seiner strukturellen Merkmale und Anordnungen als Gesicht erkannt wird (Box 1, in Abb. 1.1). In der beschriebenen Untersuchung von Barrett et al. (1988) geschah das Priming auf einer späteren Verarbeitungsebene (Box 3), da hier explizit die Identitäten zweier Gesichter verglichen wurden. Valdes-Sosa und Bobes verwendeten Gesichter, in denen die Augenpartien fehlten als Prime-Stimuli, die den Kontext herstellten. Daran anschließend wurde das Gesicht vollständig dargeboten. In der Match-Bedingung wurde die korrekte, der abgebildeten Person zugehörige Augenpartie eingefügt, in der Mismatch-Bedingung wurde eine fremde Augenpartie eingefügt. Die Versuchspersonen, deren Aufgabe es war zu entscheiden, ob ein Gesicht korrekt vervollständigt wurde oder nicht, waren mit den auf den Photos dargestellten Personen vertraut und kannten deren Namen. Die Autoren fanden eine Negativierung im Differenzpotenzial mit einem maximalen Peak 375 ms nach Darbietung eines Gesichtes mit einer fremden Augenpartie. Diese von den Autoren als N375 bezeichnete Komponente war centroparietal lokalisiert. Eine alternative Erklärung zu der Interpretation, dass das Priming in diesem Paradigma auf der strukturellen Ebene stattgefunden hat, ist die Möglichkeit, dass der Mismatch-Effekt durch die Bekanntheit der Versuchspersonen mit den Gesichtern auf

Theoretischer Hintergrund

einer späteren Verarbeitungsebene (Face-Recognition-Units, Box 2 oder Person-Identity-Nodes, Box 3; in Abb. 1.1) hervorgerufen wurde. Um diesen Aspekt näher zu analysieren, wurden zwei weitere Gruppen untersucht, die unterschiedlich vertraut waren mit den dargebotenen Gesichtern. Die erste dieser beiden Gruppen kannte die Gesichter vom Sehen, wusste aber nicht deren Namen. Die zweite Gruppe kannte kein Gesicht auf den Photographien. In der Gruppe, die die Gesichter kannte, zeigte sich, wie in der Gruppe zuvor, eine N375 an centroparietalen Elektroden. In der Gruppe, die die Personen gar nicht kannte, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der korrekten Vervollständigung der Gesichter und der inkorrekten Vervollständigung gefunden werden, d.h. es zeigte sich in dieser Bedingung keine N375. Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass eine Abweichung auf einer strukturellen Ebene alleine nicht ausreichte, um eine der N400 ähnliche Komponente auszulösen, eine Vertrautheit mit den Gesichtern auch ohne den Namen zu wissen, rief dagegen eine solche Komponente hervor.

Olivares, Bobes und Valdes-Sosa (1994) replizierten diese Untersuchung mit Stimuli, die keinerlei Assoziationen bezüglich der dargestellten Personen bei den Versuchspersonen hervorrufen sollten. Dazu wurden schematische Gesichter als Stimuli präsentiert. Dadurch sollte vermieden werden, dass ein dargebotenes Gesicht, auch wenn der Name nicht bekannt ist, semantisches Priming hervorruft und eine evtl. auftretende Negativierung im Sinne einer N374 nur auf strukturelle Abweichung zurückzuführen sei. In mehreren Trainingssitzungen, die im Verlauf einer Woche absolviert wurden, hatten die Versuchspersonen die Gelegenheit, sich mit den strukturellen Gegebenheiten der Gesichter vertraut zu machen, d.h. sie lernten die schematischen Gesichter so gut kennen, dass es auf der Ebene der Face-Recognition-Units die Möglichkeit gab, ein Priming zu induzieren, ohne dass ein semantisches Wissen notwendig war. Das Lernen der Gesichter wurde in der Trainingsphase dadurch getestet, dass sie Gesichter dargeboten bekamen und zu entscheiden hatten, ob ihnen die Bilder bekannt waren oder nicht. Während der EEG-Aufzeichnungen bekamen die Versuchspersonen wie in der Untersuchung von Valdes-Sosa und Bobes (1990) zuerst Gesichter ohne Augenpartien gezeigt,

Theoretischer Hintergrund

daran anschließend wurden die vollständigen Gesichter präsentiert und die Versuchspersonen sollten eine Entscheidung über die Bekanntheit der Gesichter treffen. Die Auswertung der evozierten Potenziale für die N400 wurde in einem Zeitfenster von 340 ms bis 520 ms durchgeführt. Die Autoren konnten in diesem Zeitfenster keine signifikanten Unterschiede zwischen den Match-Bedingungen und den Mismatch-Bedingungen im Sinne eines negativen Differenzpotenzials finden. Für das Fehlen einer N374 gab es ihrer Ansicht nach zwei Erklärungsmöglichkeiten: entweder sei ein semantisches Wissen bezüglich des Gesichtes notwendig, oder das Lernen der Gesichter anhand der strukturellen Gegebenheiten sei nicht ausreichend gewesen. Um den Aspekt des Lernens näher zu untersuchen, veränderten sie in einem zweiten Experiment der Untersuchung die Methodik der Trainingssitzungen. Während im ersten Experiment nicht kontrolliert wurde, wie sich die Versuchspersonen die Gesichter einprägten, bei der Abfrage aber speziell die Augenpartien der variierende Faktor war, wurde dies im zweiten Experiment kontrolliert. Dazu wurde eine Fokussierung der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf die Augenpartien dadurch erreicht, dass sie in der Trainingsphase eine Entscheidung treffen sollten, ob eine Augenpartie, die alleine unterhalb des Bildes dargeboten wurde, zu einem Gesicht gehört oder nicht. Die Durchführung der EEG-Aufzeichnung und die Aufgabe der Versuchspersonen entsprach dem ersten Experiment. Im Gegensatz zu den Ergebnissen des ersten Experiments zeigte sich jetzt eine signifikante Negativierung in einem Zeitfenster von 340 ms bis 520 ms mit einem Maximum nach 392 ms (N374). Lokalisiert war die N374 an den Elektroden Cz, Pz, F8, O1 und O2. Die Autoren schlossen aus diesen Ergebnissen, dass ein Primingeffekt auch ohne semantisches Wissen oder semantische Assoziationen mit nonverbalen Stimuli zu erreichen sei.

In einer Untersuchung von Olivares, Iglesias und Bobes (1998) wurde dasselbe Paradigma und identische Stimuli verwendet. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung lag auf der Topographie der N400. Wie in der zuvor geschilderten Untersuchung, fanden die Autoren eine N400 in einem Zeitfenster von 280 ms bis 520 ms. Am stärksten ausgeprägt zeigte sich die N400 an occipitalen Elektroden, mit einer Dominanz der linken

Theoretischer Hintergrund

Hemisphäre. Von den Autoren wurde die Lokalisation als in Einklang stehend mit den in dieser Arbeit weiter oben unter Punkt 1.2 beschriebenen anatomischen Korrelaten zur Wahrnehmung von Gesichtern angesehen.

In den zuletzt geschilderten Studien konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, spezifische Prozesse bei der Verarbeitung von Gesichtern durch Priming und einen N400-Effekt näher zu untersuchen. In den kognitiven Modellen zur Gesichterverarbeitung wird von gleichzeitig, aber in getrennten Strukturen ablaufenden Prozessen ausgegangen. Diesen Annahmen folgend sollte es möglich sein, unterschiedliche Aspekte der Gesichterverarbeitung wie beispielsweise die Verarbeitung emotionaler Ausdrücke und die Verarbeitung der Identität einer Person, getrennt voneinander zu untersuchen und hinsichtlich der Topographie und des zeitlichen Verlaufs miteinander zu vergleichen.

Potter und Parker (1997) untersuchten eben diese beiden Aspekte der Gesichterverarbeitung in einem Face-Matching-Paradigma. Die Versuchspersonen hatten vier verschiedene Bedingungen zu bearbeiten: In der ersten Bedingung sollten sie paarweise dargebotene Gesichter hinsichtlich ihrer Identität miteinander vergleichen, in der zweiten Bedingung war das Vergleichskriterium der emotionale Gesichtsausdruck. In getrennten Blöcken wurden Paare von Schwarz-Weiss-Photographien von Gesichtern dargeboten, die je nach Bedingung zwei gleiche oder zwei unterschiedliche Personen zeigten (Identitätsbedingung) oder eine Person mit zwei gleichen oder zwei unterschiedlichen emotionalen Ausdrücken darstellten. In zwei weiteren Bedingungen wurden die Gesichter so dargeboten, dass externe Merkmale, wie beispielsweise die Haare, ausgeblendet waren. Die Auswertung der evozierten Potenziale erbrachte zwei Komponenten, die unabhängig von der Bedingung, bei einem Mismatch signifikant negativer waren. Die erste dieser Komponenten wurde in einem Zeitfenster von 200 ms bis 300 ms berichtet, die zweite in einem Zeitfenster von 300 ms bis 500 ms. Während sich die zweite Komponente in parietalen Bereichen sowohl in der Identitätsbedingung wie auch in der Ausdrucksbedingung zeigte, wurde die frühe Komponente in frontalen Bereichen nur in der Identitätsbedingung gefunden. Eine unterschiedliche Topographie der zweiten

Theoretischer Hintergrund

Komponente zwischen den Bedingungen konnte nicht gefunden werden. Das Ausblenden der externalen Merkmale hatte einen Einfluss nur in der Identitätsbedingung im Sinne einer längeren Latenz und einer verminderten Amplitude der frühen frontalen Negativierung. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, dass die Verarbeitung der Identität eines Gesichtes und die Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks unterschiedliche neuronale Aktivität hervorruft, da sich in beiden Aufgabenbedingungen nicht identische ERP-Muster finden, nur die Verarbeitung der Identität löste eine frühe frontale Mismatch-Negativierung aus. In der späteren Mismatch-Negativierung wurden dagegen keine Unterschiede zwischen den Verarbeitungsprozessen gefunden. Das Auftreten einer frühen Negativierung steht im Einklang mit den Ergebnissen zum semantischen Priming von Bildern, eine N300 wurde z.B. von Hamm et al. (2002) als bilderspezifische Mismatch-Negativierung für bestimmte semantische Aspekte des Reizes angesehen.

Münze, Brack, Grootheer, Wieringa, Matzke und Johannes (1998) untersuchten die Topographie und den zeitlichen Verlauf beider Verarbeitungsprozesse in zwei getrennten Experimenten. In dem ersten Experiment der Untersuchung wurden 160 Paare von Gesichtern dargeboten, deren emotionaler Ausdruck neutral gehalten wurde. 80 Paare bestanden aus identischen Gesichtern von Personen, 80 Paare zeigten zwei verschiedene Personen. Die Präsentation der Bilder wurde so gestaltet, dass das erste Bild und das zweite Bild jeweils aus zwei verschiedenen Perspektiven dargeboten wurde, entweder in einer Frontalansicht oder in einer Profilansicht. Wurde beispielsweise das erste Gesicht im Profil dargeboten, erfolgte die Darstellung des zweiten Gesichtes in Frontalansicht. Daraus resultierten insgesamt vier verschiedene Bedingungen. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es zu entscheiden, ob beide Gesichter dieselbe Person darstellten oder nicht und diese Entscheidung per Tastendruck mitzuteilen. In der Emotionsbedingung wurden drei verschiedene emotionale Gesichtsausdrücke dargestellt: 1. Freude, 2. Überraschung und 3. Ärger. Insgesamt wurden in dieser Bedingung 180 Paare von Bildern dargeboten, jede Emotion wurde 60mal als Kontext vorgegeben. In der jeweiligen Mismatch-Bedingung wurde der Ausdruck des zweiten Gesichtes variiert. Die

Theoretischer Hintergrund

Präsentation der Gesichter erfolgte in Frontalansicht. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, zu entscheiden, ob es sich bei den Ausdrücken um identische Emotionen handelte oder nicht. Das EEG wurde an 19 Elektroden abgeleitet. In der Identitätsbedingung zeigte sich eine frontal verteilte höhere Negativierung auf das zweite Gesicht, wenn es eine andere Person darstellte, verglichen mit der Darbietung zweier identischer Personen. Der maximale Peak dieser Negativierung wurde nach ca. 280 ms angegeben. In der Emotionsbedingung wurde diese Differenz zwischen Match- und Mismatch-Bedingung an centroparietalen Elektroden mit einer Latenz von 350 ms gefunden.

Die Tatsache, dass sich unterschiedliche evozierte Potenziale für die Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke und für die Verarbeitung der Identität im Sinne eines N400-Effekts ableiten lassen, ermöglicht die separate Analyse der Verarbeitung unterschiedlicher emotionaler Gesichtsausdrücke. Campanella, Gaspard, Debatisse, Bruyer, Crommelinck und Guerti (2002) verwendeten ein Oddball-Paradigma, um die Verarbeitung verschiedener emotionaler Gesichtsausdrücke anhand von ERP's zu untersuchen. Photographien von zwei Gesichtern wurden entlang eines definierten Kontinuums von jeweils 30% in drei Schritten von der Emotion Trauer zu der Emotion Furcht gemorpht. Ab einer Morphingrate von 65% wurde die dargestellte Emotion einer anderen Kategorie zugehörend erkannt, d.h. ab diesem Punkt wurde der Ausdruck als Furcht und nicht mehr als Trauer erkannt. Als häufiger Stimulus wurde in den Versuchsdurchgängen das Gesicht dargeboten, das nicht gemorpht war und die Emotion Trauer ausdrückte. Abweichende Stimuli konnten nun die Gesichter mit den gleichen, aber gemorphten emotionalen Ausdrücken sein, oder aber eine andere Kategorie von Emotionen in zwei Abstufungen. Die Ableitungen der evozierten Potenziale geschahen an 59 Elektroden. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass beide Arten von abweichenden Stimuli ein negatives Differenzpotenzial mit einem Maximum nach ca. 300 ms auslöste. Lokalisiert war diese Komponente an posterioren, occipitalen Elektroden. Signifikante Unterschiede zwischen Abweichungen derselben Emotionskategorie, verglichen mit Abweichungen der anderen Emotionskategorie, zeigten sich in der Latenz des N400-Effekts. Wurde die Abweichung einer anderen Kategorie zugeordnet, war das Maximum der

Theoretischer Hintergrund

Amplitude nach ca. 287 ms zu registrieren. Wurde dagegen die Abweichung innerhalb derselben Kategorie erkannt, betrug die Latenz 310 ms.

1.4 Ableitung der Fragestellungen für die vorliegende Arbeit

Ein evoziertes Oberflächen-Potenzial, das nahezu ausschließlich auf die Wahrnehmung eines Gesichtes hin abzuleiten ist, wurde in nahezu allen beschriebenen Studien berichtet, die sich mit dem Prozess der Gesichterverarbeitung im ZNS beschäftigen. Dieses Potenzial stellt eine Negativierung dar, die sich mit einer durchschnittlichen Latenz von 170 ms (Zeitbereich: 140 ms bis 200 ms) nach Präsentation eines Gesichtes im EEG registrieren lässt. Die Lokalisation dieser als N170 bezeichneten Komponente steht im Einklang mit Ergebnissen zur Gesichterverarbeitung, die mit Hilfe von Methoden gefunden wurden, die eine neuroanatomische Lokalisation erlauben. Die auslösenden oder modulierenden Faktoren dieser Komponente wurden bisher nicht eindeutig bestimmt, was sich in den teilweise unterschiedlichen Ergebnissen zeigt. In der hier vorliegenden Arbeit war speziell der Einfluss des emotionalen Gesichtsausdruckes auf die N170 von Interesse. Dabei sollte sichergestellt werden, dass die Versuchspersonen die dargebotenen Gesichter hinsichtlich ihrer Bedeutung verarbeiten. Einen erfolgversprechenden Ansatz stellt die Verwendung des N400-Effekts dar, der sich sowohl für nonverbale wie auch für verbale Stimuli zeigt. In den Studien, in denen paarweise Gesichter präsentiert wurden, zeigte sich bei Entscheidungen, ob der emotionale Ausdruck übereinstimmt oder nicht, dass es im Falle eines Mismatches zu einer N400 kommt. Allerdings lässt sich dieser Effekt nicht eindeutig darauf zurückführen, dass die Versuchsperson die jeweils in den Gesichtern ausgedrückte emotionale Bedeutung auch erkannt und verarbeitet hat. Wie aus der Studie von Olivares et al. (1994) hervorgeht, kann eine N400 auch im Falle einer strukturellen Abweichung von Gesichtskomponenten auftreten, wenn diese Komponente im Fokus der Aufmerksamkeit steht. Daher lässt sich eine Entscheidung über die Gleichheit zweier emotionaler Gesichtsausdrücke auch alleine auf struktureller Ebene treffen, speziell durch den Vergleich der Mundwinkel-

Theoretischer Hintergrund

stellung, ohne dass eine Verarbeitung der emotionalen Bedeutung stattfindet. Diese Tatsache könnte auch das Fehlen eines frühen frontalen N400-Effekts in den Emotionsbedingungen in den Studien beispielsweise von Potter und Parker (1997) oder Münte et al. (1998) erklären. Werden die Gesichtsausdrücke nur auf struktureller Ebene abgeglichen, findet keine semantische Verarbeitung statt, in den Identitätsaufgaben müssen dagegen die Gesichter mit mehreren Identitäten verglichen werden.

Zur Überwindung dieses Problems wird in den in dieser Arbeit durchgeführten zwei Experimenten ein „Cross-Modality-Paradigma“ verwendet, in dem emotionale Wörter als Prime-Stimuli einen emotionalen Kontext aufbauen sollen, mit dem ein emotionaler Ausdruck eines als Probe-Stimulus präsentierten schematischen Gesichtes übereinstimmt oder nicht. Im Falle eines N400-Effekts bei Nichtübereinstimmung, ließe sich diese auf eine rein semantische Verarbeitung der Gesichter zurückführen. Somit lässt sich ebenfalls die Modulation der N170 durch die emotionale Bedeutung der Gesichter untersuchen.

Im ersten Experiment der vorliegenden Arbeit wird zum einen die Frage, ob sich durch das Priming mit emotionalen Wörtern und das Präsentieren inkongruenter emotionaler Gesichtsausdrücke ein N400-Effekt hervorrufen lässt und somit eine rein semantische Verarbeitung der Gesichter sicherzustellen ist, untersucht. Eine zweite Fragestellung wird die jeweilige Topographie und der zeitliche Verlauf des durch unterschiedliche emotionale Bedeutungen ausgelösten N400-Effekts sein. Zur Überwindung einer geringeren räumlichen Auflösung des EEG's, im Vergleich zu bildgebenden Verfahren, wird die corticale Aktivität an 124 EEG-Elektroden abgeleitet. Des Weiteren ist die Modulation der N170 durch verschiedene emotionale Gesichtsausdrücke Gegenstand des ersten Experimentes. In einem zweiten Experiment soll zusätzlich zu den genannten Fragestellungen untersucht werden, ob unterschiedliche semantische Inhalte sich durch Variationen in der Latenz, der Topographie oder dem Ausmaß der Amplitude der N400 voneinander unterscheiden lassen. Damit verbunden ist die Frage nach dem semantischen Level der Verarbeitung, ein Aspekt, der nach Hamm et al. (2002) für die Latenz

Theoretischer Hintergrund

und die Lokalisation des N400-Effekts verantwortlich sein könnte. Dazu werden im zweiten Experiment emotionale sowie nichtemotionale und nichtgesichtsbezogene Informationen so dargeboten, dass die Stimuli in allen strukturellen und physikalischen Eigenschaften konstant bleiben und damit auf semantischer Ebene verglichen werden können. Bezüglich der N170 wird im zweiten Experiment untersucht, ob sich diese Komponente auch dann zeigt, wenn die Aufmerksamkeit des Betrachters so fokussiert wird, dass das Gesicht zu einer anderen Informationsquelle (in diesem Fall eine Uhr) wird. Dabei bleiben die strukturellen Gegebenheiten des Gesichtes unverändert.

2 Experiment 1

2.1 Hypothesen

In den unter Punkt 1.3.1 geschilderten Studien konnte gezeigt werden, dass eine N170 auf reale Gesichter wie auch auf einfache Strichzeichnungen von Gesichtern (schematische Gesichter) an posterioren Elektroden abgeleitet werden kann. Daraus folgt die **Hypothese 1: Die Darbietung schematischer Gesichter ruft eine Negativierung in einem Zeitbereich von 140 ms bis 200 ms nach Stimulus-Onset an posterioren Elektroden in Bereichen des extrastriären Cortex aus.**

Semantisches Priming in einer „Cross-Modality“-Bedingung konnte anhand von Reaktionszeiten wie auch mit ERPs gezeigt werden, daraus folgt die **Hypothese 2: Ein Mismatch zwischen der durch ein Wort vorgegebenen emotionalen Bedeutung und eines emotionalen Gesichtsausdruckes führt zu einer höheren Negativierung als in der entsprechenden Match-Bedingung, daraus resultiert ein signifikant von Null abweichendes Differenzpotenzial (N400-Effekt), gebildet aus: Mismatch-Bedingung minus Match-Bedingung.**

Theoretischer Hintergrund

Eine semantische Verarbeitung der Gesichtsausdrücke findet auf einer kategorialen Ebene statt, so dass sich im Einklang mit den Ergebnissen und Interpretationen von Hamm et al. (2002) für die Topographie und den zeitlichen Verlauf die **Hypothese 3** ergibt: **Ein N400-Effekt zeigt sich mit einer frontalen Verteilung in einem Zeitfenster von 250 ms bis 450 ms.**

Den Ergebnissen von Boucsein et al. (2001) bezüglich der Modulation dieser Komponente folgend ergibt sich die **Hypothese 4: Die Darbietung unterschiedlicher emotionaler Gesichtsausdrücke zeigt sich in Unterschieden in der Latenz und/oder der Amplitude der jeweiligen N170.**

Methoden Experiment 1

2.2 Methoden Experiment 1

2.2.1 Versuchsteilnehmer

An der Untersuchung nahmen insgesamt 21 Versuchspersonen (Vpn) im Alter von 19 bis 43 Jahren teil, davon waren 17 weiblich und 4 männlich. Das mittlere Alter der Vpn betrug 28.2 Jahre ($SD = 6.6$). Alle Vpn waren Psychologiestudentinnen und Psychologiestudenten der Bergischen Universität Wuppertal, die im Rahmen ihres Grundstudiums Versuchspersonenstunden für die Teilnahme an dem Experiment gutgeschrieben bekamen. Jeder Versuchsteilnehmer verfügte über ein normales Sehvermögen, welches bei einigen Vpn durch das Tragen einer Brille gesichert war. Keiner der Versuchsteilnehmer wurde vor oder während des Experimentes über den Hintergrund und die zu untersuchenden Fragestellungen informiert. Es wurden nur solche Vpn in die Studie aufgenommen, die zuvor noch an keinem Experiment zur Wahrnehmung von Gesichtern oder schematischen Gesichtern teilgenommen hatten. Drei Versuchspersonen wurden aus den statistischen Auswertungen herausgenommen, da das bei ihnen abgeleitete EEG nicht korrigierbare Artefakte, wie z.B. Bewegungsartefakte aufwies, so dass in die endgültige Analyse der Daten 18 Vpn eingingen.

Methoden Experiment 1

2.2.2 Versuchsdesign

Als abhängige Variablen wurden die Amplituden der evozierten Potenziale N170 und des Differenzpotenzials (im Folgenden als N400-Effekt bezeichnet) sowie deren Latenz gemessen. Bei der Bestimmung des Ausmaßes der Amplituden wurde eine sogenannte Peak-to-Baseline-Bestimmung vorgenommen. Dabei wird der Gipfelpunkt, d.h. der Punkt der maximalen Auslenkung eines Potenzials in einem vorher definierten Zeitbereich bestimmt und zu einer berechneten Baseline in Bezug gesetzt. Das verwendete Zeitfenster für die N170 wurde von 140 ms bis 200 ms nach der Präsentation des Gesichtes festgelegt. Für den N400-Effekt wurde ein Zeitfenster von 200 ms bis 500 ms nach der Präsentation des Gesichtes festgelegt. Die Angabe des Amplitudenmaßes erfolgt in Mikrovolt (μV). Die Bestimmung der Latenz erfolgt über eine Zeitangabe, die sich aus dem Moment der Darbietung des relevanten Reizes (Stimulus) bis zum maximalen Peak ergab. Die Angabe der Latenz erfolgt in Millisekunden (ms). Die Darbietung der Stimuli und die Ausgabe eines Triggersignals an das EEG-Aufzeichnungsgerät waren bezüglich des horizontalen Bildaufbaus synchronisiert, so dass für jede Reiz-Reaktionsverbindung eine exakt gleiche Bestimmung der Latenz möglich war. Das Triggersignal ist für eine spätere zeitliche Lokalisation eines Reizes im aufgezeichneten EEG notwendig. Für den N400-Effekt wurden folgende Faktoren untersucht: 1. die Elektrodenlokalisierung, als Faktor „Elektrode“ bezeichnet, 2. die Hemisphärenlokalisierung, als Faktor „Hemisphäre“ bezeichnet, 3. der emotionale Kontext, als Faktor „Emotion“ bezeichnet und 4. ein definiertes Hirnareal, als Faktor „Areal“ bezeichnet. Für den Faktor „Elektrode“ ergaben sich 124 über den gesamten Schädel verteilte Lokalisationen. Der Faktor „Hemisphäre“ trennte die linke von der rechten Hemisphäre. Der Faktor „Emotion“ bezog sich auf den emotionalen Kontext „Freude“ und „Ärger“. Der Faktor „Areal“ ergab sich durch eine Aufteilung der gesamten Schädeloberfläche in einen präfrontalen, einen frontalen, einen frontocentralen, einen centralen, einen centroparietalen, einen parietalen sowie einen occipitalen Bereich. Zusätzlich wurden die Elektroden, die sich auf der Mittellinie des Schädels befanden, getrennt ausgewertet, wobei hier der Faktor „Hemisphäre“ entfiel. Als unabhängige Variablen bezüglich der N170 gingen in die Untersuchung ein: 1. die Elektrodenlokalisierung, als Faktor

Methoden Experiment 1

gingen in die Untersuchung ein: 1. die Elektrodenlokalisierung, als Faktor „Elektrode“ bezeichnet, 2. die Hemisphärenlokalisierung, als Faktor „Hemisphäre“ bezeichnet, 3. die Bedingung, als Faktor „Bedingung“ bezeichnet sowie 4. der dargestellte emotionale Gesichtsausdruck, als Faktor „Emotion“ bezeichnet. Für den Faktor „Elektrode“ ergaben sich 11 Lokalisationen in jeder Hemisphäre, der Faktor „Bedingung“ ergab die zwei Möglichkeiten match/mismatch, der Faktor „Emotion“ bezog sich auf das ärgerliche vs. das freudige Gesicht und der Faktor „Hemisphäre“ trennte in die linke und die rechte Hirnhälfte.

2.2.3 Versuchsanordnung

Stimulusmaterial

Die verwendeten Stimuli waren zwei verschiedene Emotionswörter (Freude, Ärger) und schematische Gesichter, die die zu den Emotionswörtern passenden Gesichtsausdrücke darstellten. Die schematischen Gesichter setzten sich aus weißen Linienzeichnungen zusammen, die auf einem blauen Hintergrund präsentiert wurden. Die zwei verschiedenen emotionalen Gesichtsausdrücke wurden durch eine Veränderung der Mundwinkelstellungen und der Augenbrauen erreicht. Für einen freudigen Ausdruck waren die Mundwinkel aufwärts gerichtet und die Augenbrauen leicht geneigt. Für den ärgerlichen Ausdruck wurden die Mundwinkel nach unten gerichtet dargeboten und die Augenbrauen wurden stärker geneigt. Die geeignete Verwendung dieser schematischen Gesichter zur Untersuchung der Verarbeitung von Gesichtsausdrücken konnte in einer früheren Untersuchung in dem gleichen Labor gezeigt werden (vgl. Boucsein et al., 2001).

Apparatur

Die Versuchspersonen saßen in einem Abstand von 90cm zu dem Monitor. Die Präsentation der Stimuli erfolgte computergesteuert auf einem 19-Zoll-Monitor. Dabei betrug die Höhe der dargebotenen Gesichter 9cm und die Breite 6cm. Aufgrund des durch den Abstand zum Monitor und Größe der Gesichter bedingten Seh winkels, konnten Augen-

Methoden Experiment 1

bewegungen zur Wahrnehmung des ganzen Gesichtes vermieden werden. Jede Präsentation erfolgte exakt an der gleichen Stelle (mittig) des Monitors, ebenfalls um das Auftreten von Augenbewegungen zu vermeiden. Die Sitzposition der Vpn wurde so eingerichtet, dass es ihnen möglich war, das Experiment bequem durchzuführen und Körperbewegungen so weit wie möglich zu vermeiden. Die Beleuchtung des Labors war so eingestellt, dass es zu keinen Reflexionen auf dem Monitor kam und die Vpn keine direkte Lichteinstrahlung in die Augen bekamen. EEG-Daten wurden mittels eines 128-Kanal Aufzeichnungsgerätes der Firma Nihon Koden (Japan) registriert und für eine spätere Auswertung auf einem Computer gespeichert. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mit einer digitalen Abtastrate von 1000Hz. Zur Unterdrückung von Netzeinstreuungen wurde ein 50Hz Notch-Filter verwendet. Das Roh-EEG wurde mit einer Zeitkonstanten von 0.1sek und einem 70Hz Tiefpassfilter aufgezeichnet. Die verwendete Zeitkonstante wurde gewählt, um den möglichen Einfluss langsamer Potenzialverschiebungen zu unterdrücken, wodurch eine Verminderung aller Amplituden berücksichtigt werden muss (z.B. beim Vergleich mit Untersuchungen, die eine andere Zeitkonstante verwendet haben). Das Anlegen der EEG-Elektroden erfolgte gemäß dem standardisierten 10-20-System (Jasper, 1958). Dazu wurde eine EEG-Kappe (Easy-Cap) der Firma Falk-Minow (Deutschland) verwendet, siehe Abb. 2.1.



Abbildung. 2.1.1 Ansicht der verwendeten EEG-Kappe zum standardisierten Anlegen der 128 EEG-Elektroden nach dem 10-20-System (Jasper, 1958).

2.2.4 Versuchsablauf

Die Erhebung der Daten fand in dem Zeitraum von Februar 2002 bis Juni 2002 in einem elektrisch abgeschirmten, klimatisierten und schalldichten Labor statt, das sich in dem Institut für Physiologische Psychologie der Bergischen Universität Wuppertal befindet.

Vor dem Anlegen der EEG-Kappe wurde die Kopfhaut der Versuchspersonen mit 75%-igem Alkohol abgerieben. Anschließend wurde die Strecke zwischen Nasion und Inion sowie zwischen den präaurikulären Punkten beider Kopfseiten bestimmt. Jeweils der exakte Mittelpunkt der beiden Messstrecken wurde markiert. Der Schnittpunkt wurde zur Lokalisation der Cz-Elektrode bestimmt, so dass alle Elektroden dem 10-20er System folgend positioniert werden konnten. Nach dem Anlegen der Kappe, die durch einen Kinnriemen gegen ein Verrutschen gesichert wurde, wurde die Kopfhaut unmittelbar unter jeder Elektrodenposition mit einem Wattestab, mit einer für diesen Zweck geeigneten chloridfreien Peeling-Paste (Abralyt 2000), aufgeraut und daran anschlie-

Methoden Experiment 1

ßend noch einmal mit Alkohol gereinigt. Daran anschließend wurden alle Elektrodenöffnungen mit einer Elektrodenpaste (Hellige) gefüllt. Dazu wurden Spritzen mit abgerundeten Injektionsnadeln verwendet. Durch die sorgfältige Vorbehandlung der Kopfhaut konnte der Elektrodenwiderstand unter 5KOhm gehalten werden. Anschließend wurden die Elektroden einzeln in die Öffnungen der Kappe eingeklickt und mittels einer Steckverbindung an das EEG-Aufzeichnungsgerät angeschlossen. Zusätzlich zu den EEG-Elektroden wurden vier EOG-Elektroden (Elektroocculogramm) zur Kontrolle und späteren Korrektur von Augenartefakten angebracht, eine oberhalb des linken Auges, eine unterhalb des linken Auges sowie je eine Elektrode lateral am rechten und am linken Auge. Als elektrisch inaktive Referenzelektroden wurde auf jeder Hemisphäre eine Elektrode über den Mastoiden angebracht.

Die Instruktionen an die Vpn (s.u.) wurden auf dem Monitor dargeboten und wörtlich vom Versuchsleiter vorgelesen. Anschließend wurde durch die Präsentation von 20 Probedurchgängen, bei denen sich der Versuchsleiter noch im Labor befand, sichergestellt, dass die Vpn die Durchführung des Versuchs und die Aufgabenstellung verstanden hatten. Der eigentliche Versuch begann, nachdem der Versuchsleiter das Labor verlassen hatte und über die Gegensprechanlage der Vpn mitteilte, dass sie beginnen könne.

Instruktion:

„Liebe Versuchsperson,

In dem folgenden Versuch werden schematische Gesichter auf dem Bildschirm gezeigt. Diese Gesichter zeigen emotionale Ausdrücke. Vor jedem Gesicht erfolgt eine kurze Ankündigung in Form des Wortes „Freude“ oder „Ärger“. Der dann folgende Gesichtsausdruck kann mit der Ankündigung übereinstimmen, oder nicht. Deine Aufgabe besteht darin, zu zählen, wie oft der Gesichtsausdruck mit der Ankündigung übereinstimmt. Zwischen Ankündigung und Gesicht erscheint ein kleines Kreuz auf dem Bildschirm, welches Du bitte mit Deinen Augen fixieren sollst.“

Methoden Experiment 1

Jeder einzelne Versuchsdurchgang begann mit der Präsentation eines der beiden Emotionswörter „Freude“ oder „Ärger“. Jedes Wort wurde für die Dauer von 500 ms auf dem Bildschirm präsentiert. Nach der Präsentation des Wortes wurde an exakt der gleichen Bildschirmposition ein Fixationskreuz ebenfalls für die Dauer von 500 ms dargeboten. Daran anschließend erschien eines der beiden schematischen Gesichter wiederum an der gleichen Position und ebenfalls für die Dauer von 500 ms. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, zu zählen, wie oft die durch das Wort ausgedrückte emotionale Bedeutung und der Gesichtsausdruck übereinstimmten. Das Experiment war in insgesamt 10 Blöcke aufgeteilt. In jedem Block wurden 40 Wort-Gesicht-Kombinationen dargeboten. Die Anzahl der Übereinstimmungen bezüglich der emotionalen Bedeutung wurde zwischen den einzelnen Blöcken variabel gehalten. Am Ende eines Blocks wurden die Vpn durch einen Hinweis auf dem Monitor aufgefordert, ihre gezählte Anzahl von Übereinstimmungen über eine Tastatur, die sich unmittelbar vor ihnen befand, einzugeben. Dadurch, dass sie die Antwort erst am Ende eines Blocks geben sollten, wurde versucht, motorische Potenziale und Bewegungsartefakte zu vermeiden. Der Beginn des nächsten Versuchsdurchgang konnte von den Vpn. selbst bestimmt und per Tastendruck (Enter-Taste) gestartet werden. Die verwendeten Stimuli werden in Abbildung 2.2 dargestellt, alle möglichen Darbietungskombinationen sowie der zeitliche Verlauf eines einzelnen Durchganges werden in Abb. 2.3 dargestellt. Im oberen Bereich der Abbildung 2.3 (a) stimmen die ausgedrückte emotionale Bedeutung des Wortes und der emotionale Gesichtsausdruck in beiden Bedeutungen überein (Match-Bedingungen). Wurde das Wort „Freude“ als Prime-Stimulus präsentiert, erfolgte als Probe-Stimulus die Darbietung des Gesichtes mit einem freudigen Ausdruck, realisiert durch die aufwärts gerichteten Mundwinkel. Auf die Präsentation des Wortes „Ärger“ als Prime-Stimulus erfolgte die Präsentation des Gesichtes mit einem ärgerlichen Ausdruck, realisiert durch die abwärts gerichteten Mundwinkel. Im unteren Bereich der Abbildung (b) stimmen die ausgedrückte emotionale Bedeutung des Wortes und emotionaler Gesichtsausdruck nicht überein (Mismatch-Bedingungen). Dem entsprechend folgte auf die Präsentation des Prime-Stimulus „Ärger“ als Probe-Stimulus die Präsen-

Methoden Experiment 1

tation eines freudigen Gesichtes, wurde das Wort „Freude“ präsentiert, folgte hierauf die Präsentation des ärgerlichen Gesichtes.

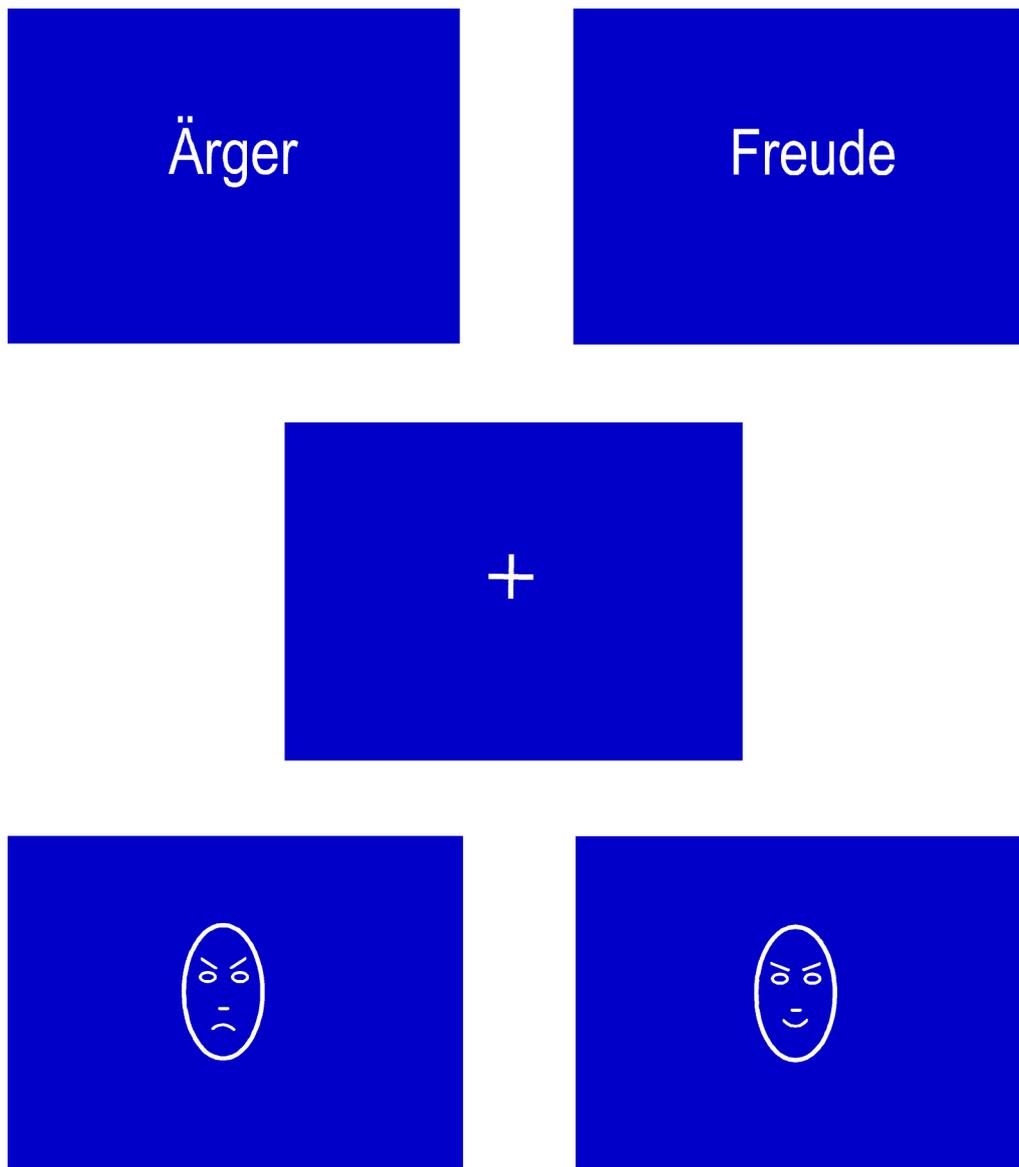


Abbildung 2.2 emotionale Wörter als Primestimuli, schematische Gesichter als Probestimuli

Methoden Experiment 1

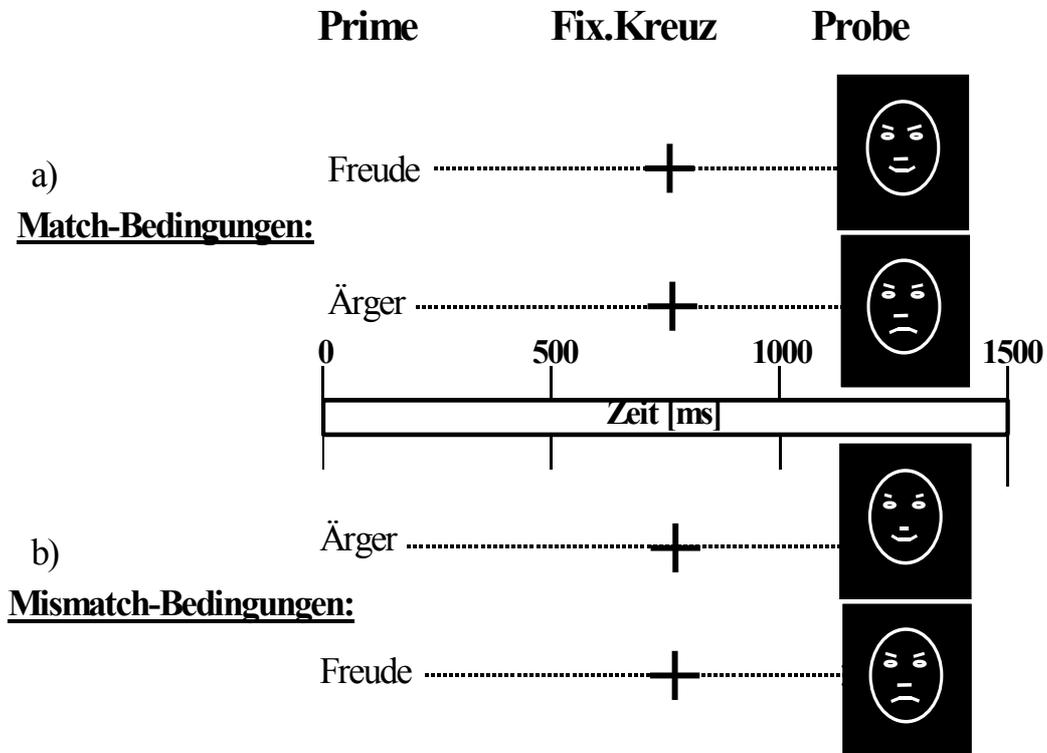


Abbildung 2.3 Darstellung der Stimuli und ihrer Kombinationen sowie der zeitliche Verlauf eines Durchganges

Die Dauer der gesamten Untersuchung lag zwischen zweieinhalb und drei Stunden, wobei die Durchführung des Experimentes 30 bis 40 Minuten betrug. Die Versuchspersonen wurden darüber informiert, dass sie die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt abbrechen konnten.

2.3 Auswertung der EEG-Daten

2.3.1 Parametrisierung

Die Parametrisierung der EEG-Daten für eine spätere statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm „Brain Vision“ der Firma Brain Products (Deutschland). Zuerst wurden aus den aufgezeichneten Roh-Daten einzelne Segmente um die jeweils zu untersuchenden Trigger „ausgeschnitten“. Dazu wurden für beide Komponenten 100 ms vor dem Trigger zur Baselineberechnung und 600 ms nach dem Trigger „ausgeschnitten“, so dass jede Bedingung getrennt analysiert werden konnte. Aufgrund der pro Bedingung dargebotenen 100 Versuchsdurchgänge ergaben sich für die weitere Analyse und für das Averaging 100 Segmente. Diese Segmente wurden nun einer Augenartefakt-Bereinigung unter Verwendung des sog. Gratton und Coles-Algorithmus unterzogen (Gratton, Coles und Donchin, 1983). Als nächstes wurden die Daten mit 35Hz gefiltert. Anschließend erfolgte eine Baselinekorrektur, die sich auf die über alle Versuchsdurchgänge gemittelten 100 ms vor dem Trigger bezog. Zur Ermittlung der evozierten Potenziale N170 und des N400-Effekts wurden diese einzelnen Segmente einem Averaging unterzogen. Zur Berechnung der N400-Effekts wurden Differenzpotenziale gebildet, dazu wurde jede Match-Bedingung von der entsprechenden Mismatch-Bedingung subtrahiert. Zur weiteren Berechnung wurden nun in den beschriebenen Zeitfenstern die maximalen Peaks der jeweiligen Komponente ermittelt. Für die N170 erfolgte diese Peak-Erkennung in den Datensätzen, die aus dem Averaging resultierten, für den N400-Effekt erfolgte die Peak-Erkennung in den Differenzwellen.

2.3.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 11.0 für Windows mit dem Modul „Allgemeines lineares Modell“ durchgeführt. Als Auswertungsverfahren wurden Varianzanalysen mit Messwiederholungsdesign berechnet. Beide zu untersuchenden Komponenten wurden getrennt ausgewertet, wobei die unter Punkt 2.2.2 beschriebenen Faktoren als Messwiederholungsfaktoren in die Berechnungen eingingen. Alle Freiheitsgrade wurden Greenhouse-Geisser korrigiert. Eine Anpassung des Konfidenzintervalles für Mehrfachtestungen wurde nach Bonferroni durchgeführt. Post-hoc-Vergleiche wurden durch t-Tests für paarweise Stichproben berechnet. Die statistischen Berechnungen werden zuerst für den N400-Effekt dargestellt, daran anschließend für die N170-Komponente.

Ergebnisse Experiment 1

2.4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse bezogen auf die Fragestellungen für beide EEG-Komponenten getrennt dargestellt. Zuerst werden die Berechnungen für den N400-Effekt bezüglich der Amplituden, Latenzen sowie deren topographischen Verteilung berichtet. Daran anschließend werden die Ergebnisse für die N170 ebenfalls bezüglich ihrer Amplituden, Latenzen und der topographischen Verteilung dargestellt.

2.4.1 N400-Effekt: Amplituden und Latenzen

Nach der Bildung der Differenzpotenziale durch die Subtraktion der Match-Bedingung von der entsprechenden Mismatch-Bedingung wurden die Elektroden in verschiedene Bereiche eingeteilt: 1. Präfrontal, 2. Frontal, 3. Frontocentral, 4. Central, 5. Centro-Parietal, 6. Parietal, 7. Occipital und 8. alle auf der Mittellinie gelegenen Elektroden. Ungerade Elektrodenbezeichnungen beziehen sich auf Elektroden der linken Hemisphäre, gerade beziehen sich auf Elektroden der rechten Hemisphäre. Elektroden, die mit einem „z“ versehen sind, liegen auf der Mittellinie. Für jeden Bereich wurden getrennte Varianzanalysen (Messwiederholungsdesign) mit den unter Punkt 2.2.2 genannten Faktoren berechnet. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt zuerst separat für jeden Bereich. Alle Amplituden, Latenzen sowie deren Standardabweichungen werden in Anhang A in den Tabellen A1 bis A9 dargestellt. In Anhang A, Abbildung A1 und A2 werden die Elektroden mit den mittleren Amplituden gemäß ihrer Lokalisation auf dem Schädel dargestellt. Die im Ergebnisteil dargestellten Kurvenverläufe wurden so gewählt, dass exemplarisch Elektroden von einzelnen Versuchspersonen dargestellt sind, die den N400-Effekt für jeden Bereich und jede Bedingung am ausgeprägtesten abbilden. Dabei sind Abweichungen vom Mittelwert über alle Versuchspersonen in der Amplitude (nach oben) und der Latenz zu berücksichtigen.

Ergebnisse Experiment 1

Präfrontal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 277 ms bis 329 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 107.183$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnten keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionseffekte gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“, $F(2.3/39.2) = 11.622$; $p < 0.0001$. Es zeigten sich zwar keine weiteren Haupteffekte oder Interaktionseffekte, aber in der Emotionsbedingung „Freude“ zeigten sich die höchsten Ausprägungen an den Elektroden FP1a und FP2a, während in der Bedingung „Ärger“ die höchsten Amplituden an den Elektroden AF3a und AF8a zu beobachten waren. In der Abbildung 2.4 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.5a bis 2.5d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für die beiden Bedingungen mit den jeweils höchsten Amplituden dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

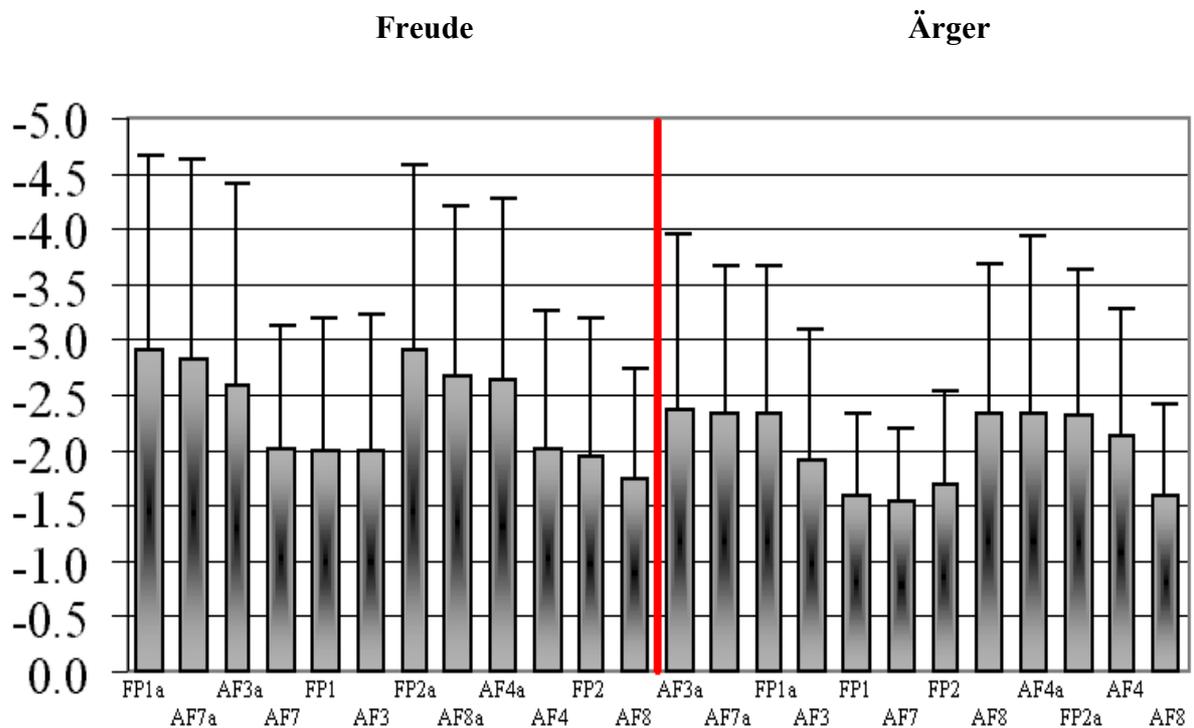
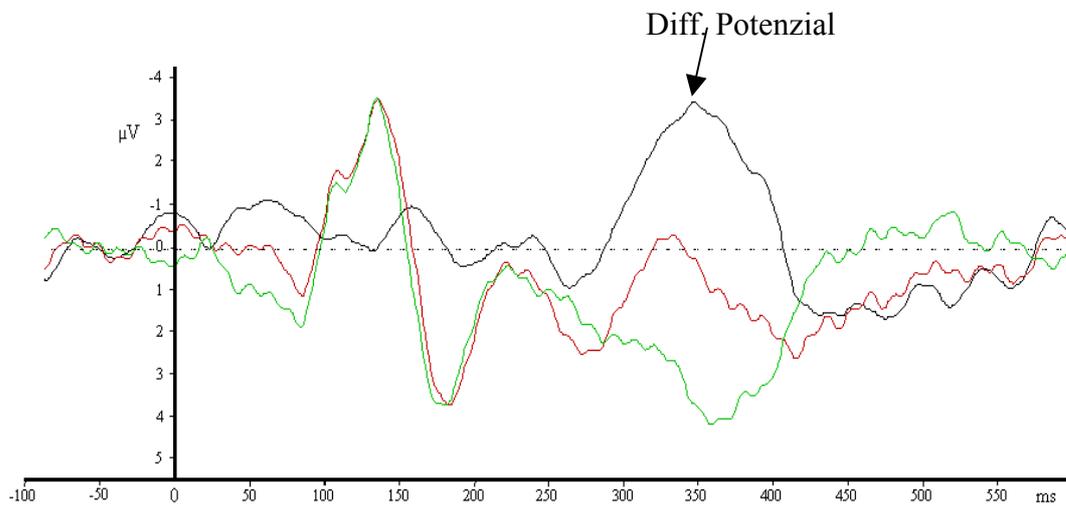


Abbildung 2.4 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an präfrontalen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.5a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude, wie z.B. eine linkshemisphärisch größere Ausprägung des N400-Effekts in Abbildung 2.5a-b (FP1a größer als FP2a), stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) FP1a/Freude



b) FP2a/Freude

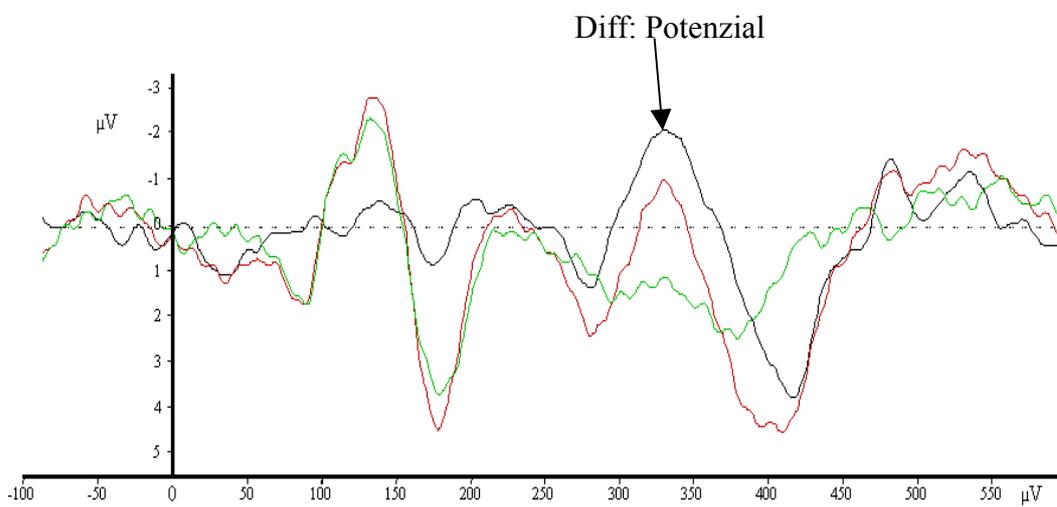
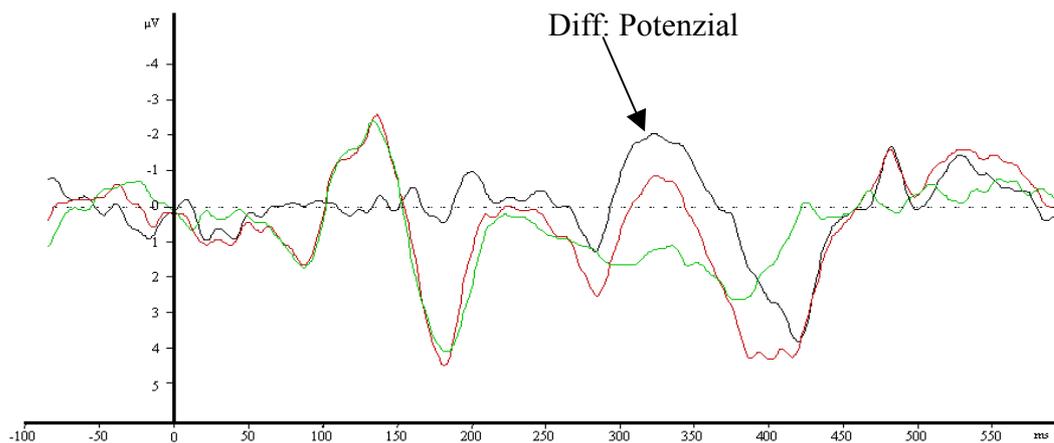


Abbildung 2.5a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) AF3a/Ärger



d) AF8a/Ärger

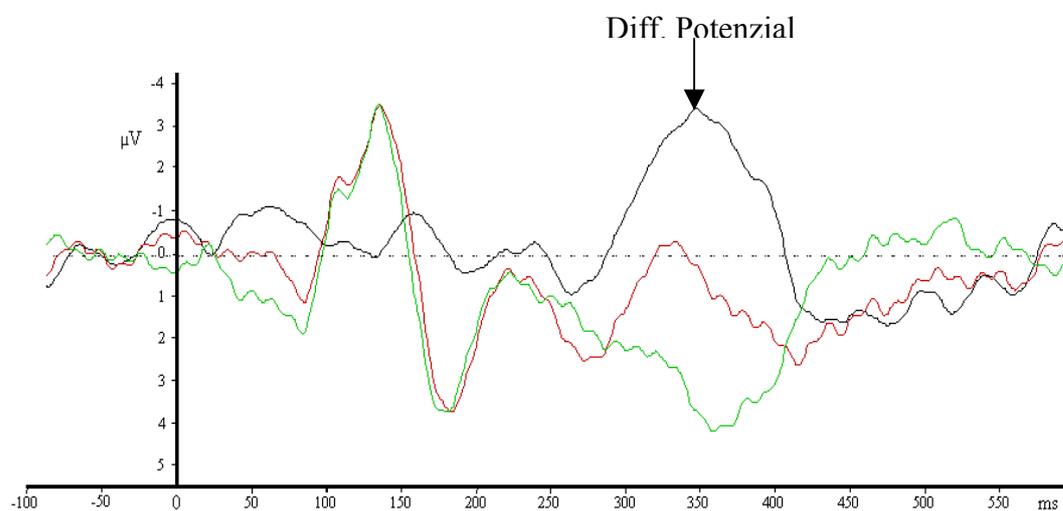


Abbildung 2.5c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

Frontal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 273 ms bis 325 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 123.435$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnten keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionseffekte gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(2.4/41.0) = 25.694$; $p < 0.0001$. In der Emotionsbedingung „Freude“ zeigten sich die höchsten Ausprägungen an den Elektroden F4a und F5a. In der Bedingung „Ärger“ waren die höchsten Amplituden an den Elektroden F3 und F6a zu registrieren. Der Faktor „Emotion“ zeigte keinen signifikanten Haupteffekt, allerdings zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Emotion“ * „Elektrode“ $F(1.8/31.4) = 4.040$; $p < 0.05$. Dabei zeigte sich mit Ausnahme der Elektroden F9/F10, F7/F8, F9a/F10a und F7a/F8a eine höhere Amplitude für die Emotion „Ärger“. In der Abbildung 2.6 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.7a bis 2.7d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

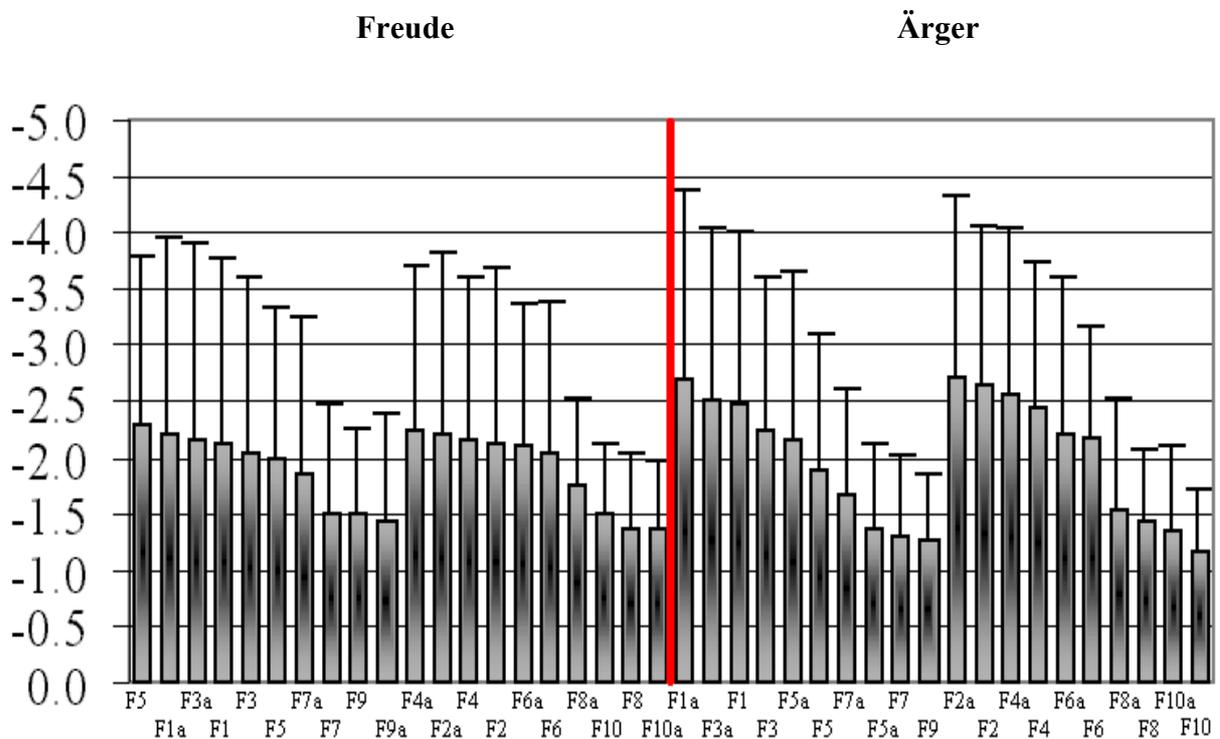
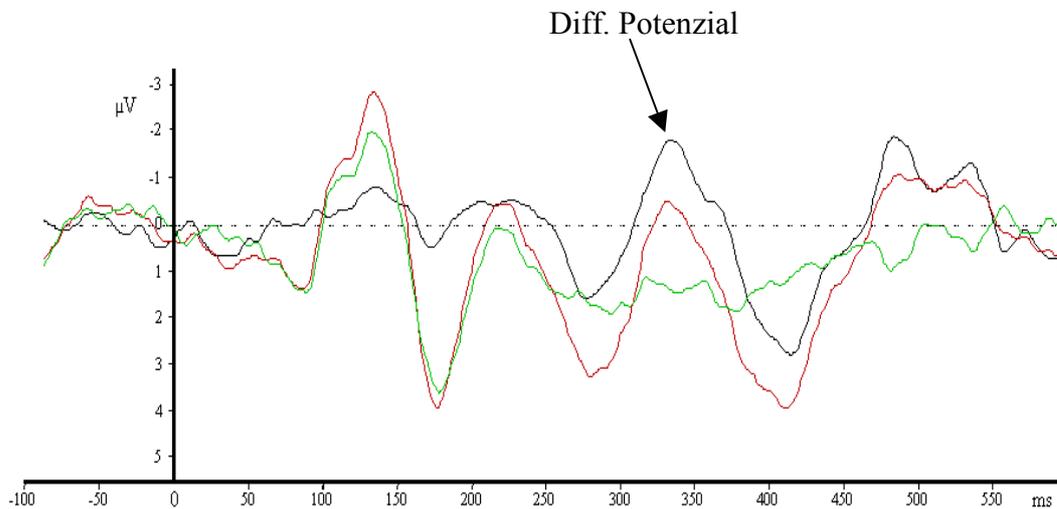


Abbildung 2.6 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an frontalen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.7a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude, wie z.B. eine linkshemisphärisch kürzere Latenz des N400-Effekts in Abbildung 2.7c-d (F3 kürzer als F6a), stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) F5a/Freude



b) F4a/Freude

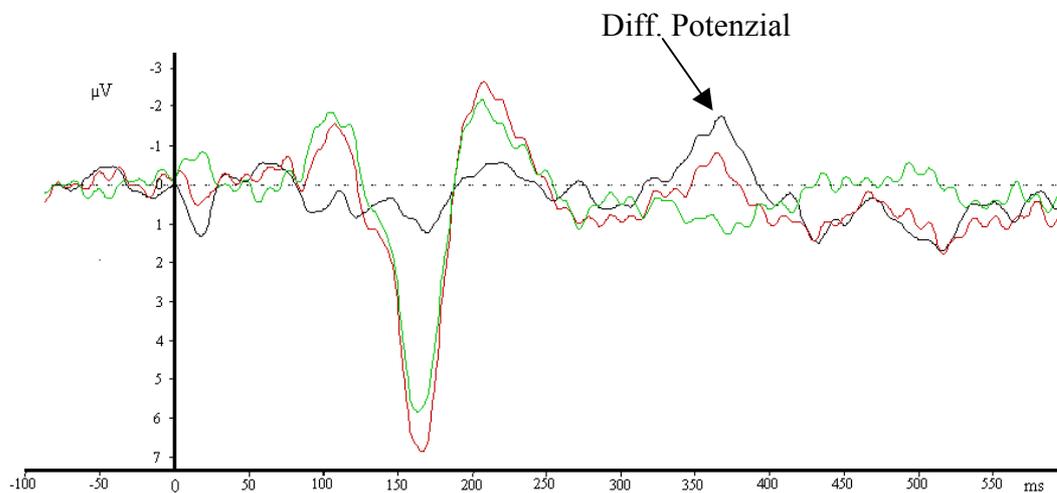
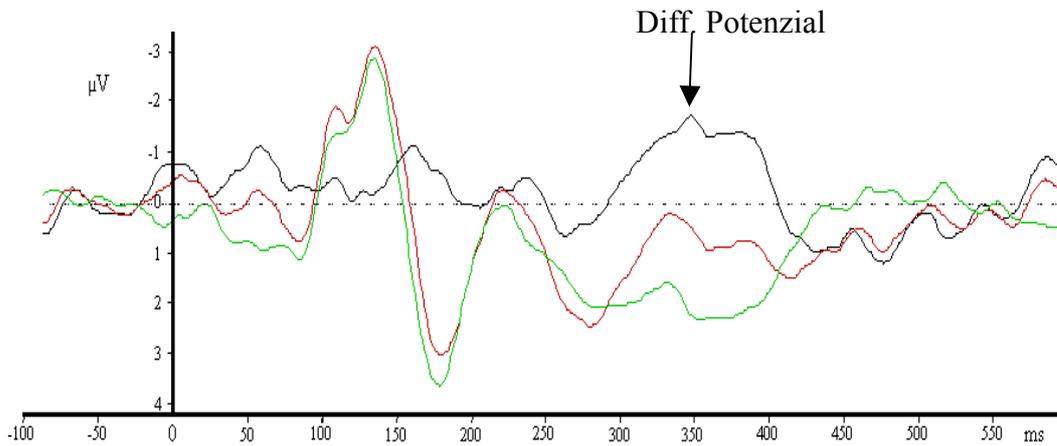


Abbildung 2.7a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) F3/Ärger



d) F6a/Ärger

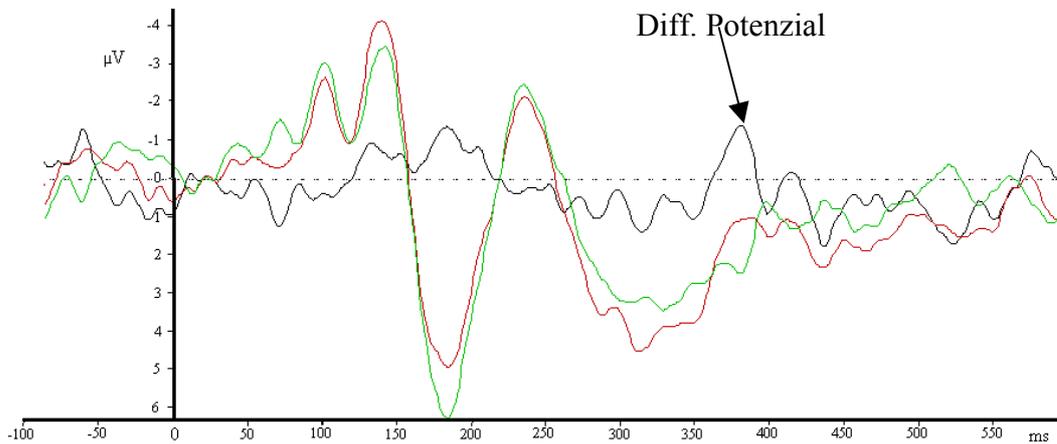


Abbildung 2.7c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

Frontocentral

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 274 ms bis 344 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 103.548$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte kein signifikanter Haupteffekt oder Interaktionseffekt gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(2.4/42.2) = 20.599$; $p < 0.0001$. An den Elektroden FC3/FC4, FC1/FC2, FC3a/FC4a und FC1a/FC2a waren die Amplituden signifikant größer im Vergleich zu allen anderen Elektroden, untereinander waren die Unterschiede zwischen diesen Elektroden nicht signifikant. In der Abbildung 2.8 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.9a bis 2.9d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

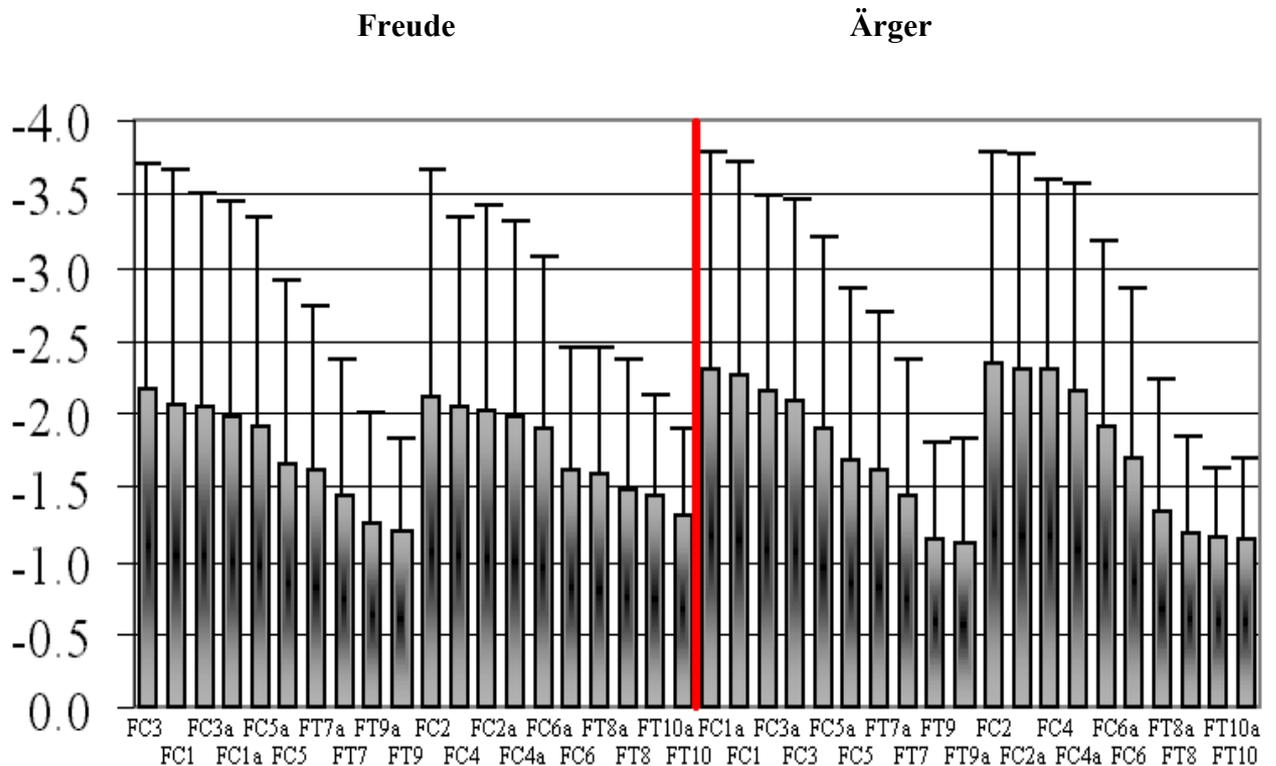
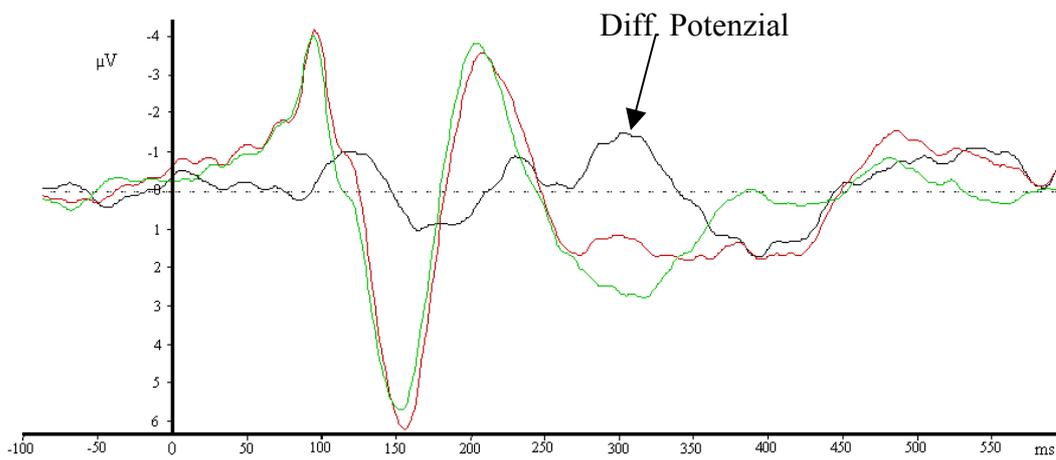


Abbildung 2.8 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an frontocentralen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.9a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude, wie z.B. eine rechtshemisphärisch größere Ausprägung des N400-Effekts in Abbildung 2.9c-d (FC2 größer als FC1a), stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) FC3/Freude



b) FC2/Freude

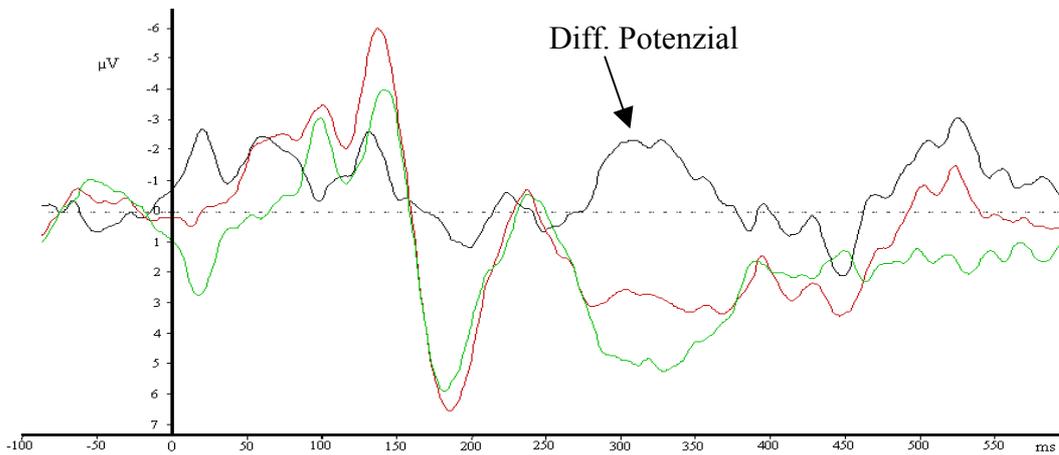
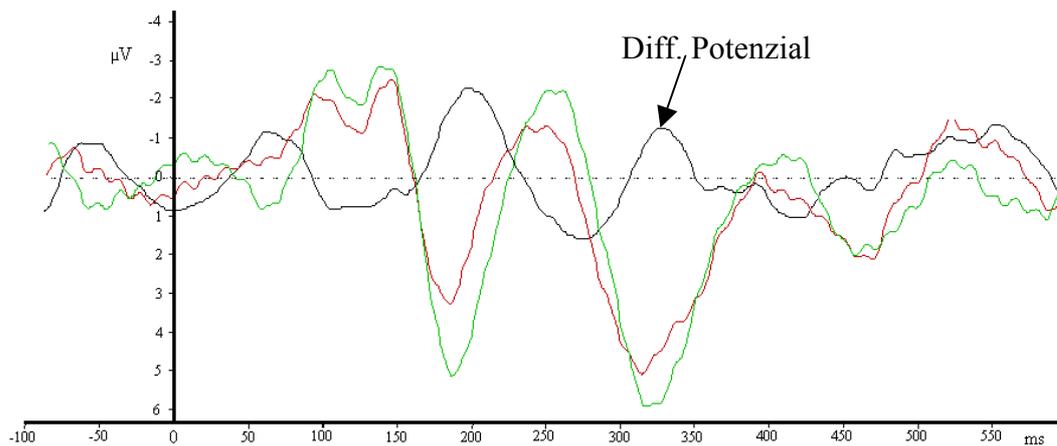


Abbildung 2.9a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) FC1a/Ärger



d) FC2/Ärger

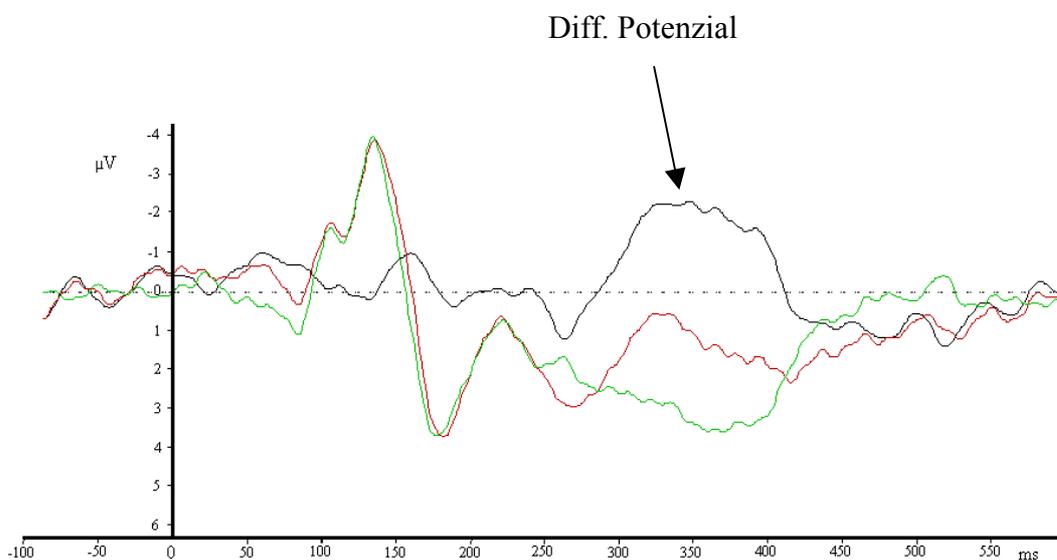


Abbildung 2.9c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 1

Central

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 306 ms bis 350 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 88.407$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte kein signifikanter Haupteffekt oder Interaktionseffekt gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(2.4/41.5) = 5.030$; $p < 0.0001$. An den Elektroden C5/C6 waren die Amplituden signifikant größer im Vergleich zu den Elektroden C3/C4, C1/C2 und C3a/C4a. Weitere Haupteffekte oder Interaktionseffekte wurden nicht gefunden. In der Abbildung 2.10 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.11a bis 2.11d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

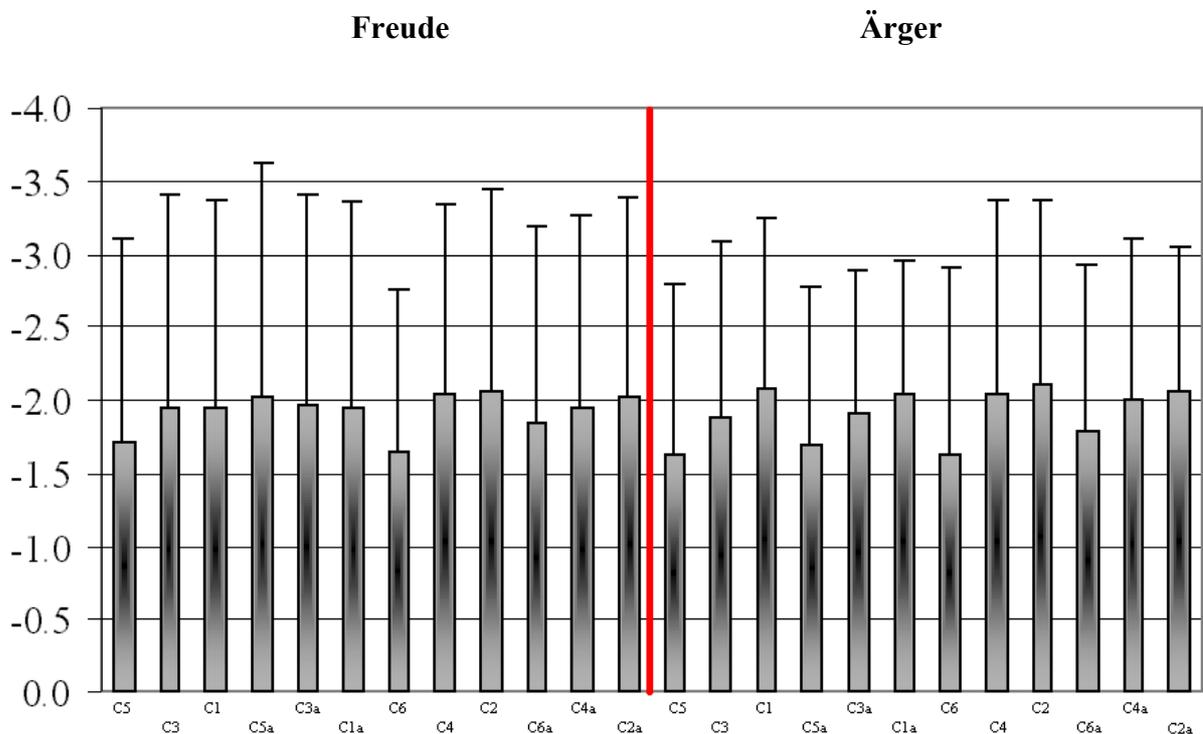
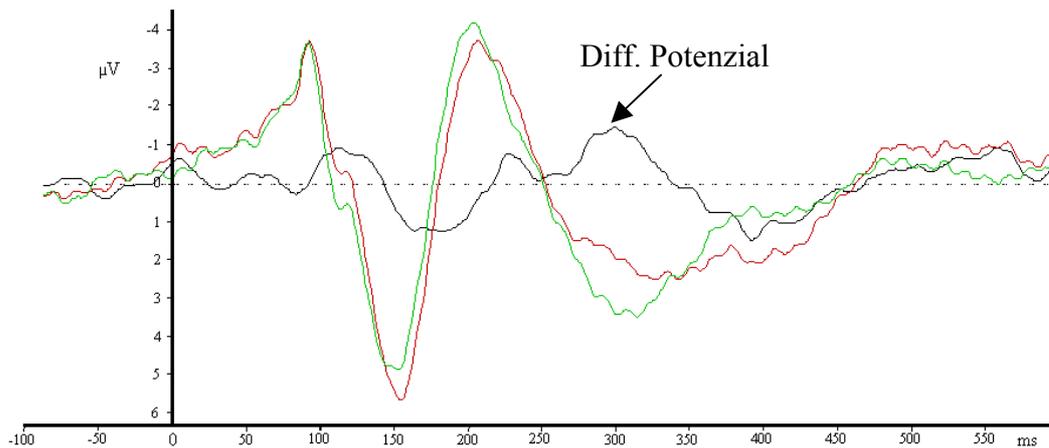


Abbildung 2.10 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an centralen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.11a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude, wie z.B. eine linkshemisphärisch kürzere Latenz des N400-Effekts in Abbildung 2.11a-b (C5a kürzer als C2), stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) C5a/Freude



b) C2/Freude

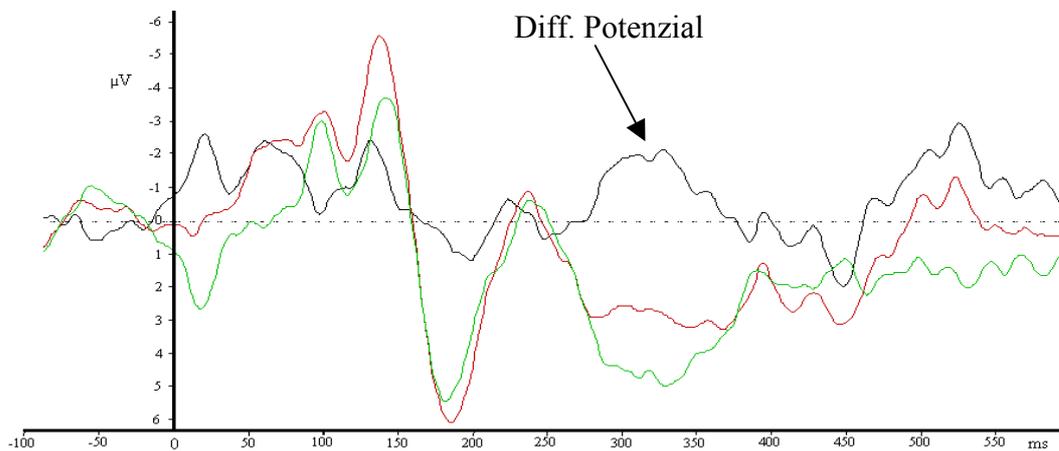
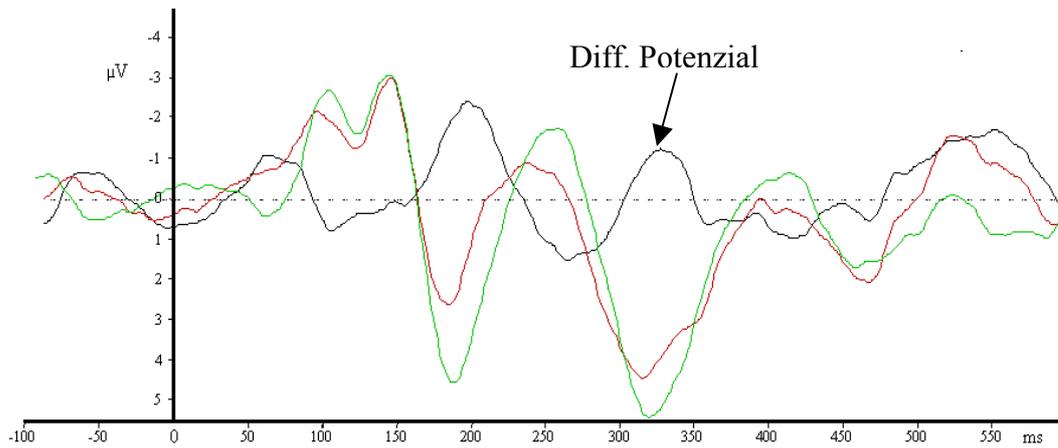


Abbildung 2.11a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) C1/Ärger



d) C2/Ärger

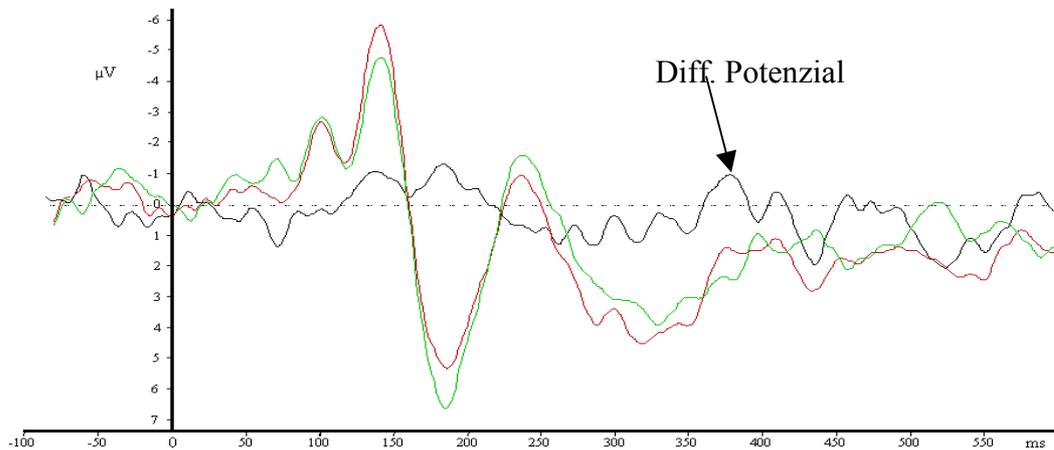


Abbildung 2.11c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

Centroparietal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 298 ms bis 345 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 75.188$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte kein signifikanter Haupteffekt oder Interaktionseffekt gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(3.0/50.1) = 16.291$; $p < 0.0001$. An den Elektroden TP9a/TP10a zeigten sich im Vergleich zu allen anderen Elektroden mit Ausnahme der Elektroden T7/T8 und TP7/TP8 die niedrigsten Amplituden. Die abgeleiteten Amplituden an den Elektroden T7a/T8a und TP7/TP8 waren signifikant kleiner als die Amplituden an den Elektroden CP5a/CP6a, CP3/CP4, CP3a/CP4a, CP1/CP2 sowie CP1a/CP2a. Alle weiteren Elektroden unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Weitere Haupt- bzw. Interaktionseffekte wurden nicht gefunden. In der Abbildung 2.12 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.13a bis 2.13d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

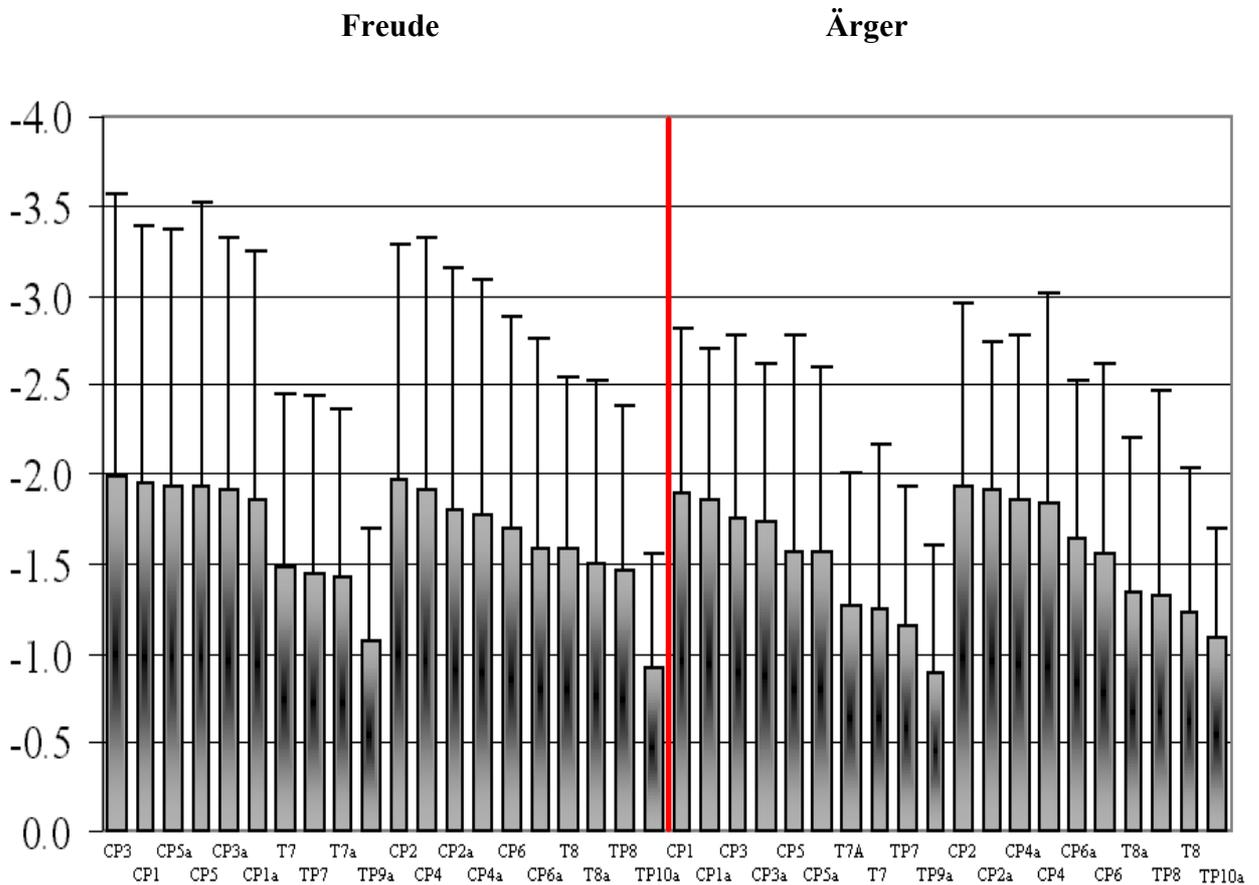
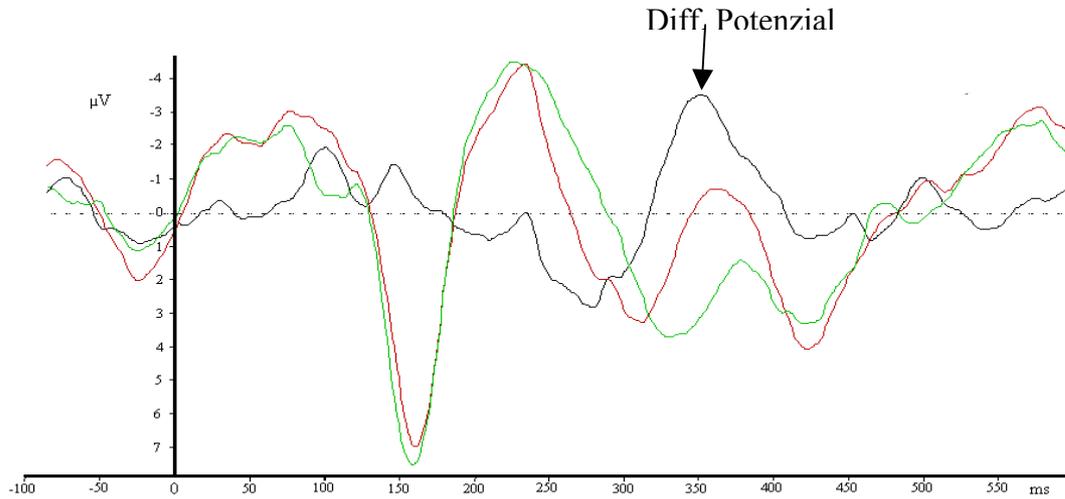


Abbildung 2.12 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an centroparietalen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.13a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) CP3/Freude



b) CP2/Freude

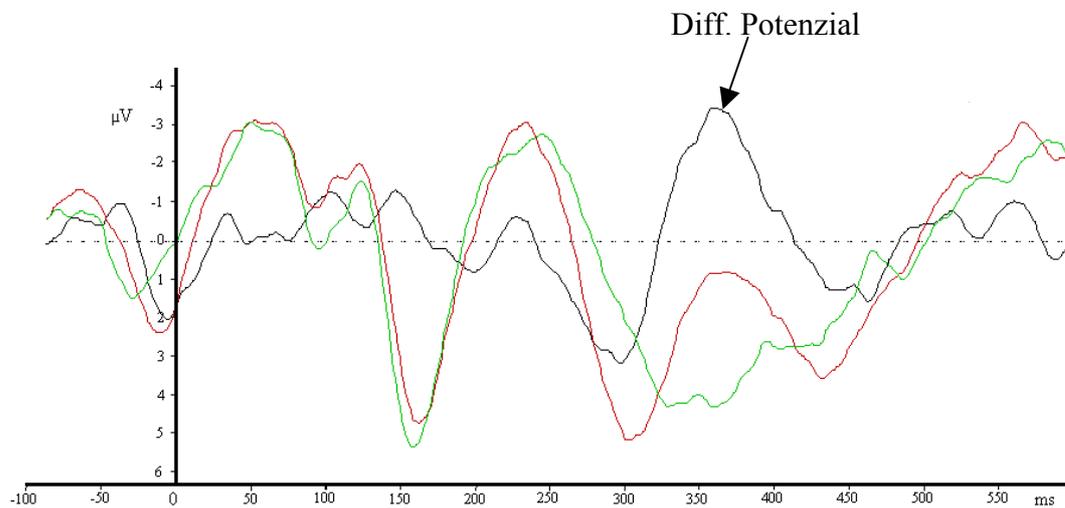
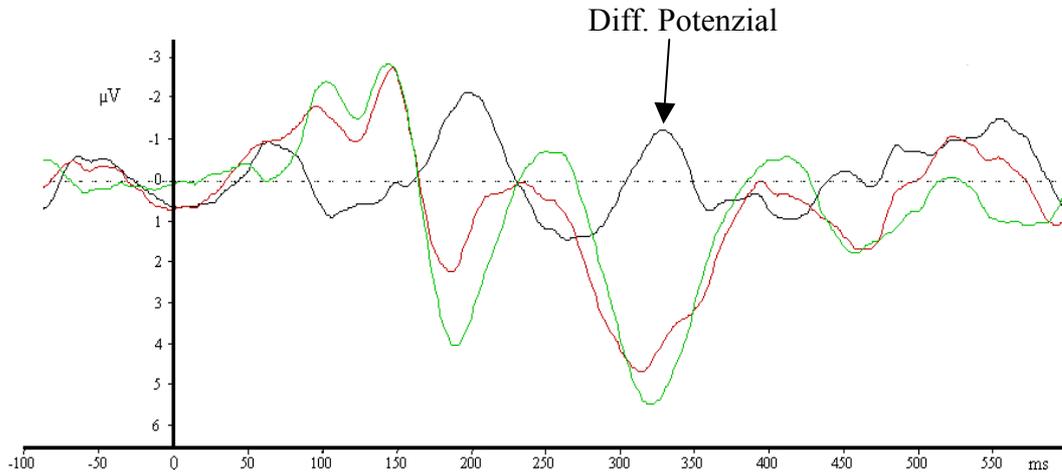


Abbildung 2.13a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) CP1/Ärger



d) CP2/Ärger

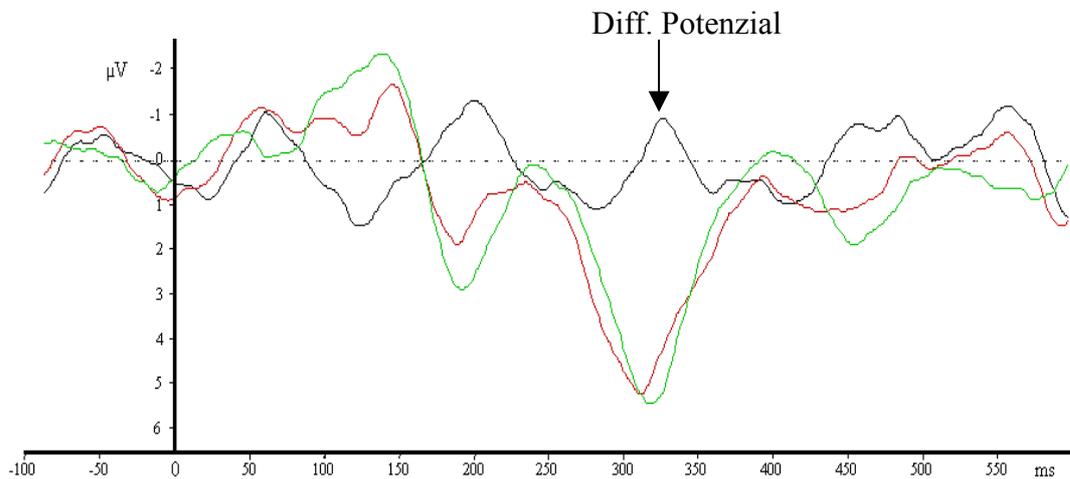


Abbildung 2.13c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

Parietal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 295 ms bis 339 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 82.835$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte kein signifikanter Haupteffekt oder Interaktionseffekt gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(2.7/47.3) = 11.478$; $p < 0.0001$. An den Elektroden P9/P10 zeigten sich im Vergleich zu allen anderen Elektroden mit Ausnahme der Elektroden P9a/P10a, P7a/P8a und P5a/P6a die niedrigsten Amplituden. Die abgeleiteten Amplituden an den Elektroden P9a/P10a waren signifikant kleiner als die Amplituden an den Elektroden P5/P6, P5a/P6a, P3/P4, P1/P2 sowie P1a/P2a. Die Elektroden P5/P6, P5a/P6a, P3/P4, P1/P2 und P1a/P2a unterschieden sich hinsichtlich ihrer Amplituden nicht signifikant voneinander. Des Weiteren zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt für die Faktoren „Emotion“ * „Elektrode“, $F(3.7/64.2) = 3.153$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests ergaben signifikant höhere Amplituden für die Emotion „Ärger“ im Vergleich zur Emotion „Freude“ an den Elektroden P1/P2, $t(35) = 2.044$; $p < 0.05$ und den Elektroden P1a/P2a, $t(35) = 3.240$; $p < 0.05$. In der Abbildung 2.14 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.15a bis 2.15d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

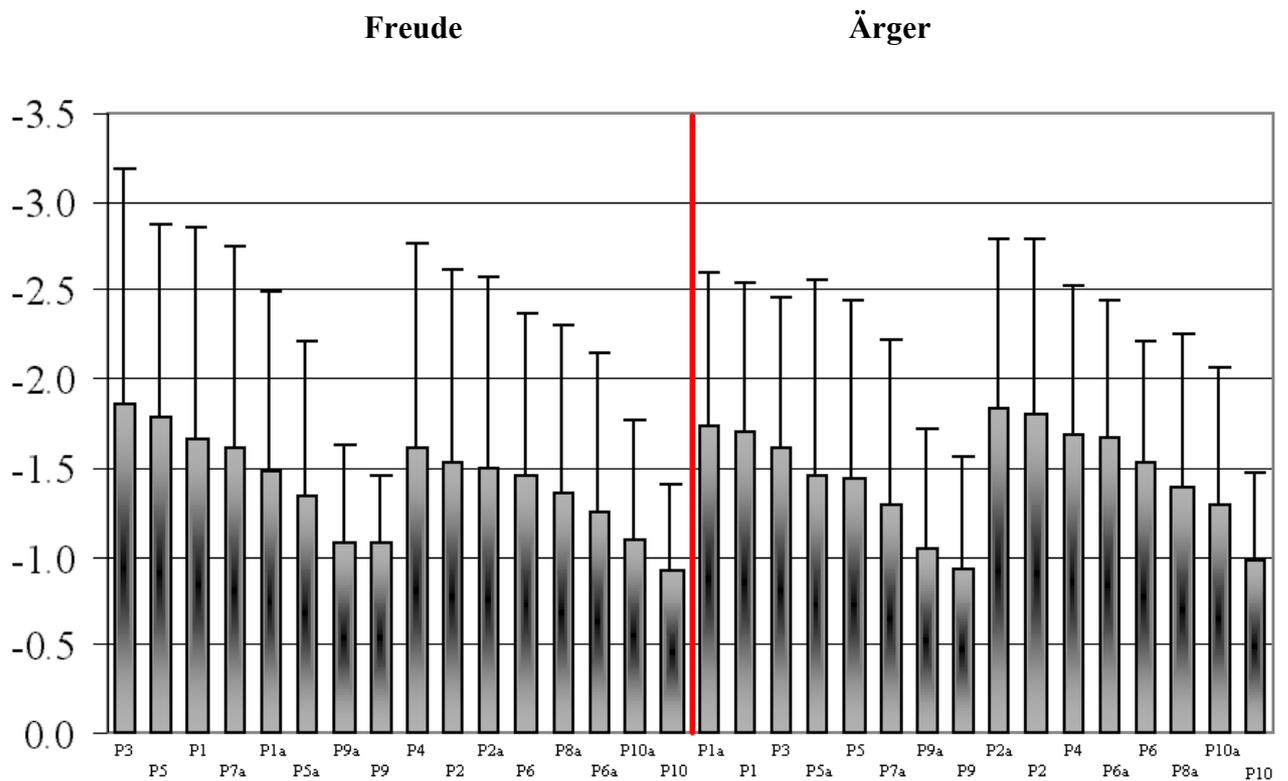
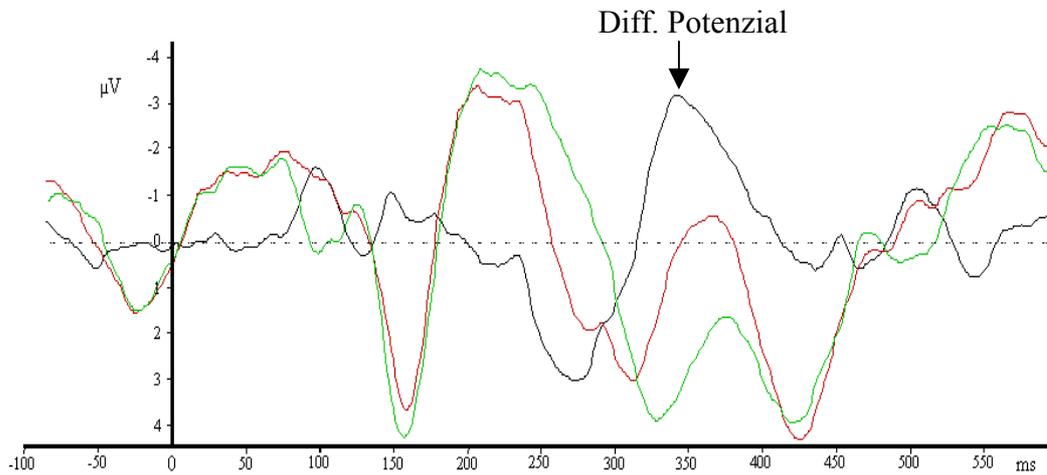


Abbildung 2.14 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an parietalen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.15a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) P3/Freude



b) P4/Freude

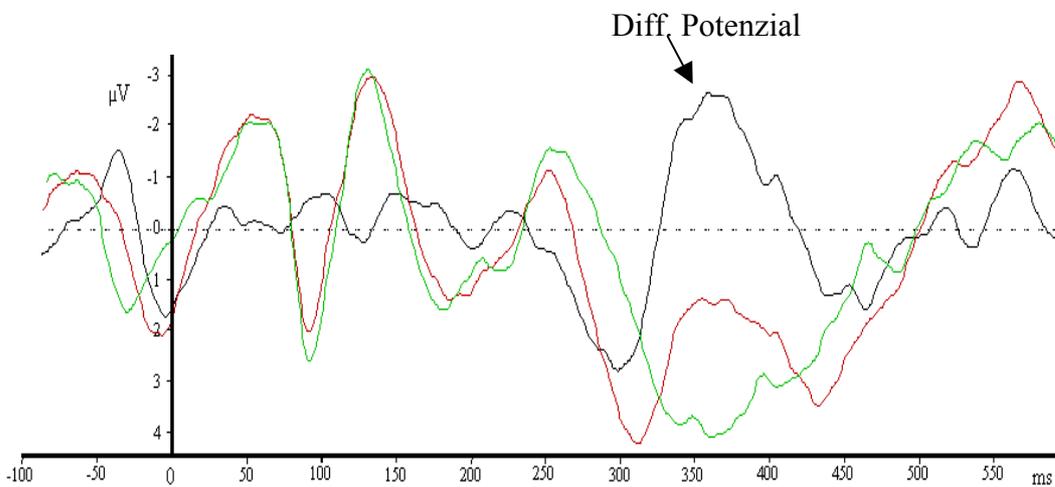
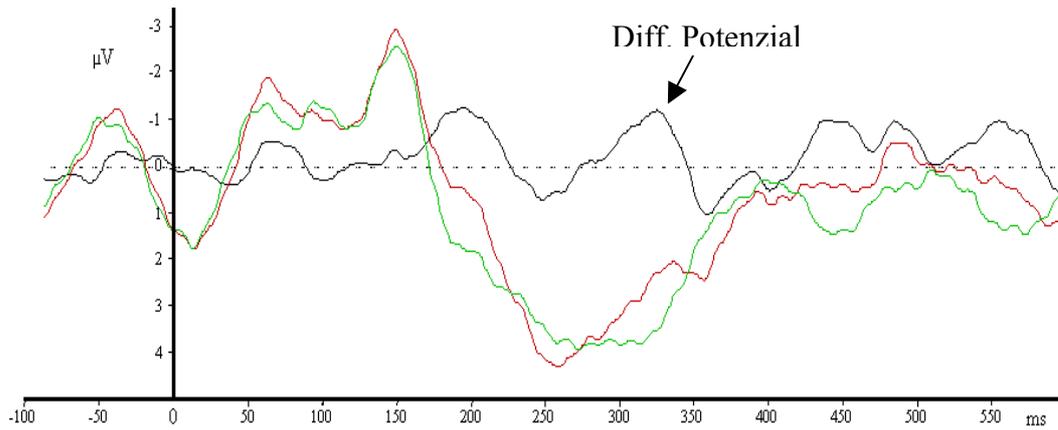


Abbildung 2.15a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) P1a/Ärger



d) P2a/Ärger

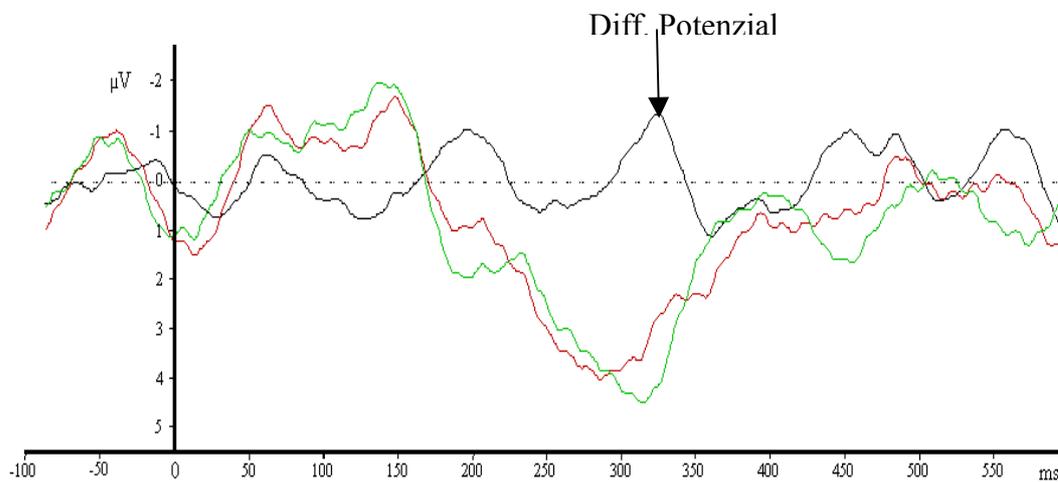


Abbildung 2.15c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

Occipital

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 288 ms bis 332 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 86.758$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte ein signifikanter Haupteffekt gefunden werden $F(4.4/75.0) = 3.343$; $p < 0.05$. Dabei zeigte sich eine signifikant kürzere Latenz an der Elektrode O10 im Vergleich zur Elektrode PO4.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(3.5/59.8) = 5.540$; $p < 0.0001$. An der Elektrode PO3 zeigte sich im Vergleich zu den Elektroden PO9, O9, und O1 die höchste Amplitude, unabhängig von der Emotion. Weitere Haupt- bzw. Interaktionseffekte wurden nicht gefunden. In der Abbildung 2.16 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.17a bis 2.17d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

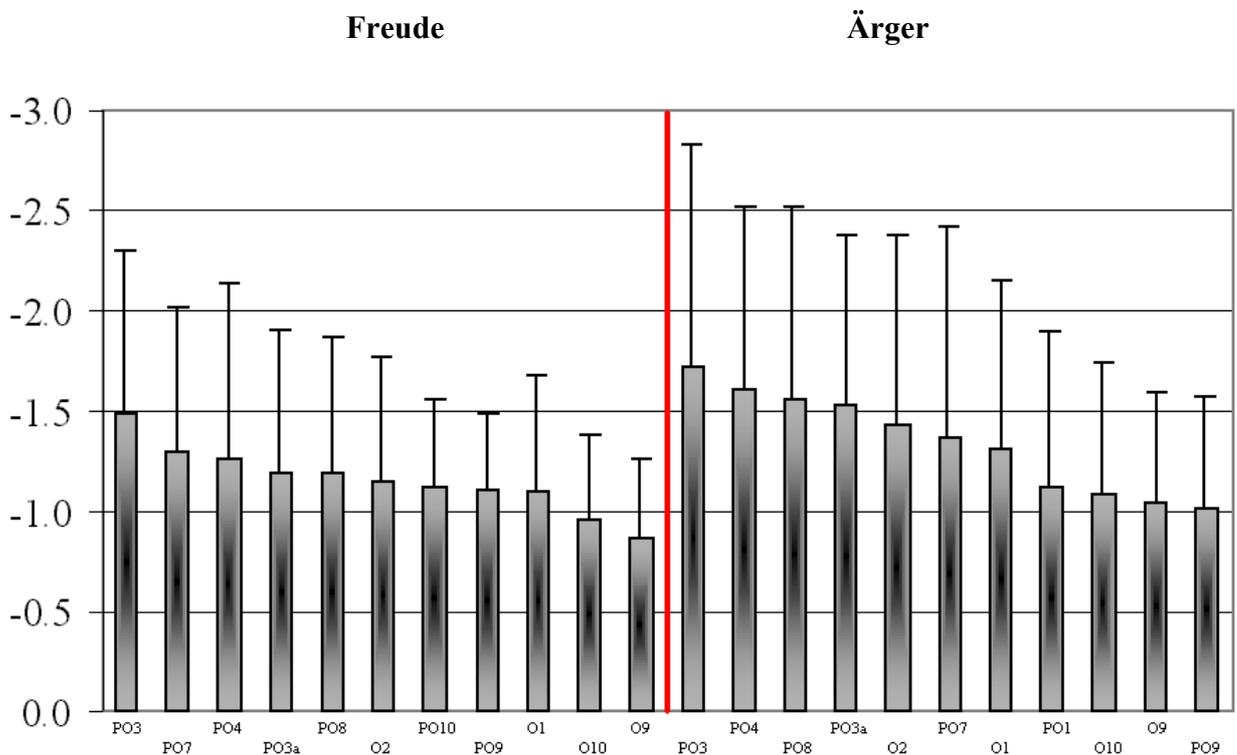
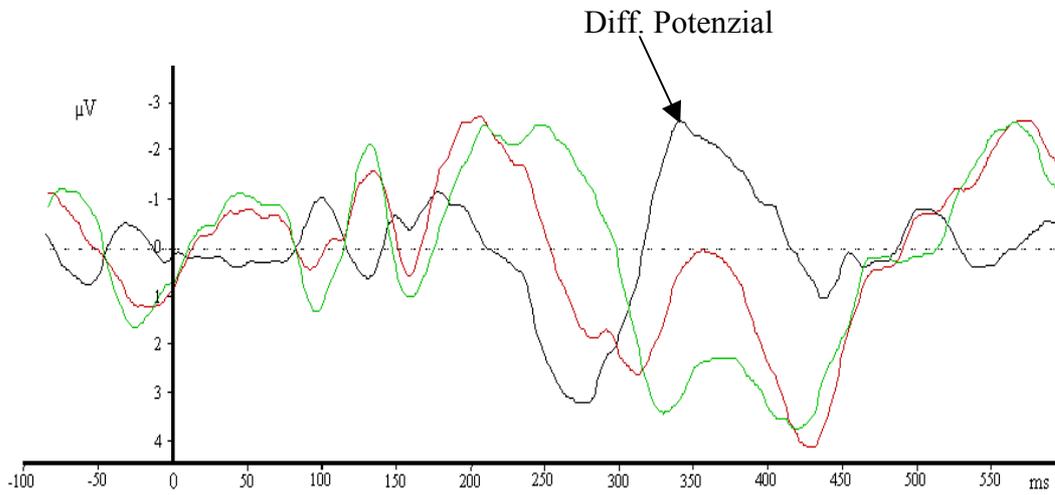


Abbildung 2.16 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an occipitalen Elektroden

Bei den in Abbildung 2.17a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. Augenscheinliche Effekte in der Latenz oder der Amplitude, wie z.B. eine linkshemisphärisch größere Ausprägung des N400-Effekts in Abbildung 2.17a-b (PO3 größer als PO8), stimmen daher nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 1

a) PO3/Freude



b) PO8/Freude

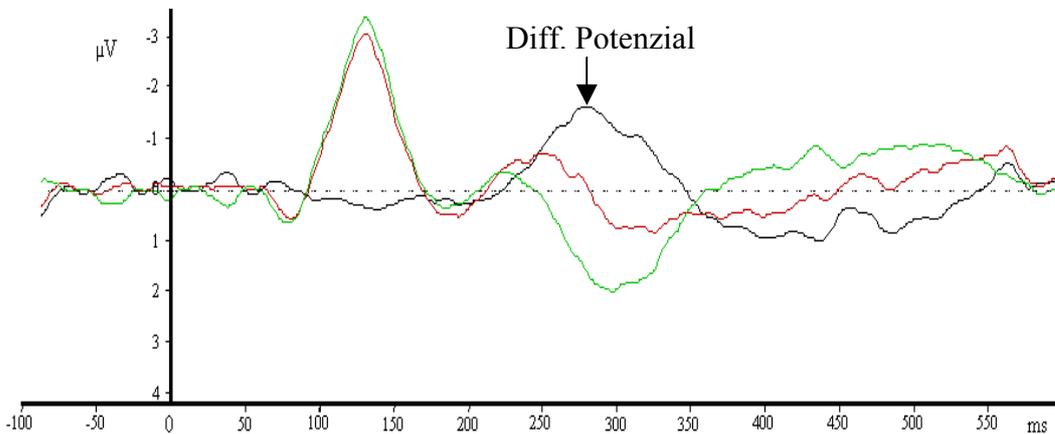
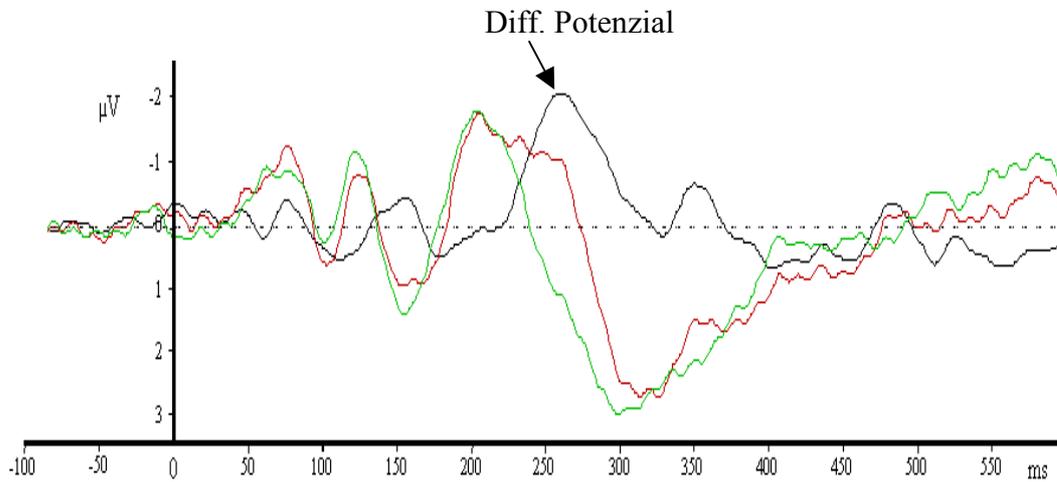


Abbildung 2.17a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) PO3/Ärger



d) PO8/Ärger

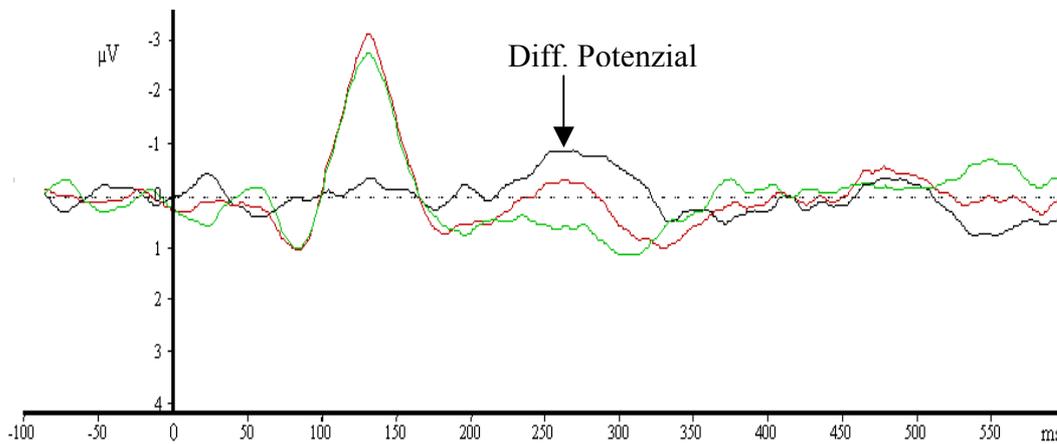


Abbildung 2.17c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Ärger“ abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

Midline

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 301 ms bis 340 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 105.210$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte kein signifikanter Haupteffekt oder Interaktionseffekt gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ $F(2.2/38.1) = 13.965$; $p < 0.0001$. An der Elektrode Oz zeigte sich unabhängig von der Emotion eine signifikant kleinere Amplitude als an allen anderen Elektroden. Die Elektrode POz zeigte ebenfalls signifikant kleinere Amplituden im Vergleich zu allen anderen Elektroden, mit Ausnahme der Elektrode Pz. Die Amplitude an der Elektrode AFz war signifikant kleiner als die Amplitude an der Elektrode Fz, die signifikant größer war im Vergleich zu den Elektroden Pz, POz und Oz. Weitere Effekte konnten nicht gefunden werden. In der Abbildung 2.18 sind die mittleren Amplituden und Standardabweichungen einzelner Elektroden dargestellt. In den Abbildungen 2.19a bis 2.19d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

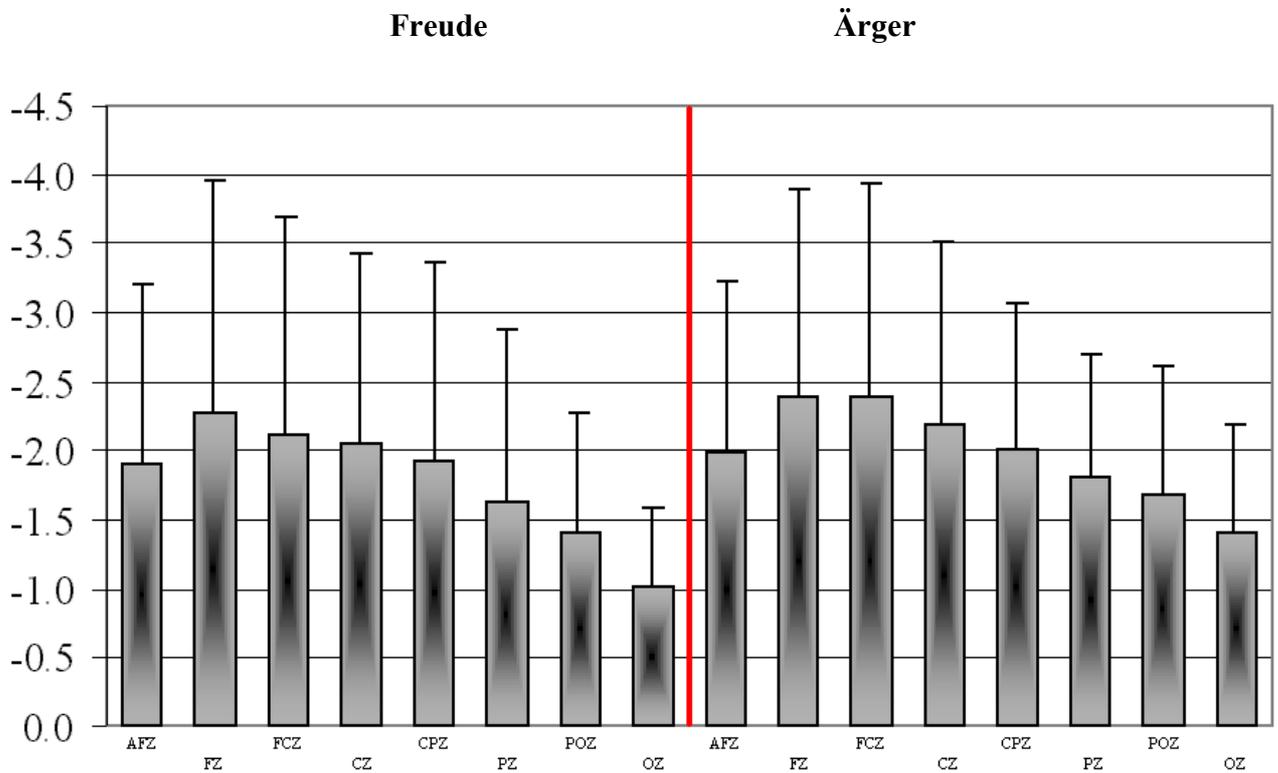
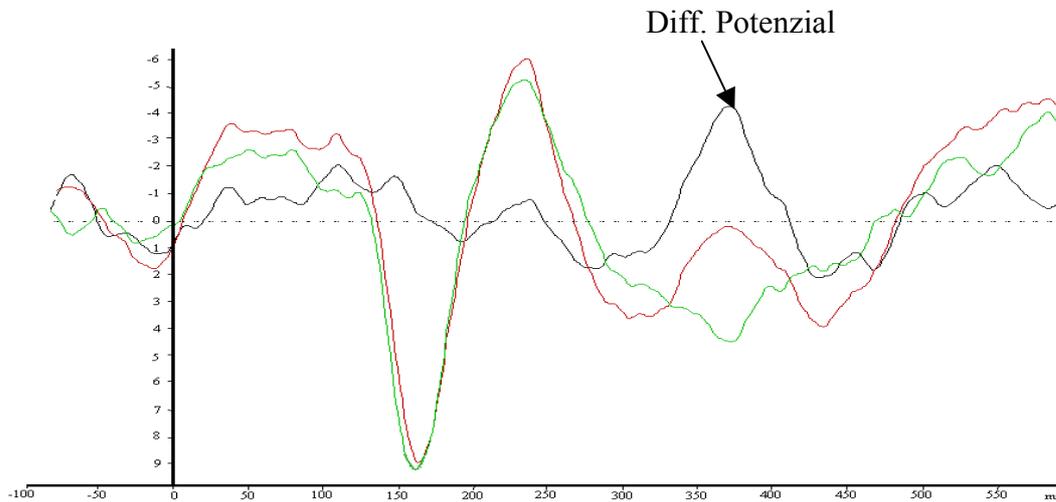


Abbildung 2.18 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) an midline Elektroden

Bei den in Abbildung 2.19a-d dargestellten evozierten Potenzialen handelt es sich um Ableitungen an exemplarisch ausgewählten Versuchspersonen. Die dargestellten Kurven wurden so gewählt, dass das Differenzpotenzial und der N400-Effekt deutlich ausgeprägt zu erkennen sind. In Abbildung 2.19a-b ist eine größere Ausprägung des Effekts an der Elektrode Fz im Vergleich zu den in Abbildung 2.19c-d dargestellten, an der Elektrode Oz abgeleiteten Potenzialen, sichtbar.

Ergebnisse Experiment 1

a) Fz/Freude



b) Fz/Ärger

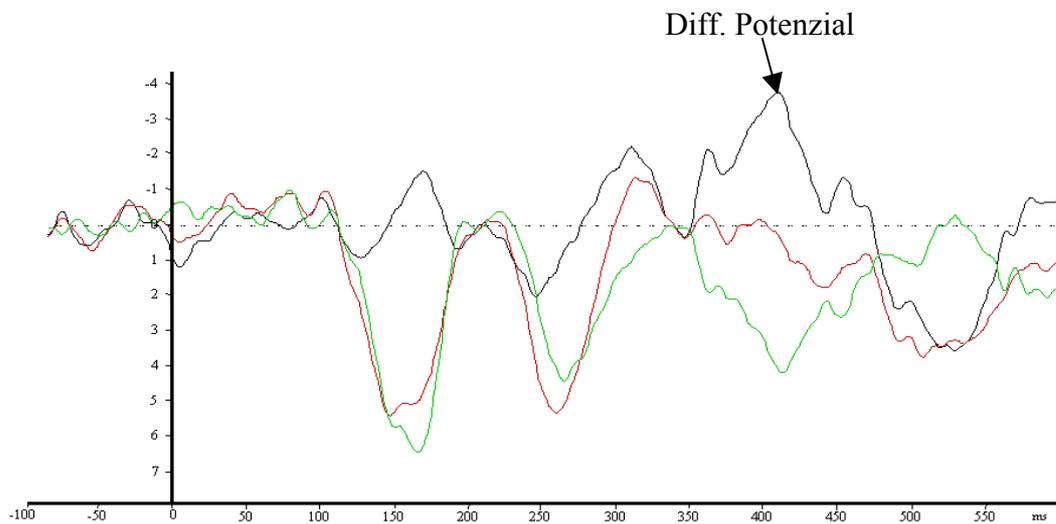
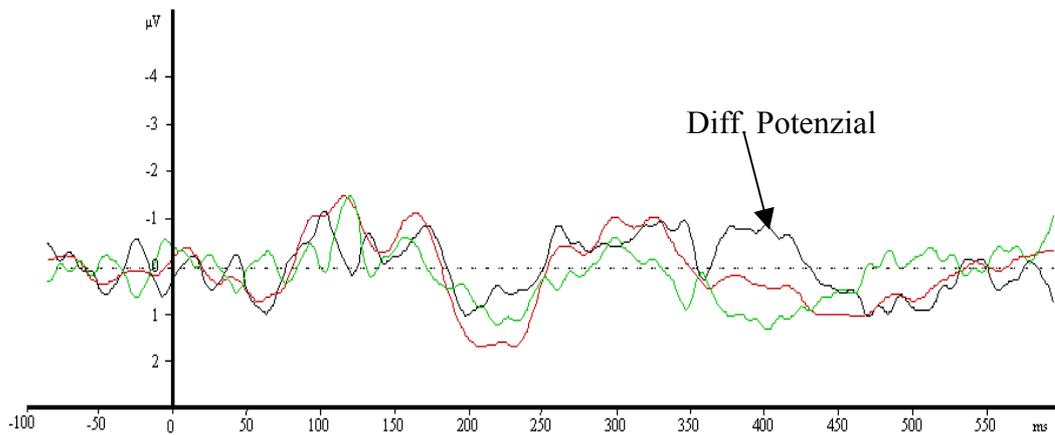


Abbildung 2.19a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ (a) und „Ärger“ (b) abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 1

c) Oz/Freude



d) Oz/Ärger

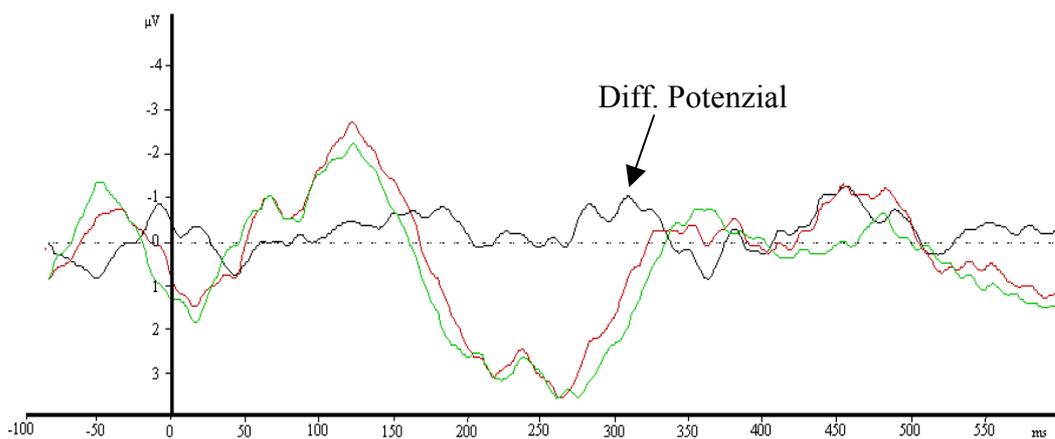


Abbildung 2.19c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung für die Emotion „Freude“ (c) und „Ärger“ (d) abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 1

Nach der statistischen Auswertung der evozierten Potenziale für einzelne Hirnbereiche konnte ein N400-Effekt in einem Zeitfenster von 270 ms bis 350 ms nach Darbietung eines inkongruenten Gesichtes beobachtet werden. Dabei wurde der Effekt für alle Elektroden einzeln berechnet. In einem nächsten Schritt wurde der Faktor „Areal“ in die varianzanalytische Berechnung aufgenommen, um die Hypothese zu überprüfen, dass der N400-Effekt eine deutlichere Ausprägung in frontalen Bereichen im Vergleich zu posterioren Hirnbereichen aufweist. In diese Analyse gingen die über alle Elektroden gemittelten Amplitudenwerte der einzelnen Bereiche ein.

Latenz: Für die Latenzen konnte ein signifikanter Interaktionseffekt für die Faktoren „Areal“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(2.7/13.6) = 7.447$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests ergaben kürzere Latenzen für die Emotion „Ärger“ an präfrontalen Elektroden, $t(11) = 4.592$; $p < 0.05$ und an frontalen Elektroden, $t(19) = 3.085$; $p < 0.05$. Dagegen waren die Latenzen für die Emotion „Freude“ kürzer an centralen Elektroden, $t(11) = -3.50$; $p < 0.05$ und an centroparietalen Elektroden, $t(19) = -1.442$; $p < 0.05$.

Amplitudenmaß: Für den Faktor „Areal“ konnte ein signifikanter Haupteffekt gefunden werden, $F(1.6/8.1) = 6.629$; $p < 0.05$. Die gemittelten Amplituden an präfrontalen und an frontalen Elektroden waren signifikant größer als in den posterioren Bereichen centroparietal, parietal und occipital. Des Weiteren konnte ein signifikanter Interaktionseffekt für die Faktoren „Areal“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(2.3/11.5) = 4.466$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests zeigten größere Amplituden für die Emotion „Freude“ an präfrontalen Elektroden, $t(11) = -5.172$; $p < 0.0001$ und an centroparietalen Elektroden, $t(19) = -3.725$; $p < 0.05$. In den weiteren Bereichen konnten keine Unterschiede zwischen den Emotionen gefunden werden. Ein weiterer signifikanter Interaktionseffekt wurde für die Faktoren „Emotion“ * „Hemisphäre“ gefunden, $F(1.0/5.0) = 20.769$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich über alle Bereiche gemittelt rechtshemisphärisch größere Amplituden für die Emotion „Ärger“. In der Abbildung 2.20 werden die mittleren Amplituden und Standardabweichungen für die einzelnen Areale dargestellt.

Ergebnisse Experiment 1

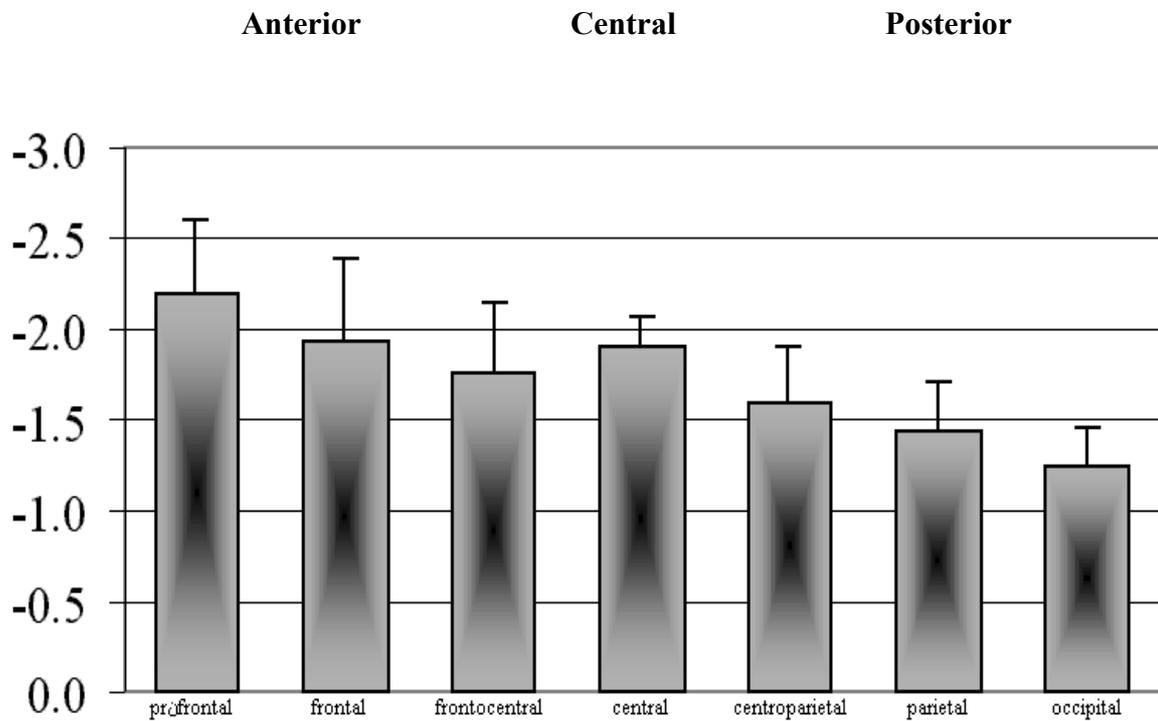


Abbildung 2.20 Mittelwerte und Standardabweichungen (in μV) für einzelne Hirnbereiche von anterior nach posterior

Ergebnisse Experiment 1

2.4.2 Die gesichtsspezifische N170: Amplituden und Latenzen

In Übereinstimmung mit den in der Einleitung beschriebenen ERP-Studien konnte in der vorliegenden Untersuchung eine N170-Komponente in einem Zeitfenster von 140 ms bis 200 ms nach Darbietung eines schematischen Gesichtes an folgenden posterioren Elektroden beobachtet werden: P1/P2, P1a/P2a, P3/P4, P5/P6, P5a/P6a, P7/P8, P7a/P8a, P9/P10, P9a/P10a, PO3/PO4 und PO7/PO8. Für die statistische Analyse der Auswirkung des emotionalen Gesichtsausdruckes auf die N170 wurden für den Faktor „Emotion“ die Bedingungen zusammengefasst, in denen ein identischer Gesichtsausdruck dargeboten wurde. Für die Emotion „Freude“ gingen somit die Freude-Match-Bedingung und die Ärger-Mismatch-Bedingung gemeinsam in die Berechnung ein, für die Emotion „Ärger“ die Ärger-Match-Bedingung sowie die Freude-Mismatch-Bedingung. Alle Amplituden, Latenzen sowie deren Standardabweichungen für jede Bedingung werden in Anhang A in den Tabellen A10 bis A13 dargestellt.

Latenzen: Für die Latenzen der N170 konnten keine signifikanten Haupt- oder Interaktionseffekte gefunden werden. Unabhängig vom emotionalen Ausdruck lagen die Latenzen an linkshemisphärischen Elektroden bei 168 ms, an rechtshemisphärischen Elektroden bei 166 ms.

Amplituden: Ein signifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(2.7/46.1) = 4.244$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich die Amplituden an den Elektroden P5a/P6a, P9a/P10a und PO7/PO8 größer im Vergleich zu den Elektroden P9/P10. An den Elektroden P5a/P6a zeigten sich die größten Amplituden. Ein weiterer signifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Hemisphäre“ gefunden werden, $F(1/17) = 5.709$; $p < 0.05$. Die abgeleiteten Amplituden an den rechtshemisphärischen Elektroden waren größer als an den linkshemisphärischen Elektroden. Für den Faktor „Emotion“, der sich auf den emotionalen Ausdruck bezog, konnte ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt gefunden werden, $F(1/17) = 6.473$; $p < 0.05$. Dabei waren die

Ergebnisse Experiment 1

Amplituden als Reaktion auf ärgerliche Gesichtsausdrücke größer im Vergleich zu den freudigen Gesichtsausdrücken. Dieser Effekt zeigte sich an den rechtshemisphärischen Elektroden P8 und P10a und an der linkshemisphärischen Elektrode P1. Abbildung 2.21 stellt die mittleren Amplituden auf die emotionalen Gesichtsausdrücke dar. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf den ärgerlichen Gesichtsausdruck (Ärger/Match und Freude/Mismatch) dar, die braunen Säulen geben die Werte als Reaktion auf den freudigen Gesichtsausdruck (Freude/Match und Ärger/Mismatch) wieder. In den Abbildungen 2.22a bis 2.22d werden N170-Komponenten exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

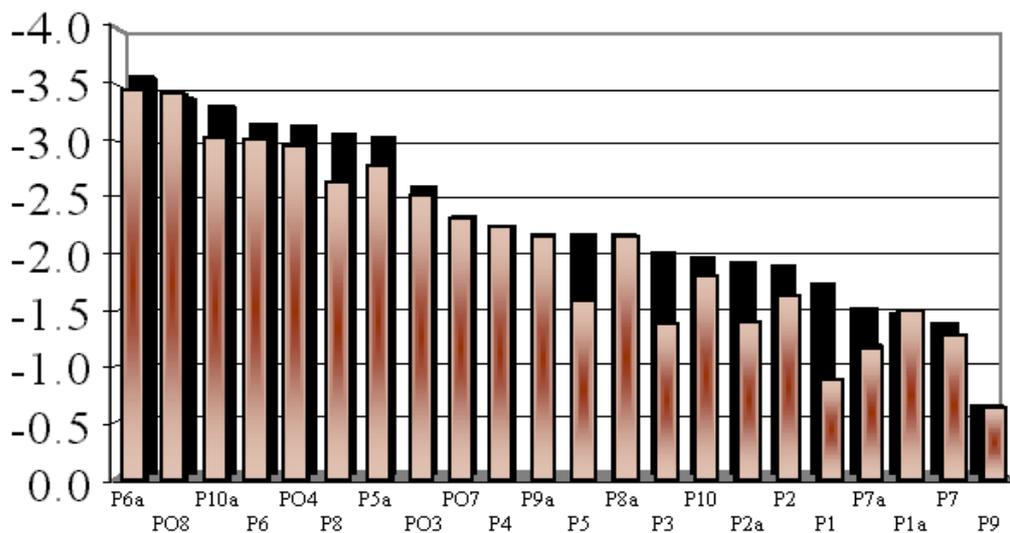
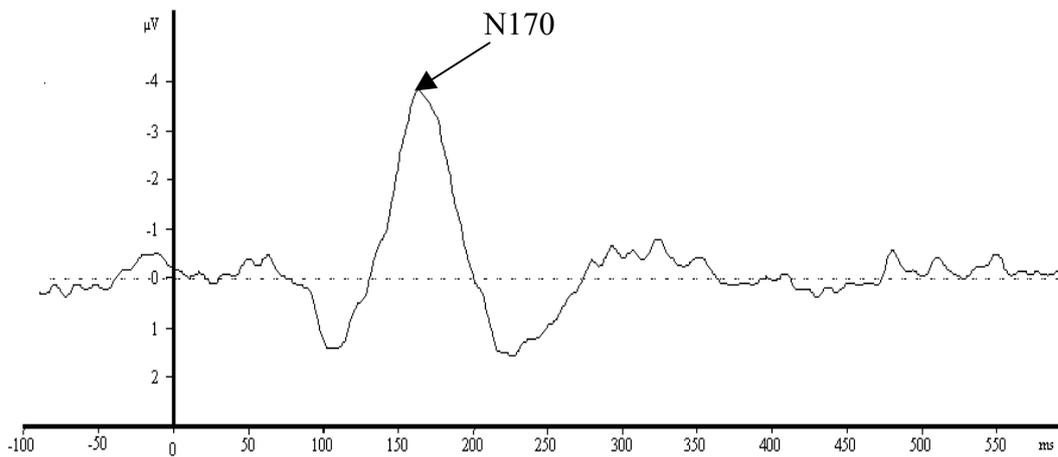


Abbildung 2.21 Mittelwerte einzelner Elektroden zusammengefasst nach Gesichtsausdrücken: - schwarze Säulen = ärgerliches Gesicht; - braune Säulen = freudiges Gesicht

Ergebnisse Experiment 1

a) PO8/Freude-Match



b) PO6a/Ärger-Mismatch

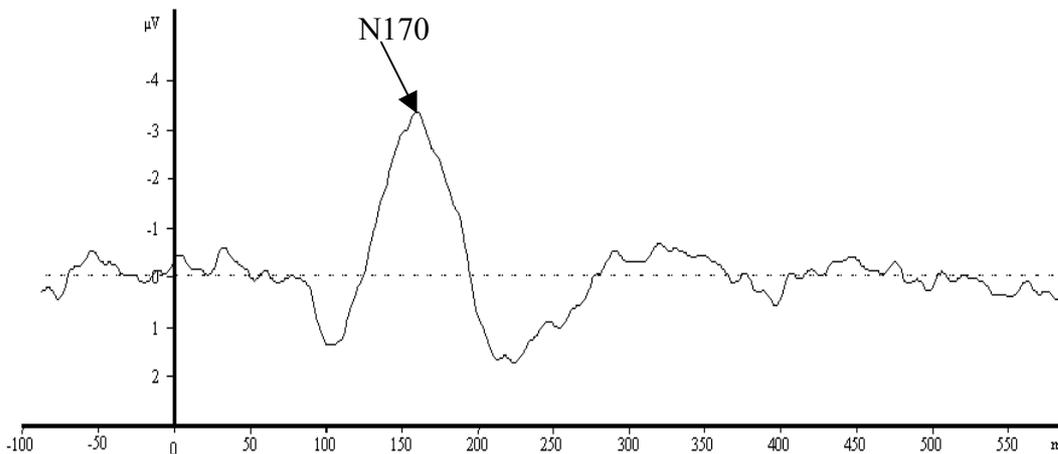
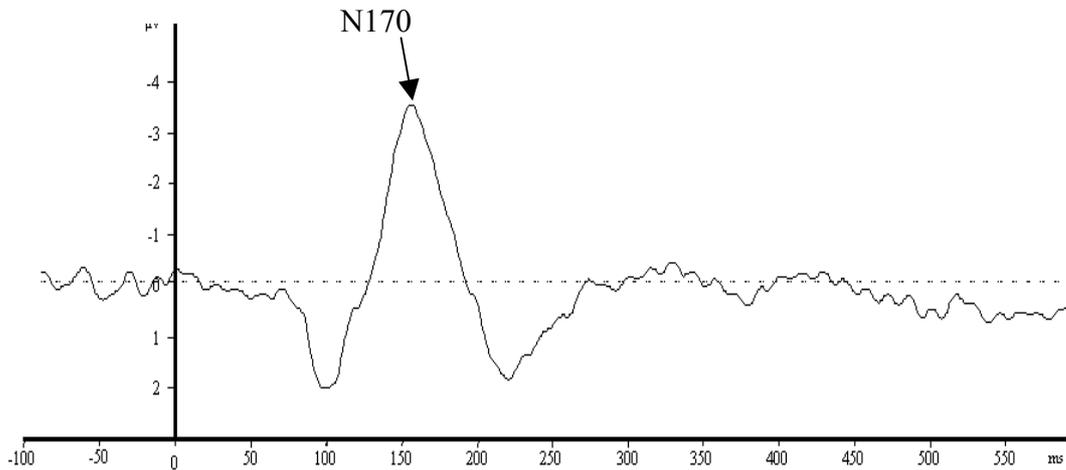


Abbildung 2.22a-b Bei den dargestellten Potenzialen handelt es sich um die N170, die auf Gesichter die die Emotion „Freude“ ausdrückten, abgeleitet wurde.

Ergebnisse Experiment 1

c) PO8/Ärger-Match



d) P6a/Freude-Mismatch

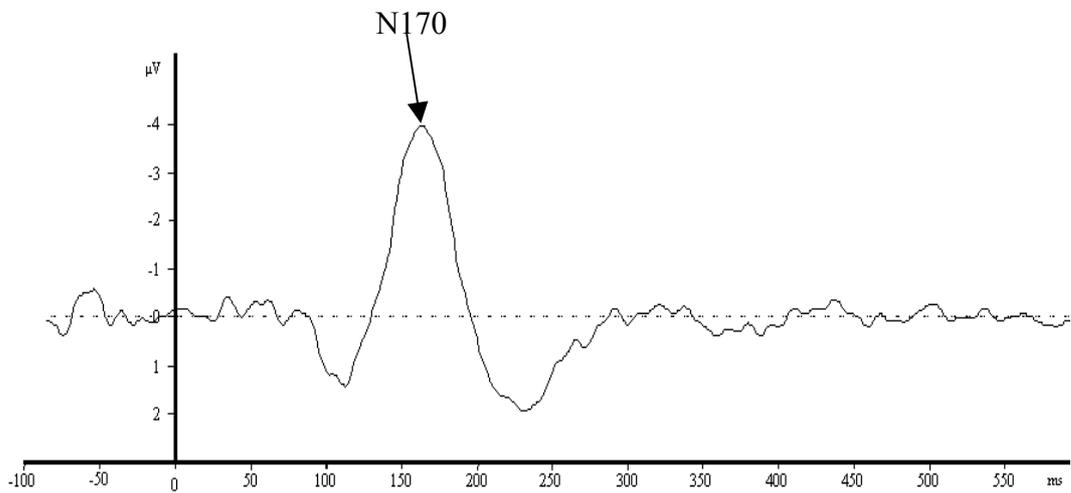


Abbildung 2.22c-d Bei den dargestellten Potenzialen handelt es sich um die N170, die auf Gesichter die die Emotion „Ärger“ ausdrückten, abgeleitet wurde.

Diskussion Experiment 1

2.5 Diskussion Experiment 1

Ziel des ersten Experimentes der vorliegenden Untersuchung war es, die Modulation eines gesichtsspezifischen evozierten Potenziales durch unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke zu untersuchen. Bei dem gesichtsspezifischen Potenzial handelt es sich um eine negative Komponente im EEG, die nach ca. 170 ms nach Beginn der Darbietung eines Gesichtes abzuleiten ist (N170). Die Gesichtsspezifität dieser Komponente wurde in verschiedenen Studien (vgl. Abschnitt 1.3.1) dadurch festgestellt, dass sich dieses Potenzial nur auf Gesichterstimuli ableiten ließ, nicht aber auf andere Gegenstände, wie beispielsweise Häuser oder Autos. Des Weiteren wurden in diesen Studien unterschiedliche Aspekte der Gesichterverarbeitung und deren Einfluss auf die N170 untersucht.

Kognitive Modelle der Gesichterverarbeitung gehen davon aus, dass die Wahrnehmung eines Reizes als ein Gesicht in einem ersten Schritt nur durch die strukturellen Eigenschaften des Reizes hervorgerufen wird. Weitere Informationen, die aus einem Gesicht zu extrahieren sind, beispielsweise die ausgedrückte Emotion oder die Identität der Person, werden in diesen Modellen in späteren Schritten parallel, aber unabhängig voneinander verarbeitet (vgl. Abschnitt 1.1). Dieser Annahme folgend sollten sich in der N170-Komponente keinerlei Variationen dieser später verarbeiteten Informationen in Form von unterschiedlichen Lokalisationen, Amplituden oder Latenzen zeigen. In den in Abschnitt 1.3.1 beschriebenen Untersuchungen zeigte sich jedoch, dass es zu Modulationen der N170 durch Variation beispielsweise des Bekanntheitsgrades des Gesichtes kommen kann, was sich in einer rechtshemisphärischen Habituation auf wiederholt dargebotene Gesichter zeigte (z.B. Campanella et al., 2000). Ein weiterer Faktor, dessen Einfluss auf die N170 untersucht wurde, ist der emotionale Ausdruck. Eimer (2001) fand keine Unterschiede in der Ausprägung dieser Komponente auf unterschiedliche Gesichtsausdrücke, wogegen Boucsein et al. (2001) Amplitudenunterschiede, hervorgerufen durch unterschiedliche Gesichtsausdrücke, registrieren konnten.

Diskussion Experiment 1

Die erste in Experiment 1 zu untersuchende Hypothese war, ob es durch die Darbietung einfacher schematischer Gesichter zur Auslösung einer N170-Komponente an posterioren Elektroden in Bereichen des extrastriären Cortex kommt. Eine N170 als Reaktion auf schematische Gesichter konnte bereits von Boucsein et al. (2001) und Sagiv und Bentin (2001) gezeigt werden. Die Auswertung der evozierten Hirnaktivität an posterioren Elektroden erbrachte in der vorliegenden Arbeit eine negative Komponente mit einer durchschnittlichen Latenz von ca. 160 ms nach Gesichtsdarbietung. Diese Komponente ließ sich an mehreren Elektroden beider Hemisphären in unterschiedlicher Ausprägung finden. Die Lokalisation an parietooccipitalen Elektroden lässt sich mit neuroanatomischen Befunden zur Verarbeitung von Gesichtern in Einklang bringen und wurde schon in verschiedenen Studien (z.B. Sagiv und Bentin, 2001; Bentin und Deouell, 2000) beschrieben. Eine rechtshemisphärische Dominanz, wie sie beispielsweise von George et al. (1996) und Sagiv und Bentin (2001) beschrieben wurde, konnte ebenfalls mit einer größeren Ausprägung der N170 an rechtshemisphärischen Elektroden gefunden werden. Eine Beteiligung der linken Hemisphäre an der Verarbeitung von Gesichtern konnte dadurch gezeigt werden, dass sich eine N170 auch an linkshemisphärischen Elektroden ableiten ließ. Hypothese 1, in der die Auslösung einer N170 als Reaktion auf die Darbietung einfacher schematischer Gesichter angenommen wird, konnte somit in dieser Untersuchung bestätigt werden, was die weitere Verwendung dieser Stimuli zur Untersuchung der N170-Komponente hinsichtlich einer semantischen Verarbeitung der Gesichtsausdrücke erlaubt.

Die Analyse von emotionalen Gesichtsausdrücken mit evozierten Potenzialen wird dadurch erschwert, dass sich unterschiedliche Ausdrücke nur durch Veränderung interner Merkmale (z.B. Augen, Nase, Mund) eines Gesichtes darstellen lassen. Zur Darstellung eines fröhlichen Ausdrucks werden z.B. die Mundwinkel nach oben gerichtet, zur Darstellung eines traurigen oder ärgerlichen Ausdrucks dagegen nach unten. Somit handelt es sich bei Gesichtern mit unterschiedlichen Ausdrücken nicht um identische Stimuli. Dadurch wird die Interpretation von unterschiedlichen Ausprägungen im evozierten Potenzial erschwert, da sie durch die Verarbeitung der verschiedenen

Diskussion Experiment 1

Ausdrücke bedingt sein können, aber auch durch die unterschiedliche Orientierung der internen Merkmale. Um die Verarbeitung der emotionalen Bedeutung der Gesichter zu gewährleisten, wurde von den Versuchspersonen eine semantische Entscheidungsaufgabe verlangt. Ein emotionales Wort sollte mit einem emotionalen Gesichtsausdruck bezüglich einer Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung in der Bedeutung verglichen werden. Bei einer Nichtübereinstimmung wurde Hypothese 2 folgend ein negatives Differenzpotenzial in einem Zeitbereich von 250 ms bis 450 ms nach Darbietung des abweichenden Gesichtsausdruckes erwartet (N400-Effekt). Dieses negative Differenzpotenzial wurde ursprünglich in der Sprachforschung beschrieben und unter verschiedenen Aspekten, darunter auch Aspekte der Gesichterverarbeitung, untersucht. Die Topographie sowie die zeitliche Charakteristik dieses Effekts sind noch nicht abschließend geklärt, allerdings besteht, wie aus den unter Punkt 1.3.2 geschilderten Studien hervorgeht, Übereinstimmung in der Annahme, dass der N400-Effekt eine semantische Abweichung eines Reizes von einem vorherigen Kontext widerspiegelt. Daher wurde dieser Effekt in der hier vorliegenden Untersuchung als Indikator für die Verarbeitung der Gesichter in ihrer Bedeutung verwendet, da im Falle eines N400-Effekts bei Nichtübereinstimmung zwischen Wort und Gesichtsausdruck, dieser nur auf eine inhaltliche Verarbeitung zurückzuführen sein kann.

Die Ergebnisse bestätigen Hypothese 2, da sich bei Bildung der Differenz aus Mismatchbedingung und Matchbedingung ein signifikant von Null abweichendes negatives Potenzial zeigt. Das Zeitfenster, in dem sich die maximale Amplitude des Differenzpotenzials ableiten ließ, lag zwischen 274 ms und 350 ms. Die Topographie des gefundenen N400-Effekts wie auch der zeitliche Verlauf bestätigen Hypothese 3, da sich die größte Ausprägung des Effekts an präfrontalen Elektroden zeigt (vgl. Abbildung 2.20). Eine solche frühe frontale Mismatch-Negativierung wurde von Hamm et al. (2002) als spezifisch für eine kategoriale Verarbeitung von nonverbalen Stimuli angesehen. Die Entscheidung der Versuchspersonen, ob ein emotionaler Gesichtsausdruck in seiner Bedeutung mit einem vorangegangenen Emotionswort übereinstimmt, konnte auf dieser Ebene getroffen werden, da es sich bei den zwei verschiedenen emotionalen

Diskussion Experiment 1

Bedeutungen um zwei entgegengesetzte Valenzen handelte. So konnte beispielsweise eine Abweichung des Gesichtsausdruckes vom Emotionswort „Freude“ durch ein ärgerliches Gesicht aufgrund eines kategorialen Entscheidungsprozesses erkannt werden, ohne dass eine Zuordnung des Ausdruckes zu einer spezifischen Emotion notwendig war. Eine frontale Betonung des N400-Effekts wurde beispielsweise auch von Münte et al. (1998) bei unterschiedlicher Identität von zwei dargebotenen Gesichtern gefunden. Die Entscheidung darüber, ob zwei Gesichter hinsichtlich ihrer Identität übereinstimmen, kann bei einer Abweichung ebenfalls getroffen werden, ohne dass die exakte Identität des abweichenden Gesichtes bekannt oder erkannt sein muss. Ein ähnlicher zeitlicher Verlauf des N400-Effekts wie in Experiment 1 konnte beispielsweise von Campanella et al. (2002) bei einer kategorialen Abweichung zweier emotionaler Gesichtsausdrücke gefunden werden. Ein Hemisphäreneffekt bezüglich der Valenz der verarbeiteten Emotionen wie beispielsweise von Silberman und Weingartner (1986) postuliert, konnte bei Einbeziehung aller Elektroden einer Hemisphäre gefunden werden. Dabei zeigte sich eine rechtshemisphärische Dominanz bei Verarbeitung der Emotion „Ärger“, linkshemisphärisch war der N400-Effekt ausgeprägter für die Emotion „Freude“.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aufgrund der Ergebnisse des ersten Experimentes die Verarbeitung der Gesichtsausdrücke aufgrund ihrer emotionalen Bedeutung angenommen werden kann. Dieses Ergebnis lässt die Überprüfung von Hypothese 4 zu, in der eine Modulation der N170 durch unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke aufgrund der semantischen Bedeutung erwartet wird. Diese Hypothese konnte dadurch bestätigt werden, dass die N170-Amplitude, die sich als neuronale Reaktion auf die Darbietung ärgerlicher Gesichter zeigte, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Boucsein et al. (2001) signifikant größer war als die N170-Amplitude, die durch die Darbietung des fröhlichen Gesichtes hervorgerufen wurde. Dieser Effekt konnte an einzelnen Elektroden beider Hemisphären gefunden werden, insgesamt deutet ein Hemisphäreneffekt allerdings auf eine stärkere Beteiligung der rechten Hemisphäre hin, da sich hier die N170 stärker ausgeprägt zeigte als auf der linken Hemisphäre. Dieses

Diskussion Experiment 1

Ergebnis lässt die Interpretation zu, dass die N170 nicht nur durch die strukturelle Anordnung eines Reizes zu einem Gesicht ausgelöst wird, sondern auch durch dessen emotionalen Ausdruck.

3 Experiment 2

3.1 Überleitung und Hypothesen

Nachdem in Experiment 1 der Fokus der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen direkt auf die Verarbeitung der emotionalen Bedeutung der Gesichter gerichtet war und sich dieser Prozess anhand von evozierten Potenzialen hinsichtlich der Topographie wie auch der zeitlichen Charakteristik analysieren ließ, sollte in Experiment 2 anhand des N400-Effekts untersucht werden, wie sich die Topographie und der zeitliche Verlauf bei der Verarbeitung emotionaler Stimulusinformationen im Vergleich zu nichtemotionalen Stimulusinformationen darstellen. Um diesen Vergleich anstellen zu können, ist es notwendig, die zu vergleichenden Stimuli in ihren physikalischen Eigenschaften (z.B. Größe, Ausrichtung, Farbe) konstant zu halten und nur ihre semantische Bedeutung zu variieren. Die Darbietung unterschiedlicher Stimuli kann zu Unterschieden in der neuronalen Aktivität bezüglich des Ausmaßes wie auch der an der Verarbeitung beteiligten Gehirnstrukturen führen, so dass evtl. auftretende Unterschiede in den abgeleiteten evozierten Potenzialen nicht mit Sicherheit auf die Verarbeitung der Bedeutung der jeweiligen Stimuli zurückzuführen sind. Aus diesem Grund wurden die schon in Experiment 1 verwendeten schematischen Gesichter um eine nichtemotionale Information ergänzt, indem gleichzeitig eine Uhr mit unterschiedlichen Uhrzeiten innerhalb der schematischen Gesichter dargeboten wurde. Die Vpn bekamen in jeder Bedingung (Uhrzeitbedingung und Emotionsbedingung) exakt die selben Stimuli. Die Bedeutung der Stimuli wurde durch den Prime-Stimulus (Emotionswort oder Uhrzeit) bestimmt. Dadurch, dass die Darbietung der beiden verschiedenen Stimulusinformationen in exakt den selben Stimuli erfolgte, lassen sich mögliche Unterschiede (topographisch oder zeitlich) in den Verarbeitungsprozessen auf die unterschiedliche Bedeutung der Informationen zurückführen. Neben den Auswirkungen der Fokussierung der Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Inhalte der Stimuli bezüglich des N400-Effekts, lässt sich dieselbe Auswirkung auf die gesichtsspezifische N170 untersuchen. Die Ergebnisse des ersten Experimentes zeigen eine Modulation dieser Komponente durch die ausgedrückte

Überleitung und Hypothesen zum Experiment 2

emotionale Bedeutung des Gesichtes, wenn diese bewusst verarbeitet werden sollte. In der Untersuchung von Boucsein et al. (2001) wurde eine Modulation der gesichtsspezifischen Aktivität durch unterschiedliche Gesichtsausdrücke auch in einer passiven Aufgabenstellung gefunden, d.h. eine Verarbeitung dieser Gesichtsausdrücke wurde nicht explizit verlangt. Der in Experiment 1 gefundene und semantisches Priming reflektierende N400-Effekt bietet nun die Möglichkeit, die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf eine Stimulusinformation zu fokussieren, die nicht gesichtsspezifisch ist, nämlich die Uhrzeit. Dazu wurden neben den emotionalen Wörtern verbal ausgedrückte Uhrzeiten als Prime-Stimuli dargeboten. Diese konnten, wie die emotionalen Wörter auch, in ihrer Bedeutung mit den Probe-Stimuli übereinstimmen, oder nicht. In der Studie von Bentin et al. (2002) konnte gezeigt werden, dass eine N170 auch dann auftrat, wenn einfache graphische Elemente nicht als Gesicht, aber in einem Gesichtskontext dargeboten werden. Für Experiment 2 bedeutet dies, dass sich die N170 auch in den Versuchsdurchgängen zeigen sollte, in denen der Prime ein Vergleich der Uhrzeiten verlangt und das Gesicht lediglich als „Hintergrundinformation“ verarbeitet wird.

Ausgehend von den Ergebnissen aus Experiment 1, in denen semantisches Priming gezeigt werden konnte, ergibt sich bezüglich der Verarbeitung der Uhrzeiten die **Hypothese 1: Ein Mismatch zwischen einer wörtlich ausgedrückten Uhrzeit und einer graphisch dargestellten Uhrzeit führt zu einer höheren Negativierung als in der entsprechenden Match-Bedingung, daraus resultiert ein signifikant von Null abweichendes Differenzpotenzial (N400-Effekt) gebildet aus Mismatch-Bedingung minus Match-Bedingung.**

Hypothese 2

Der N400-Effekt, der durch abweichende Uhrzeiten hervorgerufen wird, unterscheidet sich in der Topographie wie auch in der Latenz von dem N400-Effekt, der durch abweichende emotionale Bedeutungen hervorgerufen wird. Dabei zeigt sich

Überleitung und Hypothesen zum Experiment 2

der N400-Effekt in der Emotionsbedingung mit einer maximalen Ausprägung an frontalen Elektroden.

Ausgehend von den Ergebnissen von Bentin et al. (2002) ergibt sich die **Hypothese 3: Eine N170-Komponente zeigt sich auch dann, wenn ein dargebotenes Gesicht nicht beachtet werden soll, sondern der Vergleich der Uhrzeiten aufgabenrelevantes Kriterium ist.**

Die von Boucsein et al. (2001) gefundene Modulation der N170 durch unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke in einer passiven Verarbeitung der Gesichter sowie die in Experiment 1 gefundenen Unterschiede zwischen freudigen und ärgerlichen Gesichtern führen zu **Hypothese 4: Unterschiede in der N170, bedingt durch unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke, zeigen sich auch dann, wenn der Vergleich der Uhrzeiten aufgabenrelevantes Kriterium ist.**

Methoden Experiment 2

3.2 Methoden Experiment 2

Die Durchführung des zweiten Experimentes wurde der Durchführung des ersten Experimentes entsprechend gestaltet. Zusätzlich zu den emotionalen Wörtern als Prime-Stimuli wurden zwei in Worten ausgedrückte Uhrzeiten als Prime-Stimuli dargeboten, wodurch sich zwei weitere Bedingungen (Uhrzeit-Match und Uhrzeit-Mismatch) ergaben. Der Ort der Durchführung, das Anlegen der EEG und EOG-Elektroden sowie die Versuchsdurchführung waren identisch mit Experiment 1, so dass diese Aspekte hier nicht erneut beschrieben werden. Somit werden nur die Aspekte dargestellt, die sich von Experiment 1 unterscheiden oder zusätzlich eingeführt wurden.

3.2.1 Versuchsteilnehmer

An der Untersuchung nahmen insgesamt 24 Versuchspersonen aus dem gleichen Personenkreis wie in Experiment 1 im Alter von 19 bis 36 Jahren teil, davon waren 19 weiblich und 5 männlich. Das mittlere Alter der Vpn betrug 26.8 Jahre ($SD = 5.4$). Keine der Versuchspersonen hatte zuvor an Experiment 1 oder einem anderen Experiment zur Wahrnehmung von Gesichtern oder schematischen Gesichtern teilgenommen. Vier Versuchspersonen wurden aus den statistischen Auswertungen herausgenommen, da das bei ihnen abgeleitete EEG nicht korrigierbare Artefakte, wie z.B. Bewegungsartefakte aufwies, so dass in die endgültige Analyse der Daten 20 Vpn eingingen.

Methoden Experiment 2

3.2.2 Versuchsdesign

Für den N400-Effekt wurden in Experiment 2 folgende Faktoren untersucht: 1. die Elektrodenlokalisierung, als Faktor „Elektrode“ bezeichnet, 2. die Hemisphärenlokalisierung, als Faktor „Hemisphäre“ bezeichnet, 3. der emotionale Kontext, als Faktor „Emotion“ bezeichnet, und 4. ein definiertes Hirnareal, als Faktor „Areal“ bezeichnet. Für den Faktor „Elektrode“ ergaben sich 124 über den gesamten Schädel verteilte Lokalisationen. Der Faktor „Hemisphäre“ trennte die linke von der rechten Hemisphäre. Der Faktor „Emotion“ bezog sich auf den emotionalen Kontext „Freude“ und „Ärger“. Der Faktor „Areal“ ergab sich durch eine Aufteilung der gesamten Schädeloberfläche in einen präfrontalen, einen frontalen, einen frontocentralen, einen centralen, einen centroparietalen, einen parietalen sowie einen occipitalen Bereich. Zusätzlich wurden die Elektroden, die sich auf der Mittellinie des Schädels befanden, getrennt ausgewertet, wobei hier der Faktor „Hemisphäre“ entfiel. Zusätzlich wurde der Faktor „Prime“ in die Berechnungen mit einbezogen, der sich auf die unterschiedlichen aufgabenrelevanten Kriterien (emotionaler Ausdruck vs. Uhrzeit) bezog. Als unabhängige Variablen bezüglich der N170 gingen in die Untersuchung ein: 1. die Elektrodenlokalisierung, als Faktor „Elektrode“ bezeichnet, 2. die Hemisphärenlokalisierung, als Faktor „Hemisphäre“ bezeichnet, sowie 3. der dargestellte emotionale Gesichtsausdruck, als Faktor „Emotion“ bezeichnet. Für den Faktor „Elektrode“ ergaben sich 11 Lokalisationen in jeder Hemisphäre, der Faktor „Emotion“ bezog sich auf das ärgerliche vs. das freudige Gesicht und der Faktor „Hemisphäre“ trennte in die linke und die rechte Hirnhälfte. Für die Analyse der N170 wurde ebenfalls der Faktor „Prime“ einbezogen. Der Faktor „Bedingung“ wurde in diesem Experiment nicht untersucht.

Methoden Experiment 2

3.2.3 Versuchsanordnung

Stimulusmaterial

Die verwendeten Stimuli waren zwei verschiedene Emotionswörter (Freude, Ärger) und zwei verschiedene Uhrzeiten (Vier, Zwei) sowie schematische Gesichter, die gleichzeitig eine Uhr darstellten. Die Darbietung der Uhrzeiten wurde derart gestaltet, dass jede Uhrzeit gleich oft mit jedem Gesichtsausdruck dargeboten wurde. Abbildung 3.1 stellt die schematischen „Uhrengesichter“ sowie die beiden neu hinzu gekommenen Primestimuli dar. Der zeitliche Verlauf einzelner Durchgänge sowie die Präsentationsdauer der Stimuli entsprachen denen in Experiment 1 (vgl. Abb. 2.3). Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, zu zählen, wie oft (je nach Prime) entweder die durch das Wort ausgedrückte emotionale Bedeutung und der Gesichtsausdruck oder die wörtlich ausgedrückte und die dargestellte Uhrzeit übereinstimmten. Das Experiment war in insgesamt 20 Blöcke aufgeteilt. In jedem Block wurden 40 Wort-Gesicht-Kombinationen dargeboten. Die Anzahl der Übereinstimmungen bezüglich der emotionalen Bedeutung und der Uhrzeiten wurde zwischen den einzelnen Blöcken variabel gehalten (17 bis 23 Übereinstimmungen). Am Ende eines Blocks wurden die Vpn durch einen Hinweis auf dem Monitor aufgefordert, ihre gezählte Anzahl von Übereinstimmungen über eine Tastatur einzugeben, die sich unmittelbar vor ihnen befand. Die Instruktion an die Versuchspersonen lautete wie folgt:

„Liebe Versuchsperson,

In dem folgenden Versuch werden schematische Gesichter auf dem Bildschirm gezeigt. Diese Gesichter zeigen emotionale Ausdrücke und Uhrzeiten. Vor jedem Gesicht erfolgt eine kurze Ankündigung in Form des Wortes „Freude“ oder „Ärger“, bzw. „zwei“ (für zwei Uhr) sowie „vier“ (für vier Uhr). Der dann folgende Gesichtsausdruck oder die dargestellte Uhrzeit können mit der Ankündigung übereinstimmen, oder nicht. Deine Aufgabe besteht darin, zu zählen, wie oft der Gesichtsausdruck oder die Uhrzeit mit der

Methoden Experiment 2

Ankündigung übereinstimmt. Zwischen Ankündigung und Gesicht erscheint ein kleines Kreuz auf dem Bildschirm, welches Du bitte mit Deinen Augen fixieren sollst⁶.

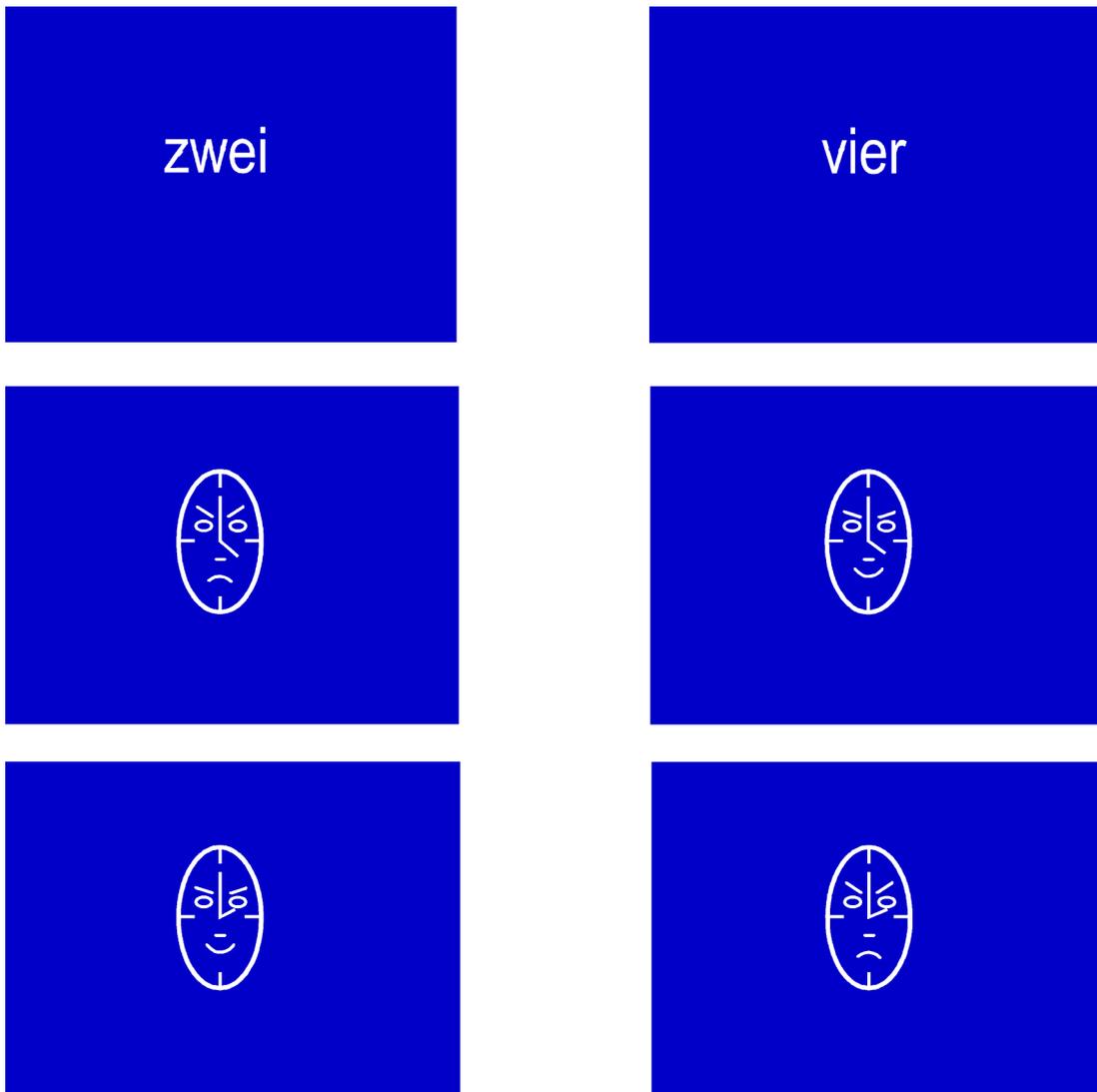


Abbildung 3.1 *Wörtlich benannte Uhrzeiten als Primestimuli sowie schematische Uhren gesichter mit unterschiedlichen Uhrzeiten als Probestimuli*

Methoden Experiment 2

3.2.4 Versuchsablauf

Die Erhebung der Daten fand im Zeitraum von Oktober 2002 bis Januar 2003 statt. Die Dauer der gesamten Untersuchung lag zwischen drei und dreieinhalb Stunden, wobei die Durchführung des Experiments selbst durchschnittlich 50 min. betrug. Die Versuchspersonen wurden darüber informiert, dass sie die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt abbrechen konnten.

3.3 Auswertung der EEG-Daten

3.3.1 Parametrisierung und statistische Auswertung

Die Parametrisierung sowie die statistische Auswertung der Daten erfolgte unter Verwendung der gleichen Programme und Prozeduren, wie schon in Experiment 1 beschrieben. In die varianzanalytische Auswertung für beide Komponenten (N170 und N400-Effekt) ging zusätzlich der Faktor „Prime“ ein. In der varianzanalytischen Auswertung für die N170 wurde der Faktor „Bedingung“ nicht mehr berechnet.

Ergebnisse Experiment 2

3.4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse bezogen auf die Fragestellungen für beide EEG-Komponenten getrennt dargestellt. Zuerst werden die Berechnungen für den N400-Effekt bezüglich der Amplituden, Latenzen sowie deren topographischen Verteilung berichtet. Daran anschließend werden die Ergebnisse für die N170 ebenfalls bezüglich ihrer Amplituden, Latenzen und der topographischen Verteilung dargestellt.

3.4.1 N400-Effekt: Amplituden und Latenzen

Nach der Bildung der Differenzpotenziale durch die Subtraktion der Match-Bedingung von der entsprechenden Mismatch-Bedingung wurden die Elektroden in verschiedene Bereiche eingeteilt: 1. Präfrontal, 2. Frontal, 3. Frontocentral, 4. Central, 5. Centro-Parietal, 6. Parietal, 7. Occipital und 8. alle auf der Mittellinie gelegenen Elektroden. Für jeden Bereich wurden getrennte Varianzanalysen (Messwiederholungsdesign) mit den unter Punkt 6.1.2 genannten Faktoren berechnet. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgt zuerst separat für jeden Bereich. Alle Amplituden, Latenzen sowie deren Standardabweichungen werden in Anhang B in den Tabellen B1 bis B16 dargestellt. In Anhang B, Abbildung B1 bis B4 werden die Elektroden mit den mittleren Amplituden gemäß ihrer Lokalisation auf dem Schädel getrennt nach Emotionen dargestellt. Die im Ergebnisteil dargestellten Kurvenverläufe wurden so gewählt, dass exemplarisch Elektroden von einzelnen Versuchspersonen dargestellt sind, die den N400-Effekt für jeden Bereich und jede Bedingung am ausgeprägtesten abbilden. Dabei sind Abweichungen vom Mittelwert über alle Versuchspersonen in der Amplitude (nach oben) und der Latenz zu berücksichtigen. Wie in Experiment 1 stimmen augenscheinliche Effekte (Unterschiede in der Latenz oder in der Amplitude) nicht notwendigerweise mit den über alle Versuchspersonen berechneten statistischen Effekten überein.

Ergebnisse Experiment 2

Es werden nur die Kurven dargestellt, die als Reaktion auf eine Abweichung in den Uhrzeiten abgeleitet werden konnten, da die Kurvenverläufe als Reaktion auf eine Abweichung in der emotionalen Bedeutung in den Ergebnissen des ersten Experimentes dargestellt wurden. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei der Darstellung der Uhrzeitbedingung in den Balkendiagrammen für die Emotion „Freude“ um einen ärgerlichen Gesichtsausdruck, für die Emotion „Ärger“ um einen freudigen Gesichtsausdruck handelt, während die beschriebene Emotion in den Kurvendarstellungen der im Gesicht ausgedrückten Emotion entspricht. Dies kommt dadurch zustande, dass sich ein Mismatch in der Emotionsbedingung für die Emotion „Freude“ durch die Darbietung eines ärgerlichen Gesichtsausdrucks ergibt, umgekehrt kommt ein Mismatch für die Emotion „Ärger“ durch die Darbietung eines freudigen Gesichtsausdrucks zustande. Die Emotionsbezeichnungen in den Balkendiagrammen beziehen sich dem entsprechend auf die jeweilige Emotionsbedingung (Freude oder Ärger).

Präfrontal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 328 ms bis 387 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/19) = 189.338$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnten keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionseffekte gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Prime“, $F(1.0/17.0) = 10.286$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich größere Amplituden bei einem Mismatch in den Uhrzeiten als bei einem Mismatch in der emotionalen Bedeutung. Für den Faktor „Elektrode“ konnte ein hochsignifikanter Haupteffekt gefunden werden, $F(2.7/46.0) = 38.874$; $p < 0.0001$. Dabei waren die Amplituden an den Elektroden

Ergebnisse Experiment 2

FP1a/FP2a, AF3a/AF4a und AF7a/AF8a, die sich untereinander nicht signifikant unterschieden, größer im Vergleich zu den Amplituden an den Elektroden FP1/FP2, AF3/AF4 und AF7/AF8. Die Amplituden an den Elektroden AF3/AF4 waren ebenfalls größer im Vergleich zu den Elektroden FP1/FP2 und AF7/AF8. In Abbildung 3.2 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.3a bis 3.3d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt

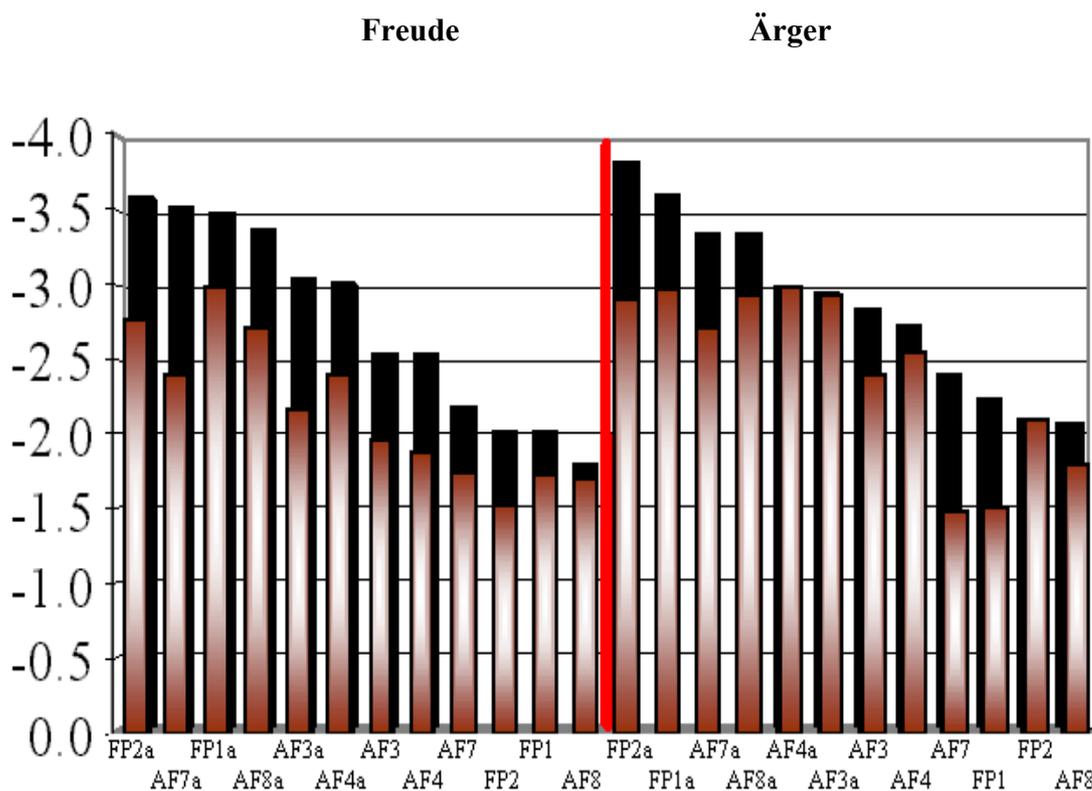
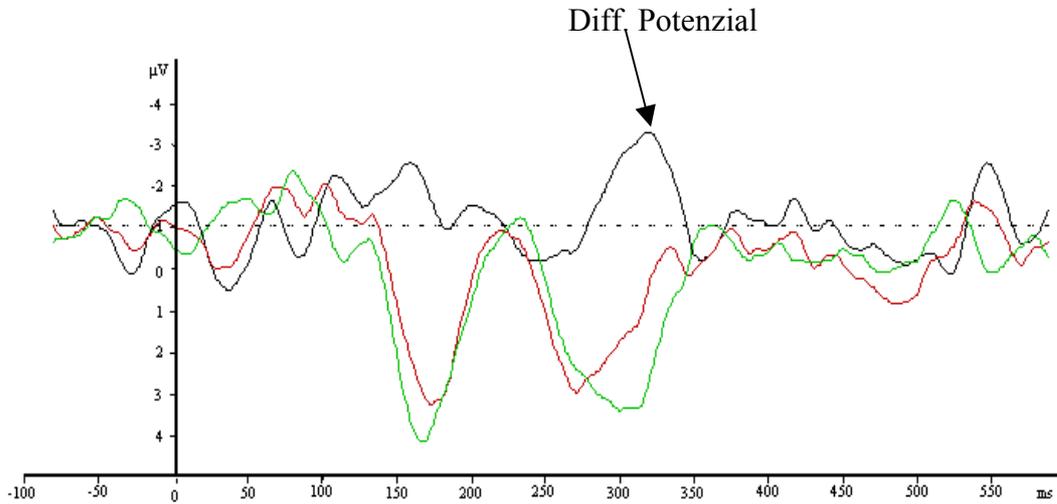


Abbildung 3.2 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) FP1a/Freude



b) FP2a/Freude

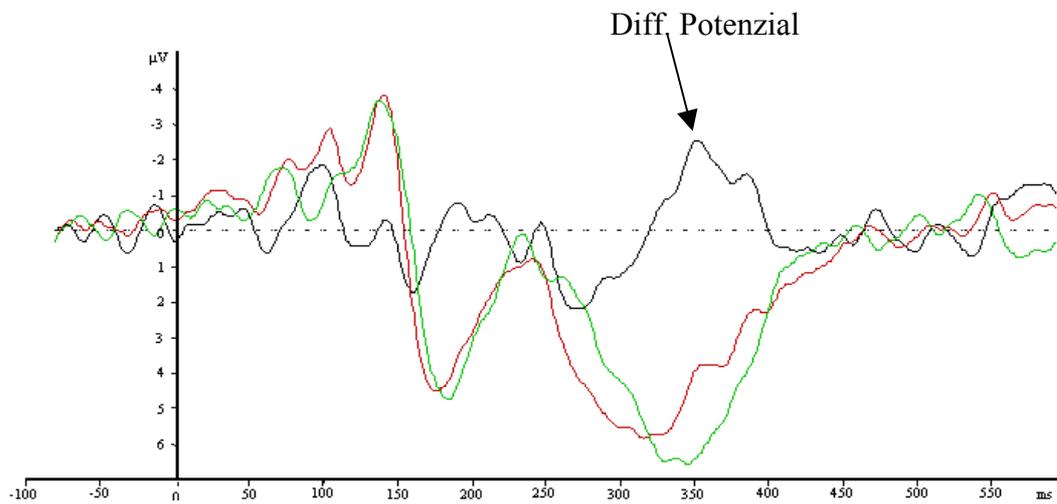
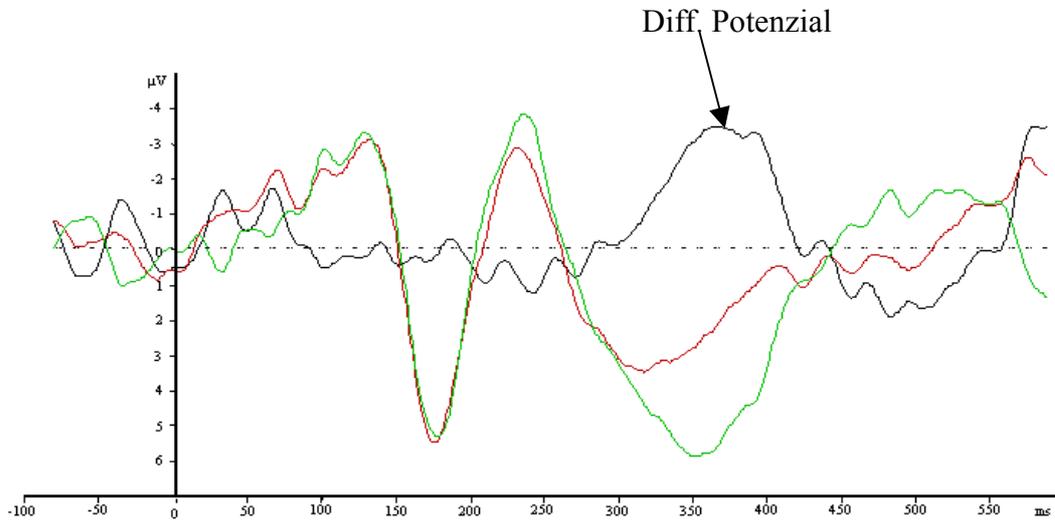


Abbildung 3.3a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) FP1a/Ärger



d) FP2a/Ärger

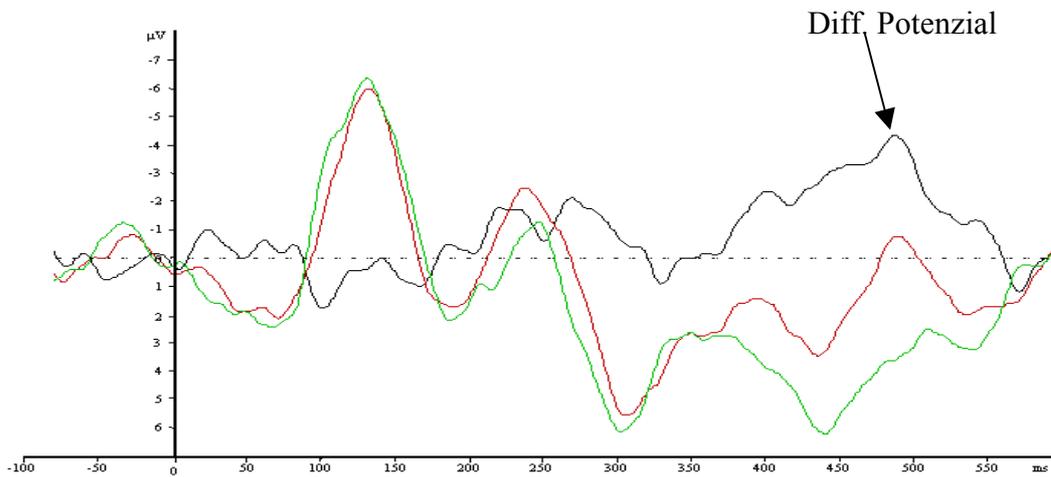


Abbildung 3.3c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Frontal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 321 ms bis 397 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 301.550$; $p < 0.0001$ hochsignifikant..

Latenz: Für die Latenzen konnten keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionseffekte gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Prime“, $F(1.0/17.0) = 5.863$; $p < 0.05$. Dabei waren die Amplituden größer bei einem Mismatch in den Uhrzeiten als bei einem Mismatch in der emotionalen Bedeutung. Für den Faktor „Elektrode“ konnte ein hochsignifikanter Haupteffekt gefunden werden, $F(2.1/35.7) = 37.778$; $p < 0.0001$. Dabei waren die Amplituden an den Elektroden F9/F10, F7/F8 und F9a/F10a, die sich untereinander nicht signifikant unterschieden, kleiner im Vergleich zu den Amplituden an den Elektroden F5/F6, F3/F4, F1/F2, F7a/F8a, F5a/F6a, F3a/F4a und F1a/F2a. Die Amplituden an den Elektroden F5/F6 waren ebenfalls kleiner als an den Elektroden F3a/F4a und F1a/F2a. Die Amplituden an den Elektroden F1/F2 und F3/F4 waren signifikant kleiner als an den Elektroden F3a/F4a und F1a/F2a, die sich nicht unterschieden. Ein weiterer signifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Hemisphäre“ gezeigt werden, $F(1.0/17.0) = 5.610$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich größere Amplituden an den rechtshemisphärischen Elektroden. Des Weiteren konnte ein signifikanter Interaktionseffekt „Prime“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(1.0/17.0) = 5.176$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests ergaben in den Bedingungen, in denen ein Emotionswort als Prime dargeboten wurde, hochsignifikant größere Amplituden für die Emotion „Ärger“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Freude“, $t(19) = 5.117$; $p < 0.0001$. Wurde die Uhrzeit als Prime dargeboten, zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Emotionen. In Abbildung 3.4 sind die

Ergebnisse Experiment 2

mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.5a bis 3.5d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

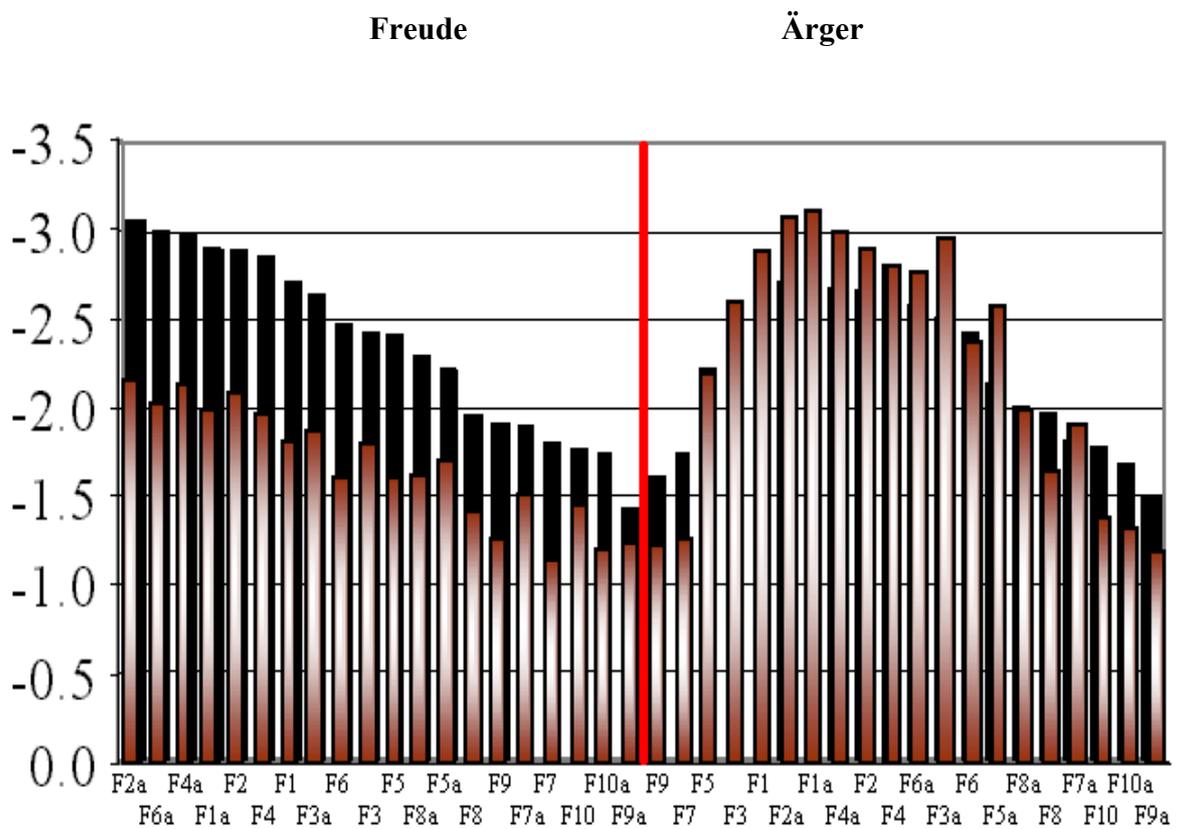
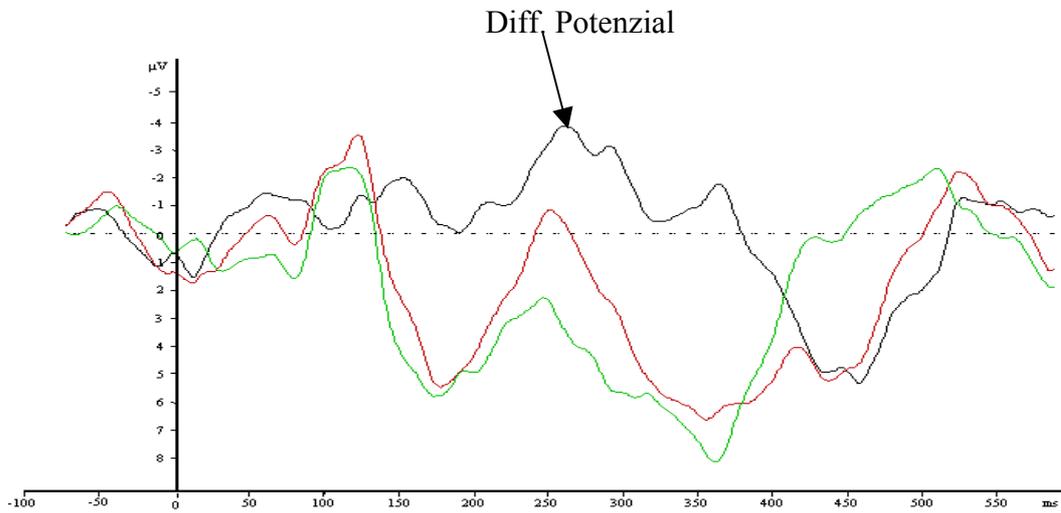


Abbildung 3.4 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) F1a/Freude



b) F2a/Freude

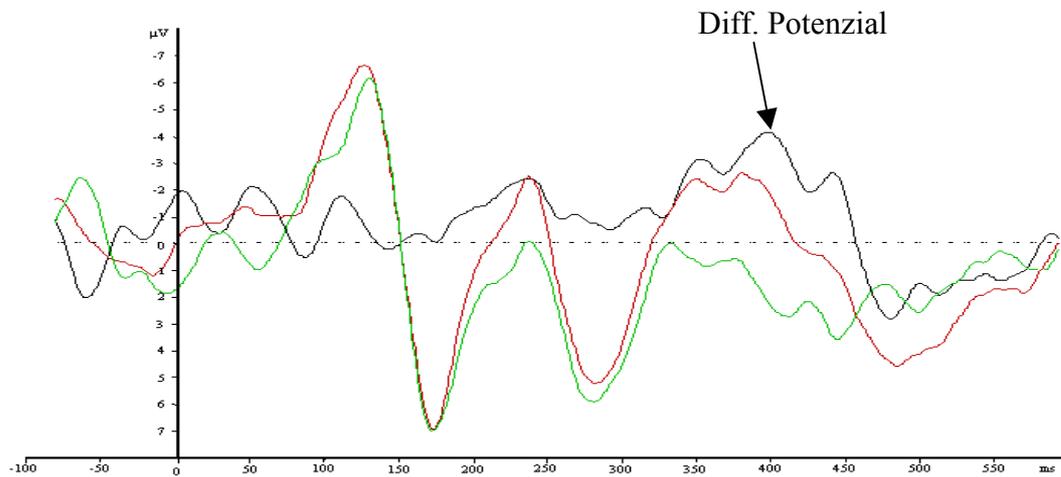
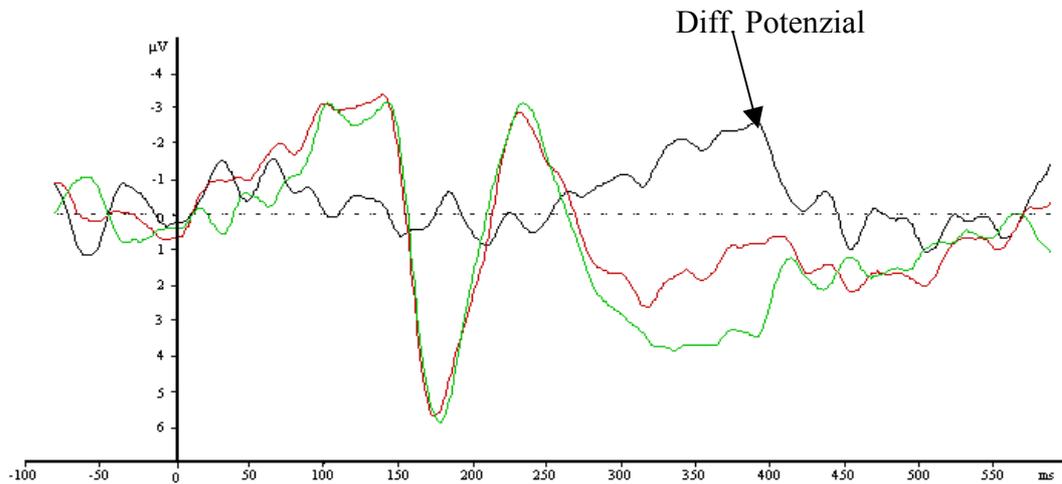


Abbildung 3.5a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) F1/Ärger



d) F2/Ärger

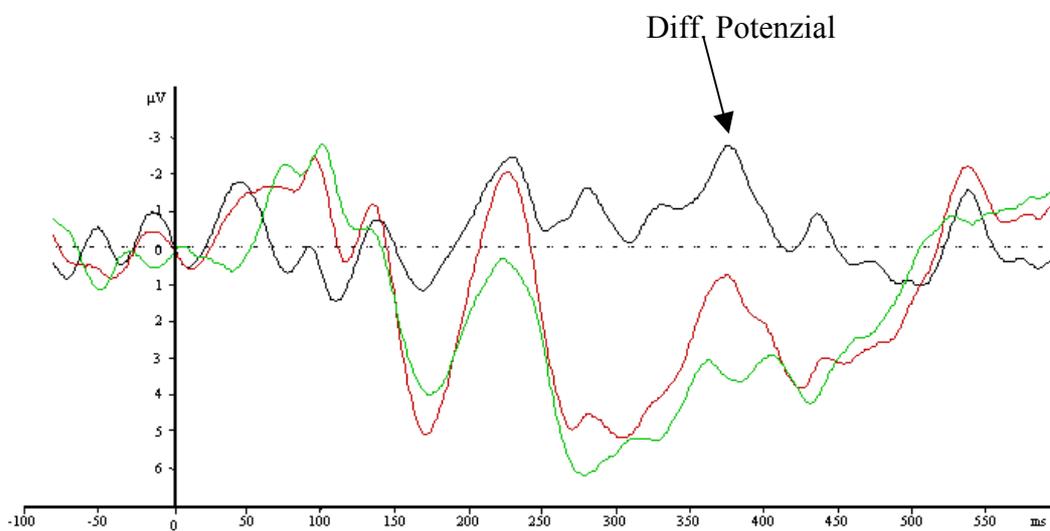


Abbildung 3.5c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

Frontocentral

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 314 ms bis 389 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/19) = 321.521$; $p < 0.0001$ hochsignifikant..

Latenz: Für die Latenzen konnten keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionseffekte gefunden werden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Prime“, $F(1.0/19.0) = 6.275$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich größere Amplituden bei einem Mismatch in den Uhrzeiten als bei einem Mismatch in der emotionalen Bedeutung. Für den Faktor „Hemisphäre“ konnte ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt gefunden werden, $F(1.0/19.0) = 7.752$; $p < 0.05$. Dabei waren die Amplituden größer an den rechtshemisphärischen Elektroden verglichen mit den linkshemisphärischen Elektroden. Ein hochsignifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(2.4/46.2) = 40.914$; $p < 0.0001$. Dabei waren die Amplituden an den Elektroden FT9/FT10, FT7/FT8 und FT9a/FT10a, die sich untereinander nicht signifikant unterschieden, kleiner als die Amplituden an den Elektroden FC5/FC6, FC3/FC4, FC1/FC2, FT7a/FT8a, FC5a/FC6a, FC3a/FC4a und FC1a/FC2a. Die Amplituden an den Elektroden FC5/FC6 und FT7a/FT8a waren ebenfalls kleiner als an den Elektroden FC3/FC4, FC3a/FC4a, FC1/FC2 und FC1a/FC2a, die sich nicht unterschieden. In Abbildung 3.6 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.7a bis 3.7d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

Ergebnisse Experiment 2

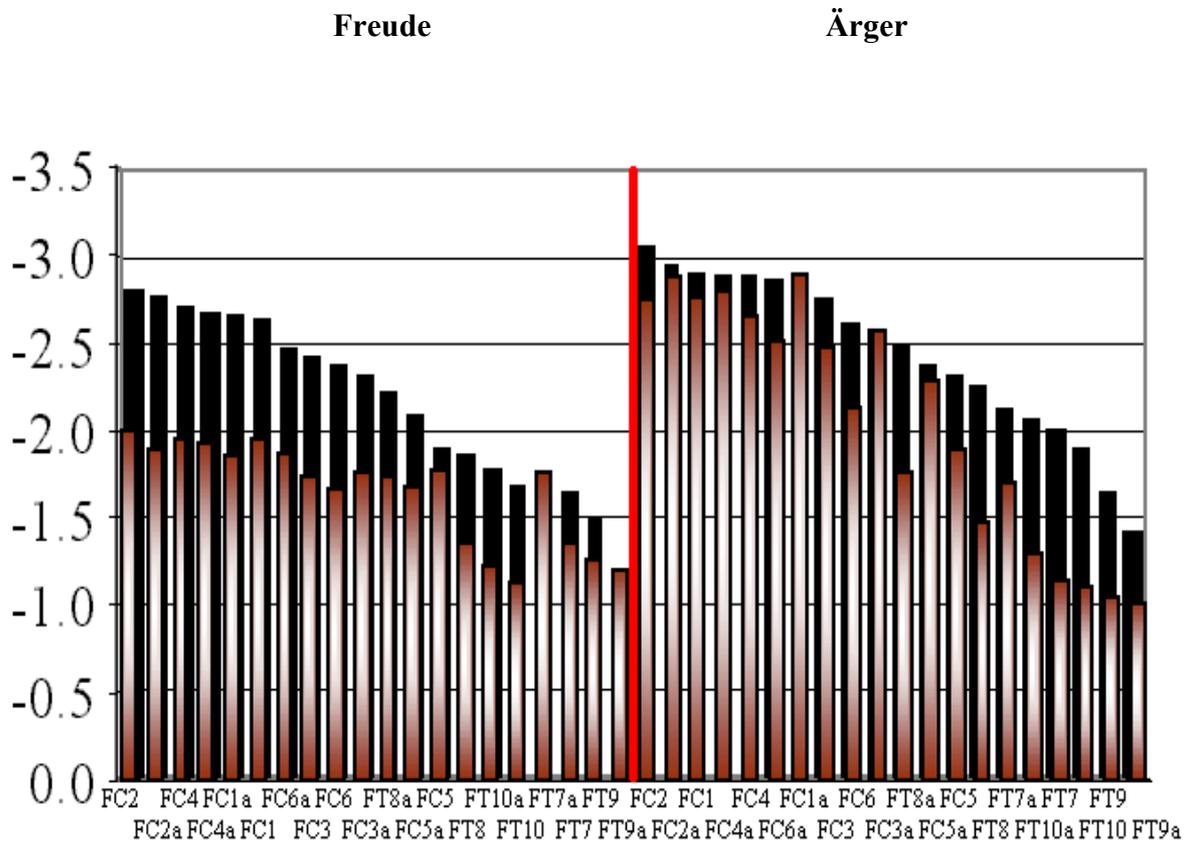
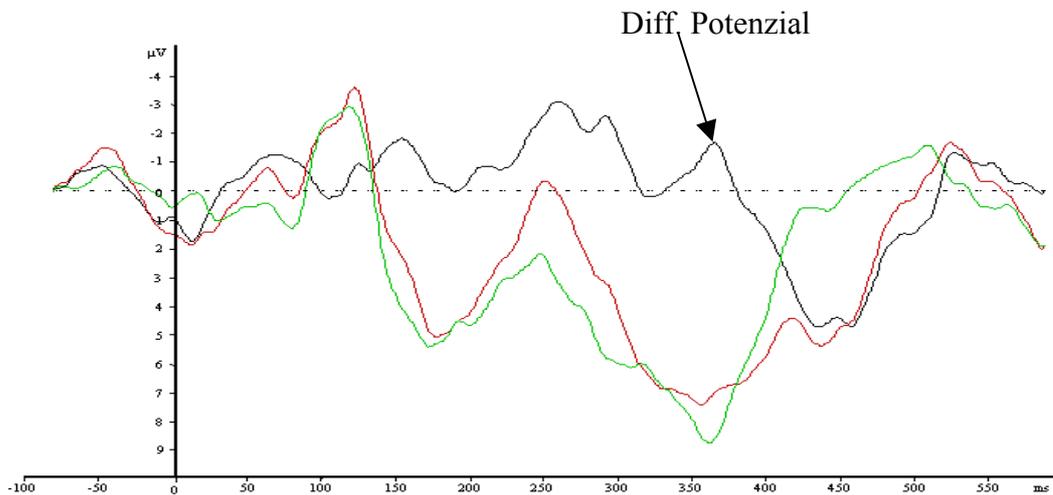


Abbildung 3.6 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) FC1a/Freude



b) FC2/Freude

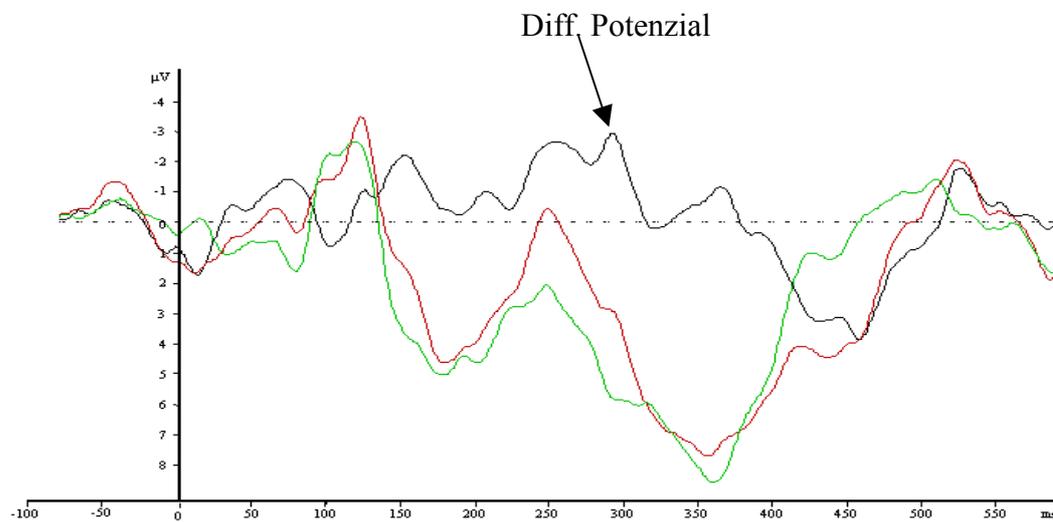
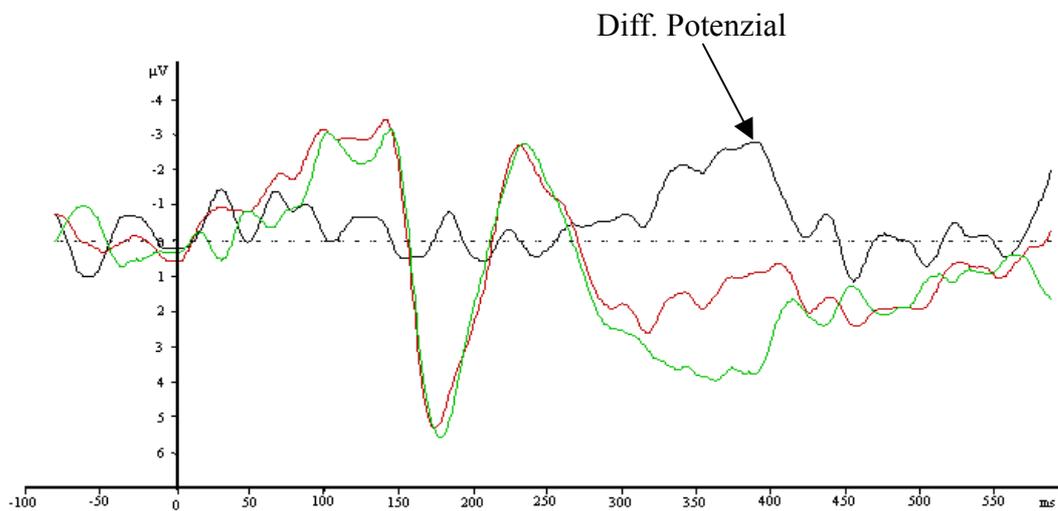


Abbildung 3.7a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) FC1/Ärger



d) FC2/Ärger

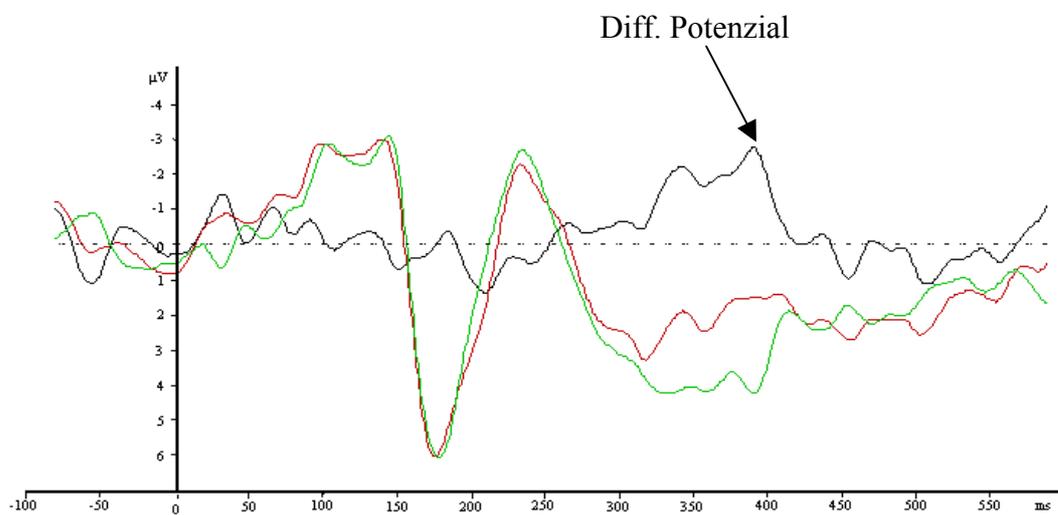


Abbildung 3.7c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Central

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 339 ms bis 380 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/17) = 194.884$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(3.2/61.9) = 5.287$; $p < 0.05$. Dabei waren die Latenzen an den Elektroden C1/C2 kürzer als an den Elektroden C5/C6.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Emotion“, $F(1.0/17.0) = 8.364$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich größere Amplituden für die Emotion „Ärger“ als für die Emotion „Freude“. Für den Faktor „Hemisphäre“ konnte ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt gefunden werden, $F(1.0/17.0) = 14.463$; $p < 0.05$. Dabei waren die Amplituden an den rechtshemisphärischen Elektroden größer im Vergleich zu den linkshemisphärischen Elektroden. Ein weiterer signifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(2.4/42.0) = 7.383$; $p < 0.05$. Es zeigten sich kleinere Amplituden an den Elektroden C5/C6, verglichen mit den Amplituden an den Elektroden C3/C4 und C1/C2. Die Amplituden an den Elektroden C1/C2 waren signifikant kleiner als die Amplituden an den Elektroden C3a/C4a. Alle weiteren Elektroden unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Des Weiteren konnte ein signifikanter Interaktionseffekt „Prime“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(1.0/17.0) = 7.201$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests ergaben in den Bedingungen, in denen ein Emotionswort als Prime dargeboten wurde, hochsignifikant größere Amplituden für die Emotion „Ärger“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Freude“, $t(11) = 9.267$; $p < 0.0001$. Wurde die Uhrzeit als Prime dargeboten, zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Emotionen. In Abbildung 3.8 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als

Ergebnisse Experiment 2

Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.9a bis 3.9d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

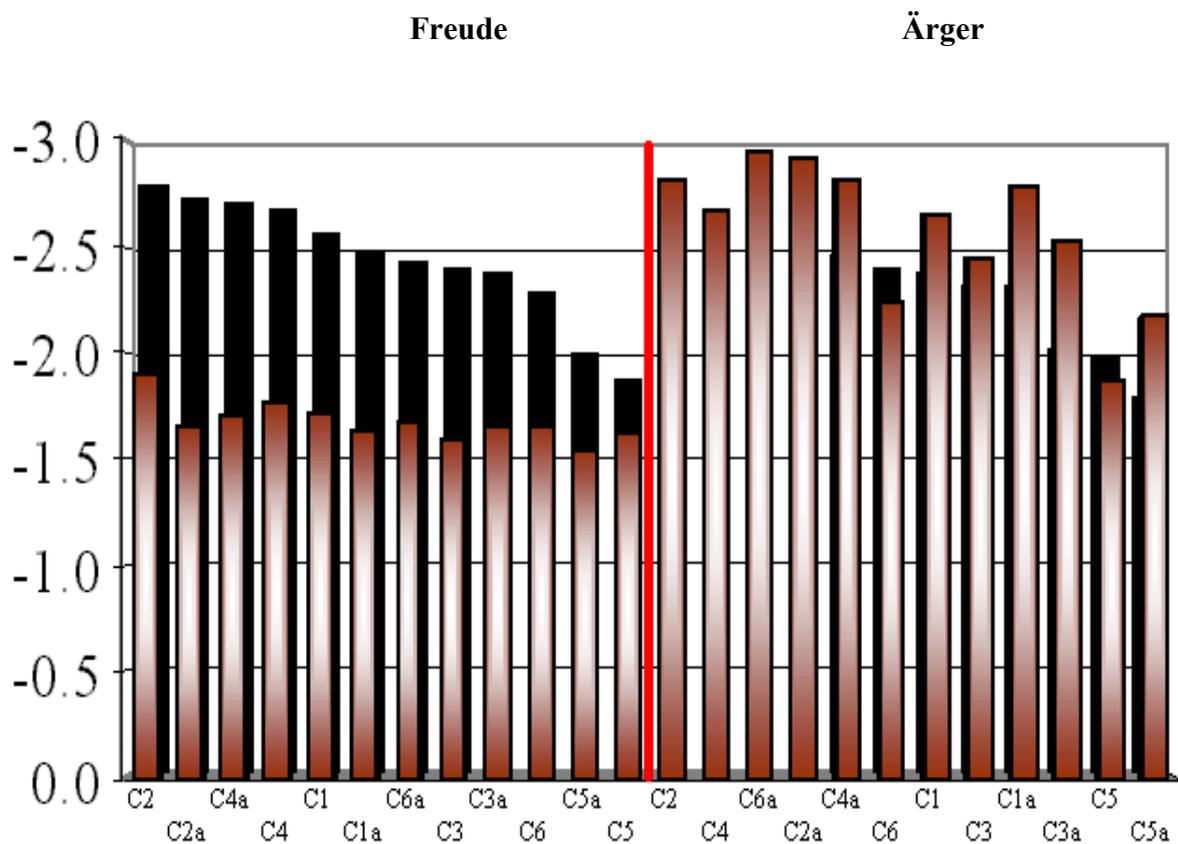
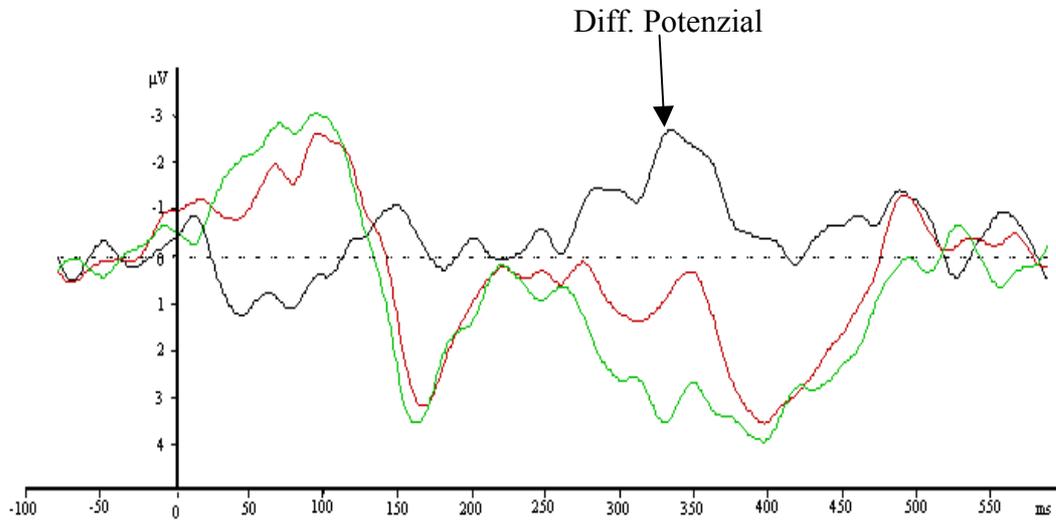


Abbildung 3.8 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) C1/Freude



b) C6a/Freude

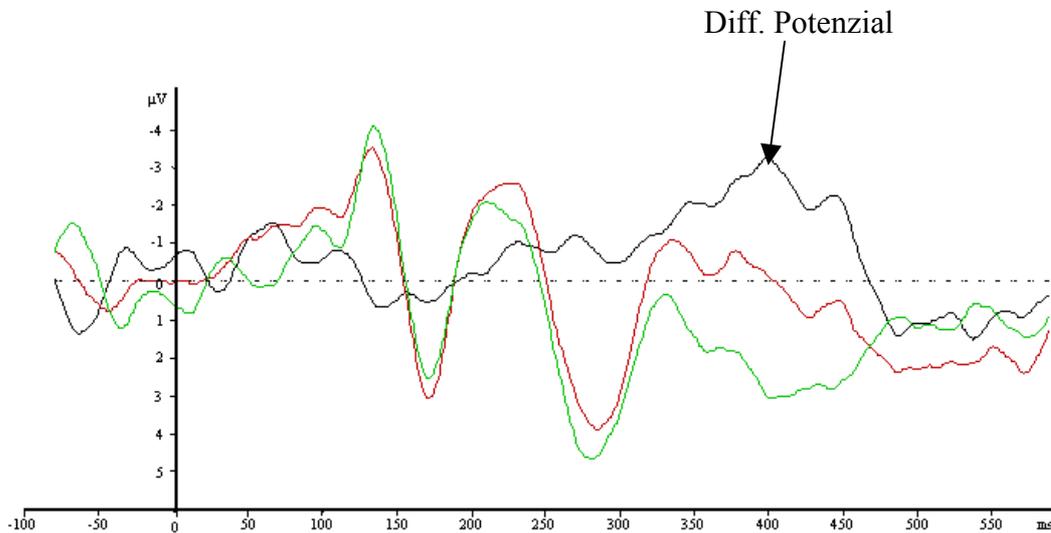
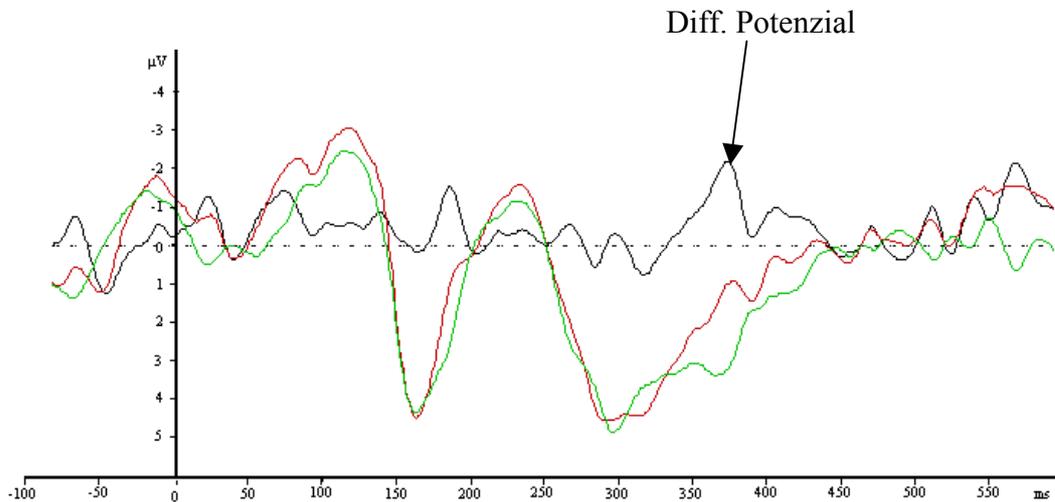


Abbildung 3.9a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) C1/Ärger



d) C2/Ärger

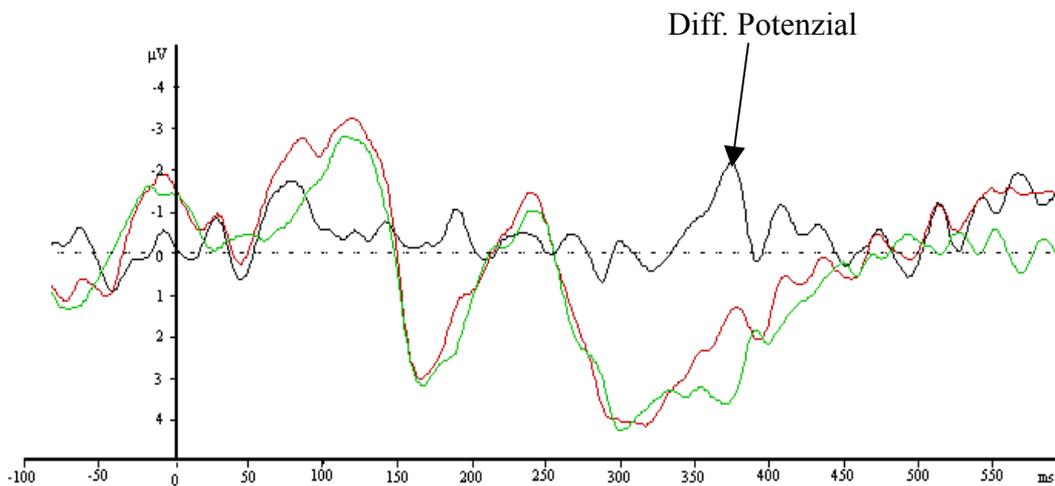


Abbildung 3.9c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Centroparietal

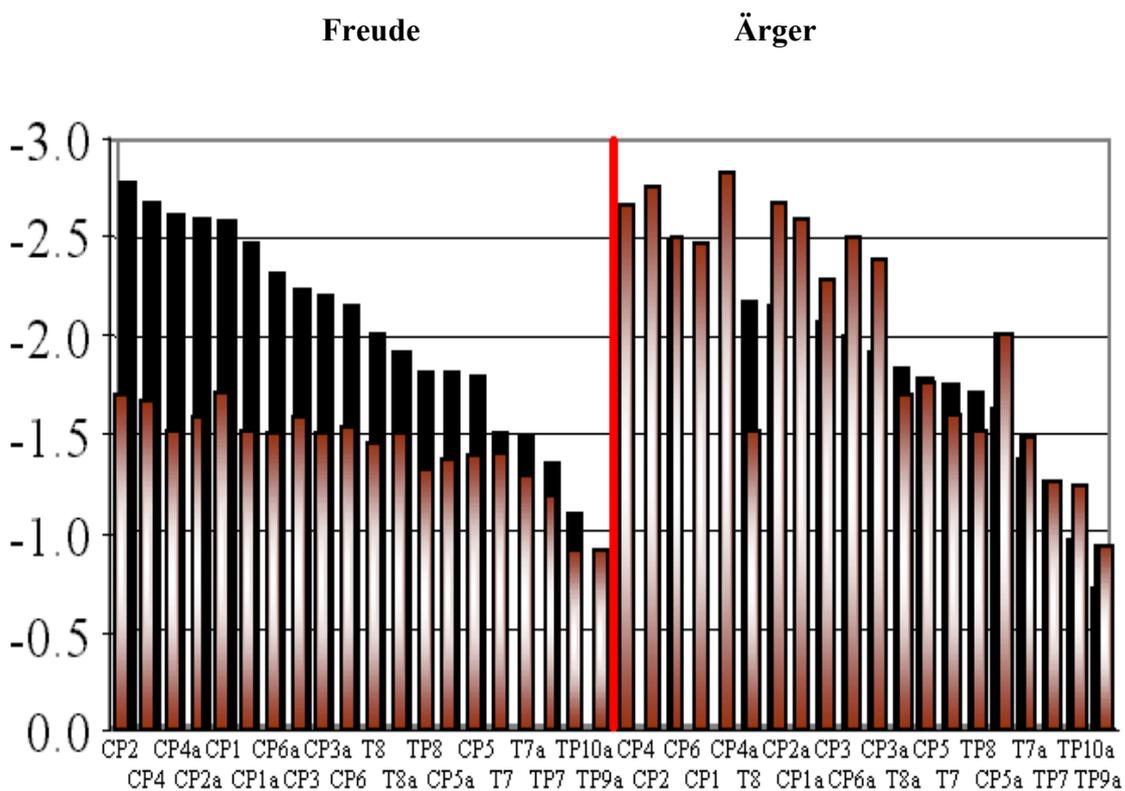
Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 331 ms bis 393 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/19) = 186.500$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Hemisphäre“ gefunden werden, $F(1.0/16.0) = 9.738$; $p < 0.05$. Dabei waren die Latenzen an den rechtshemisphärischen Elektroden kürzer als an den linkshemisphärischen Elektroden.

Amplitudenmaß: Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Hemisphäre“, $F(1.0/16.0) = 13.317$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich größere Amplituden an den rechtshemisphärischen Elektroden, verglichen mit den linkshemisphärischen Elektroden. Ein hochsignifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(2.6/42.4) = 26.531$; $p < 0.0001$. Die Amplituden an den Elektroden TP9a/TP10a waren signifikant kleiner, verglichen mit den Amplituden an allen anderen Elektroden. Die Amplituden an den Elektroden T7/T8 waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden CP1/CP2. Die Amplituden an den Elektroden T7a/T8a waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden CP5/CP6, CP3/CP4, CP3a/CP4a, CP1/CP2 und CP1a/CP2a. Die Elektroden an den Amplituden TP7/TP8 waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden CP5/CP6, CP3/CP4, CP3a/CP4a, CP1/CP2 und CP1a/CP2a. Die Amplituden an den Elektroden CP5/CP6 waren kleiner als an den Elektroden CP1/CP2. Die abgeleiteten Amplituden an den Elektroden CP5a/CP6a waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden CP3/CP4, CP3a/CP4a, CP1/CP2 und CP1a/CP2a. Des Weiteren konnte ein signifikanter Interaktionseffekt „Prime“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(1.0/16.0) = 10.784$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests ergaben in den Bedingungen, in denen ein Emotionswort als Prime dargeboten wurde, hochsignifikant

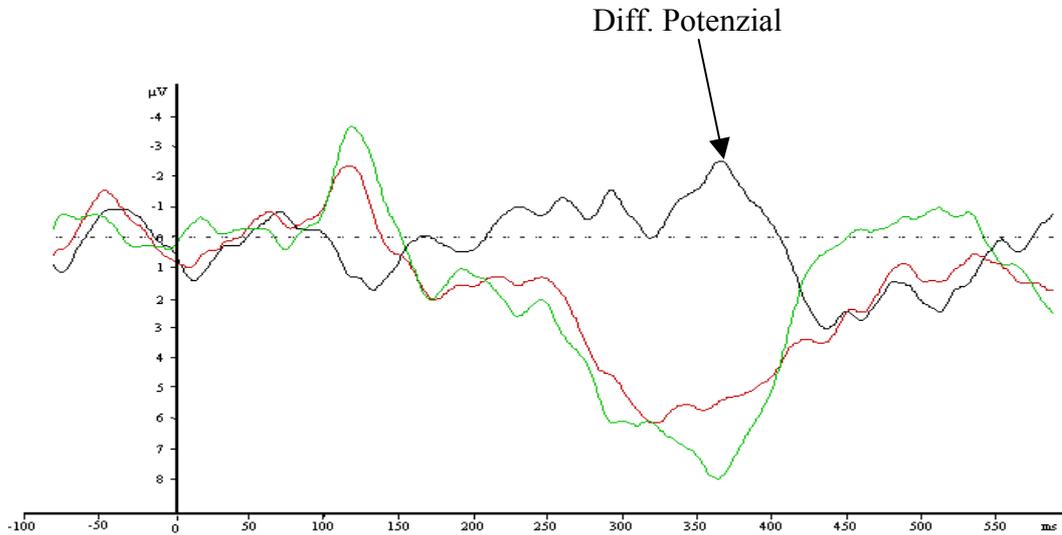
Ergebnisse Experiment 2

größere Amplituden für die Emotion „Ärger“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Freude“, $t(19) = 6.797$; $p < 0.0001$. Wurde die Uhrzeit als Prime dargeboten, zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Emotionen. In Abbildung 3.10 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.11a bis 3.11d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.



Ergebnisse Experiment 2

a) CP1/Freude



b) CP2/Freude

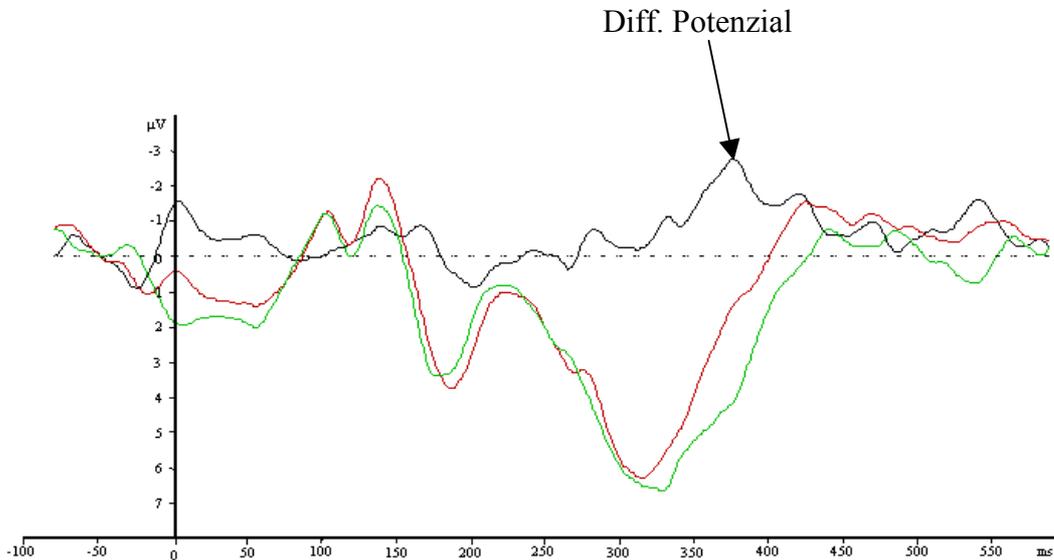
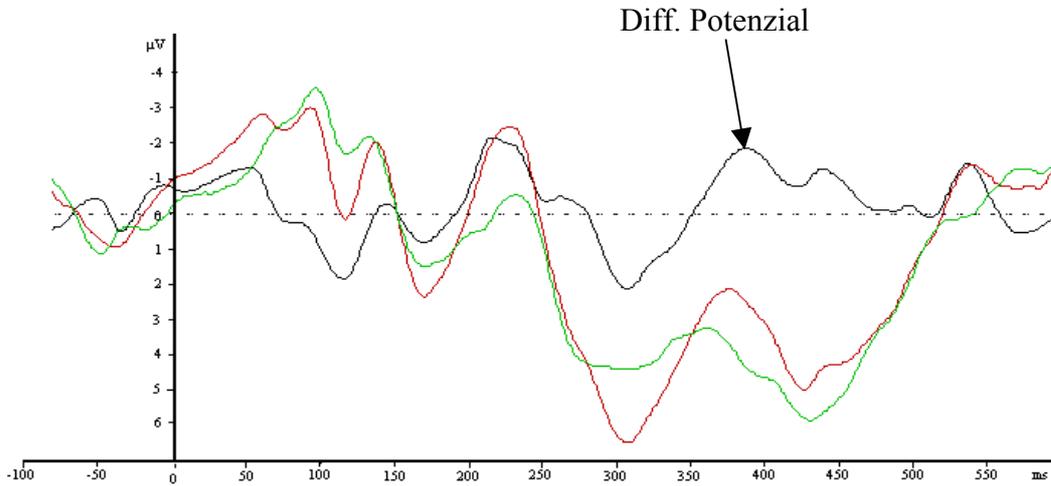


Abbildung 3.11a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) CP1/Ärger



d) CP2/Ärger

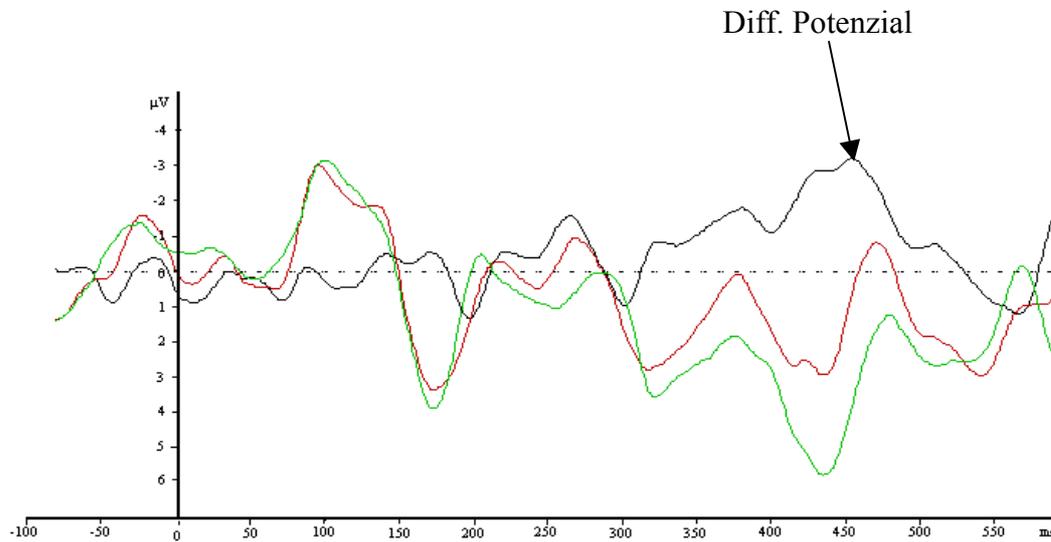


Abbildung 3.11c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Parietal

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 336 ms bis 406 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1.0/19.0) = 177.864$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Hemisphäre“ gefunden werden, $F(1/19) = 11.504$; $p < 0.05$. Dabei zeigten sich an den rechtshemisphärischen Elektroden kürzere Latenzen als an den linkshemisphärischen Elektroden.

Amplitudenmaß: Ein hochsignifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(1.8/35.5) = 26.531$; $p < 0.0001$. Die Amplituden an den Elektroden P9/P10 waren signifikant kleiner, verglichen mit den Amplituden an den Elektroden P7/P8, P7a/P8a, P5/P6, P3/P4, P1/P2 und P1a/P2a. Die Amplituden an den Elektroden P9a/P10a waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden P7a/P8a, P5/P6, P3/P4, P1/P2 und P1a/P2a. Die Amplituden an den Elektroden P7/P8 waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden P5/P6, P3/P4, P1/P2 und P1a/P2a. Die Amplituden an den Elektroden P7a/P8a waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden P3/P4 und P1/P2. Die Amplituden an den Elektroden P5a/P6a waren kleiner als an den Elektroden P3/P4, P1/P2 und P1a/P2a, die sich nicht signifikant unterschieden. Des Weiteren konnte ein hochsignifikanter Interaktionseffekt „Prime“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(1.0/19.0) = 19.547$; $p < 0.0001$. Paarweise t-Tests ergaben in den Bedingungen, in denen ein Emotionswort als Prime dargeboten wurde, hochsignifikant größere Amplituden für die Emotion „Freude“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Ärger“, $t(17) = 73.446$; $p < 0.0001$. Wurde die Uhrzeit als Prime dargeboten, zeigten sich ebenfalls hochsignifikant größere Amplituden für die Emotion „Freude“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Ärger“, $t(17) = 151.084$; $p < 0.0001$. In Abbildung

Ergebnisse Experiment 2

3.12 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.13a bis 3.13d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

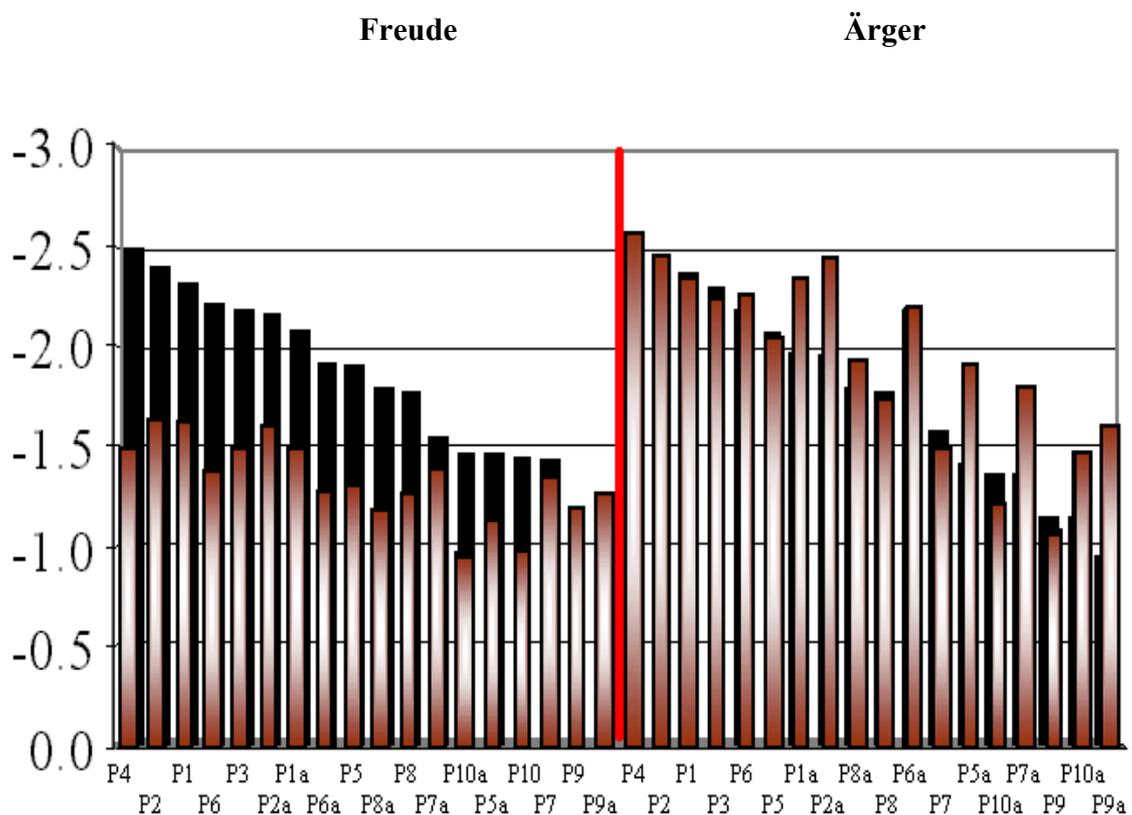
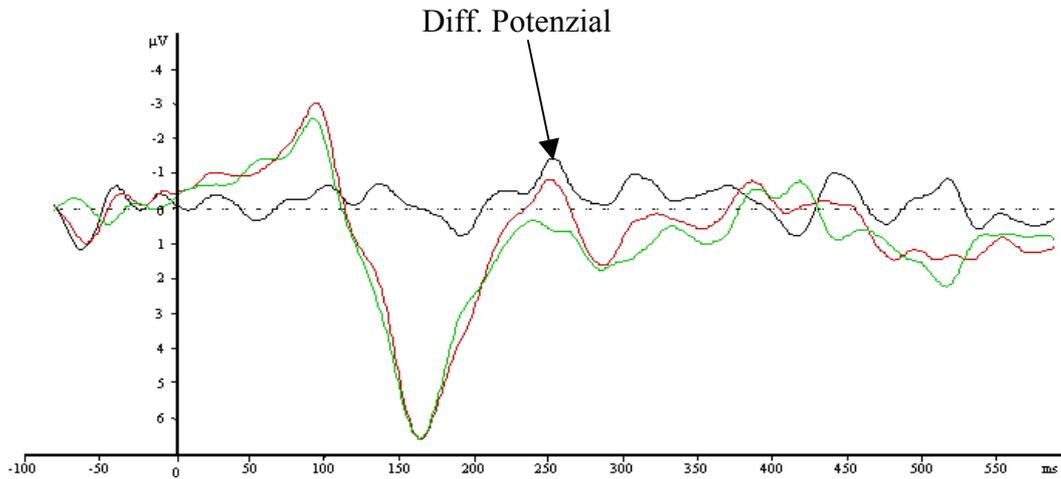


Abbildung 3.12 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) P1/Freude



b) P4/Freude

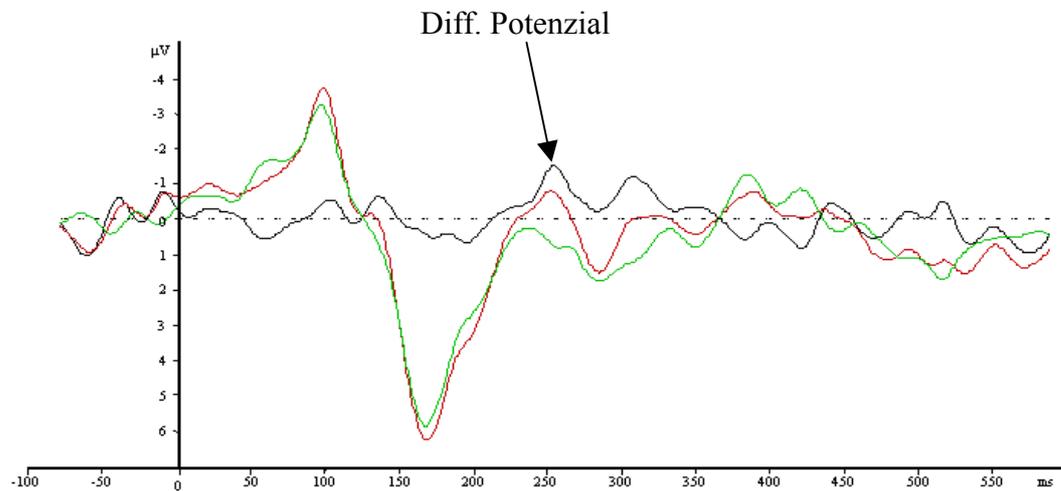
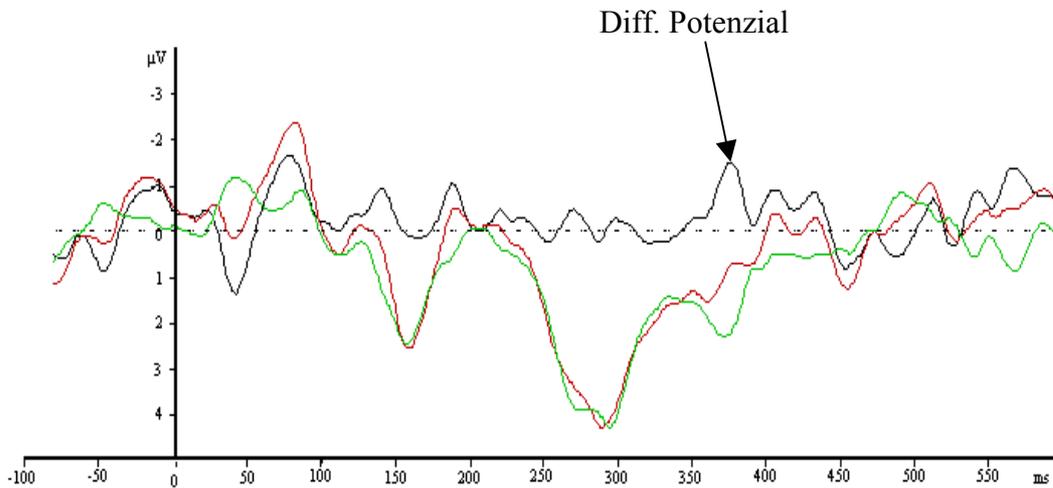


Abbildung 3.13a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) P1/Ärger



d) P4/Ärger

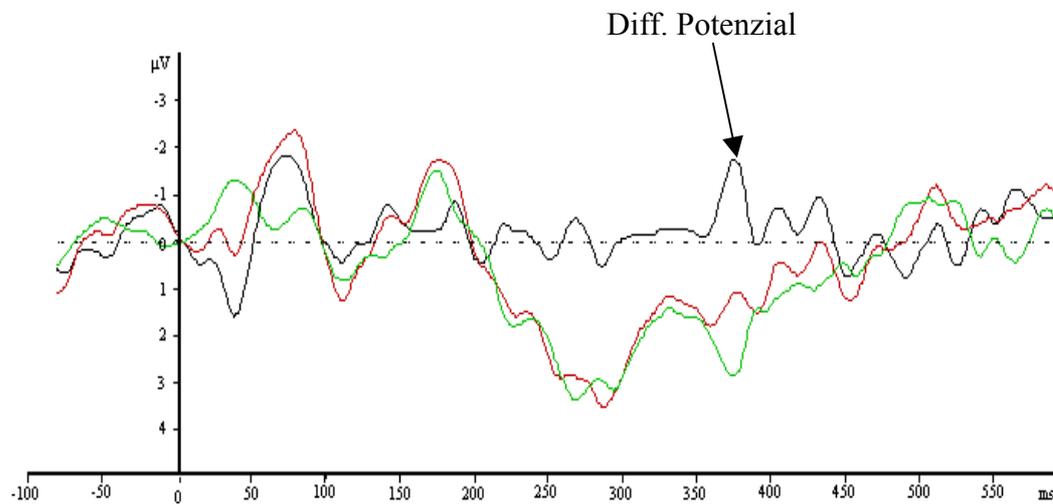


Abbildung 3.13c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Occipital

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 338 ms bis 410 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/19) = 203.098$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnten keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionseffekte gefunden werden.

Amplitudenmaß: Ein hochsignifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Hemisphäre“ gefunden werden, $F(1.0/19.0) = 28.143$; $p < 0.0001$. Die Amplituden an den rechts-hemisphärischen Elektroden waren größer, verglichen mit den Amplituden an den linkshemisphärischen Elektroden. Ein weiterer hochsignifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(1.7/33.1) = 34.976$; $p < 0.0001$. Dabei waren die Amplituden an den Elektroden PO9/PO10 und O9/O10 kleiner als die Amplituden an den Elektroden PO7/PO8, PO3/PO4 und O1/O2. Die Amplituden an den Elektroden PO7/PO8 waren kleiner als die Amplituden an den Elektroden PO3/PO4. Des Weiteren konnte ein signifikanter Interaktionseffekt „Prime“ * „Emotion“ gefunden werden, $F(1.0/19.0) = 5.618$; $p < 0.05$. Paarweise t-Tests ergaben in den Bedingungen, in denen ein Emotionswort als Prime dargeboten wurde, hochsignifikant größere Amplituden für die Emotion „Freude“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Ärger“, $t(9) = 91.599$; $p < 0.0001$. Wurde die Uhrzeit als Prime dargeboten, zeigten sich ebenfalls hochsignifikant größere Amplituden für die Emotion „Freude“, verglichen mit den Amplituden für die Emotion „Ärger“, $t(9) = 92.556$; $p < 0.0001$. In Abbildung 3.14 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotiona-

Ergebnisse Experiment 2

len Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.15a bis 3.15d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung dargestellt.

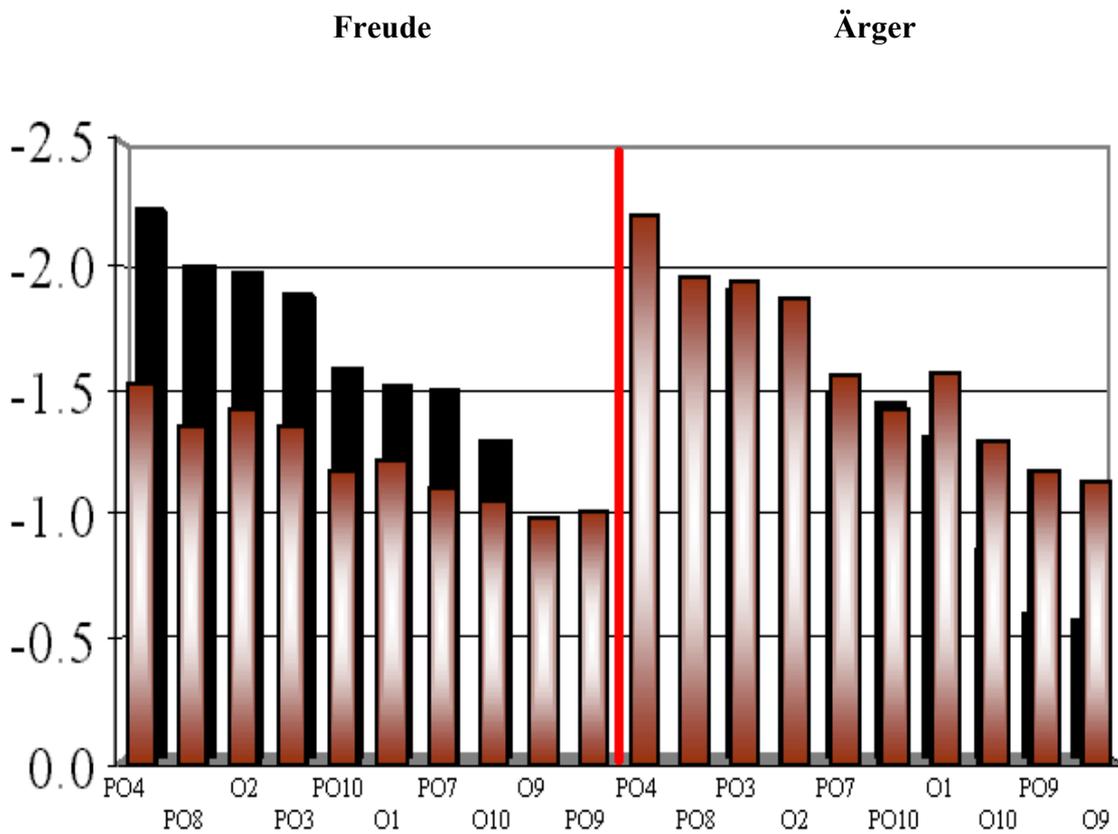
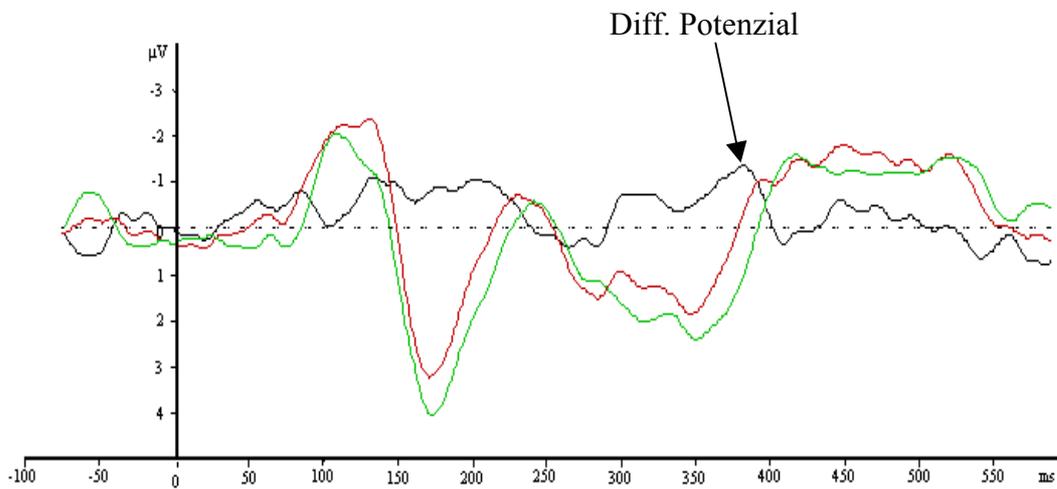


Abbildung 3.14 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) PO3/Freude



b) PO4/Freude

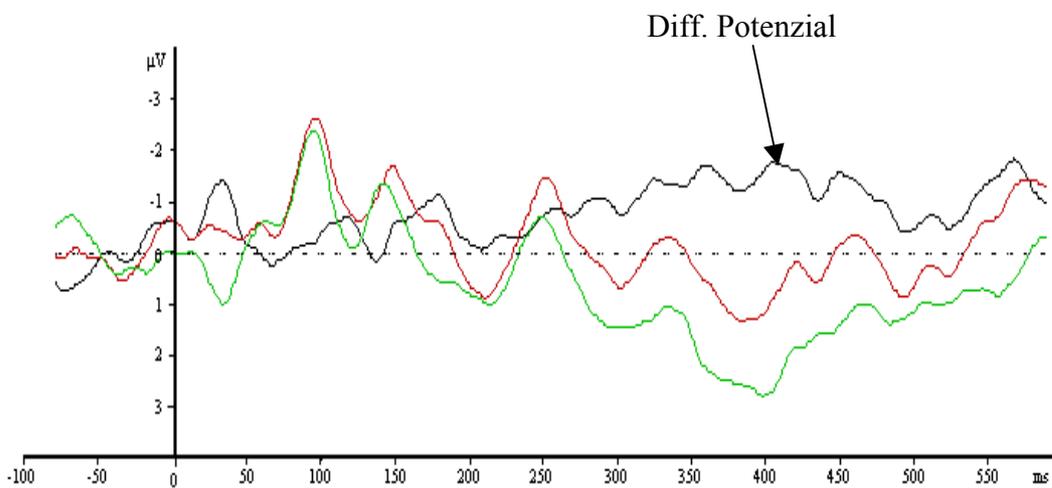
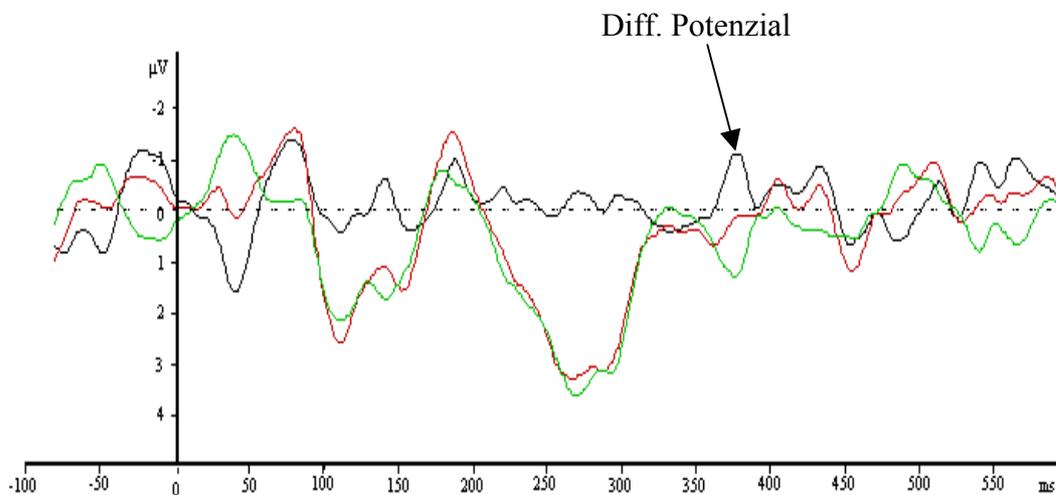


Abbildung 3.15a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) PO3/Ärger



d) PO4/Ärger

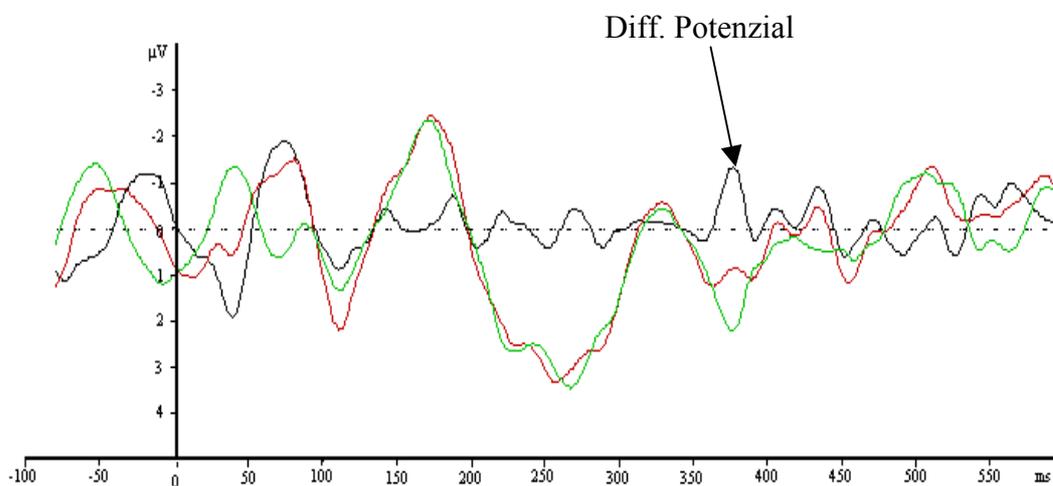


Abbildung 3.15c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Midline

Aus der Differenzbildung der Match/Mismatch-Bedingungen resultierte an allen Elektroden dieses Bereiches ein negatives Potenzial mit einem maximalen Peak in einem mittleren Latenzbereich von 338 ms bis 410 ms nach Stimulus-Onset. Die Differenz war mit $F(1/19) = 294.209$; $p < 0.0001$ hochsignifikant.

Latenz: Für die Latenzen konnte ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(2.5/47.7) = 8.197$; $p < 0.0001$. Dabei zeigten sich kürzere Latenzen an den Elektroden Fz und FCz, verglichen mit den Elektroden Pz, POz und Oz, die sich nicht signifikant voneinander unterschieden.

Amplitudenmaß: Ein signifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Prime“ gefunden werden, $F(1.0/19.0) = 4.782$; $p < 0.05$. Es zeigten sich größere Amplituden bei einer Abweichung in den Uhrzeiten als bei einer Abweichung in der emotionalen Bedeutung. Die abgeleiteten Amplituden an der Elektrode Oz zeigten im Vergleich zu allen anderen Elektroden die geringste Ausprägung. Die Amplituden an den Elektroden Fz, Cz und CPz waren kleiner als die Amplituden an der Elektrode POz. In Abbildung 3.16 sind die mittleren Amplituden einzelner Elektroden dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar. In den Abbildungen 3.17a bis 3.17d werden die evozierten Potenziale exemplarisch für jede Bedingung an den midline Elektroden dargestellt.

Ergebnisse Experiment 2

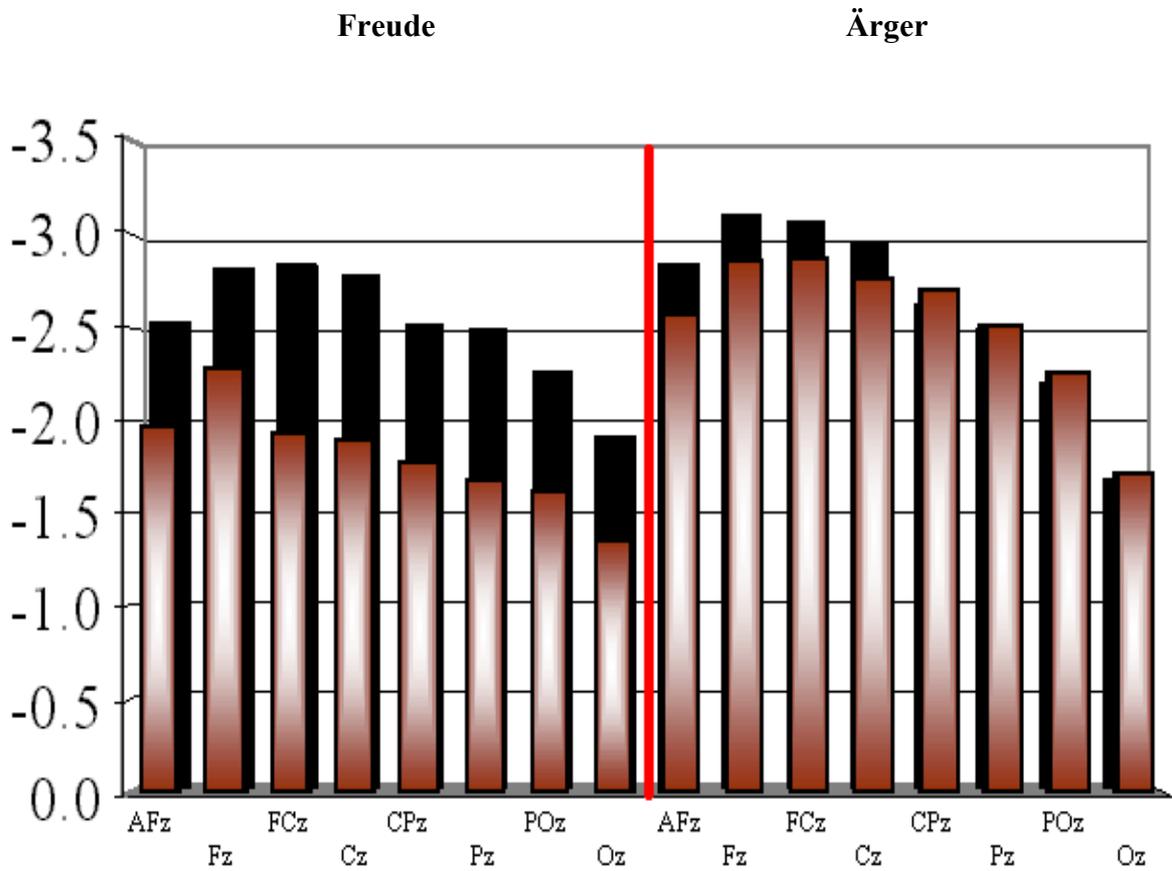
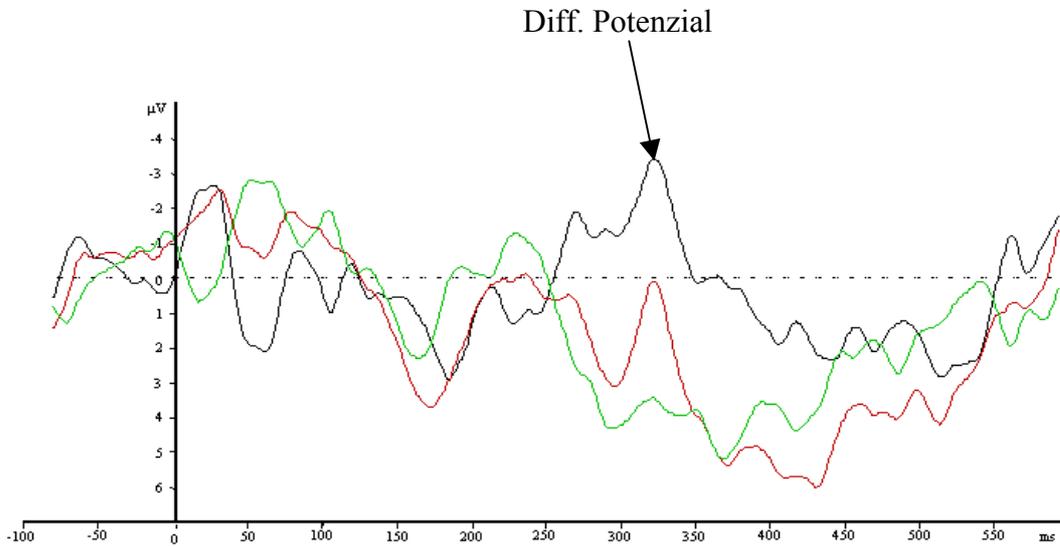


Abbildung 3.16 Mittelwerte einzelner Elektroden -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

a) FCz/Freude



b) Fz/Ärger

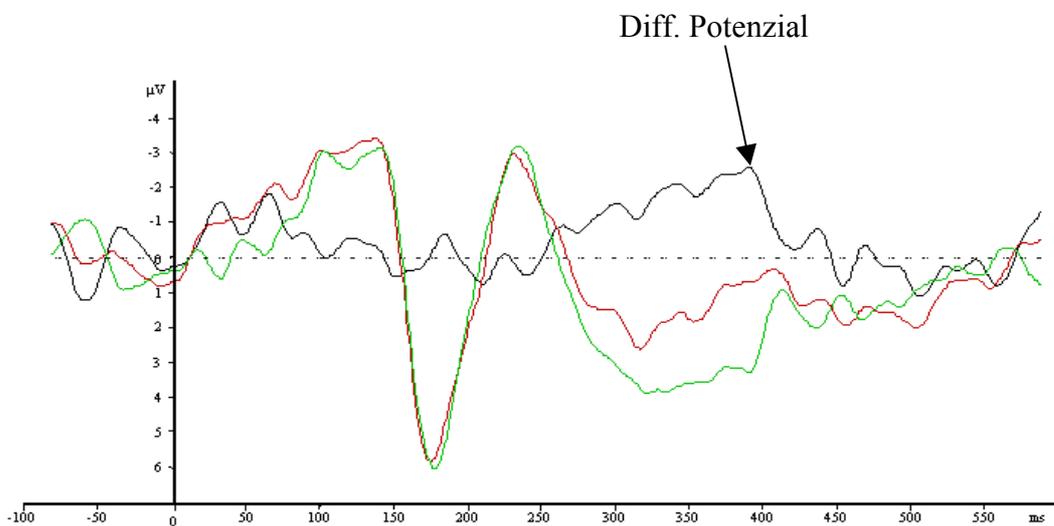
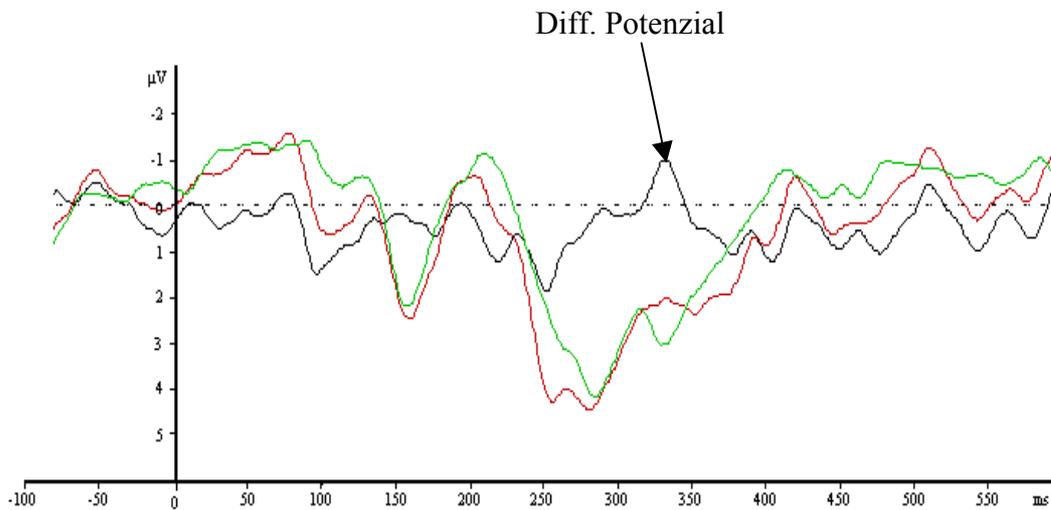


Abbildung 3.17a-b Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotential dar.

Ergebnisse Experiment 2

c) Oz/Freude



d) Oz/Ärger

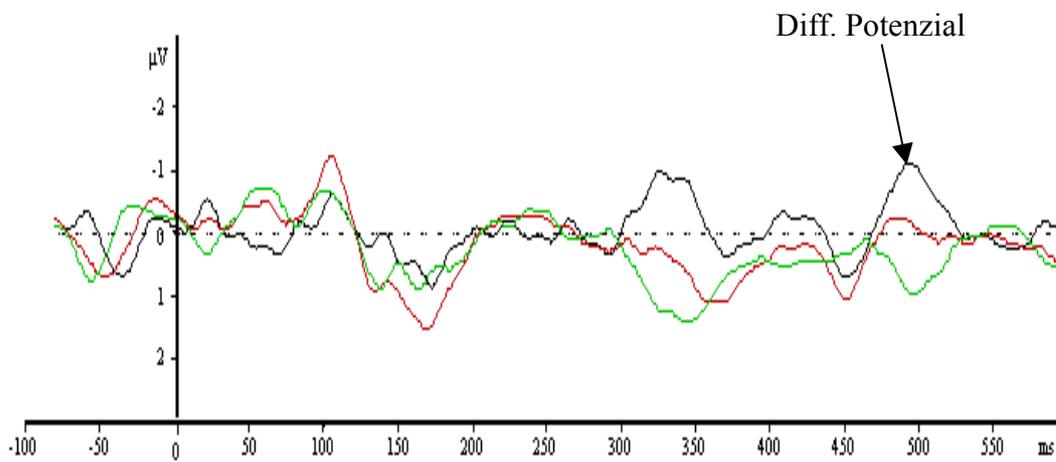


Abbildung 3.17c-d Bei den roten Kurven handelt es sich um das evozierte Potenzial, das in der Mismatch-Bedingung der Uhrzeiten abgeleitet wurde. Die grüne Kurve gibt das Potenzial der Match-Bedingung wieder. Die schwarze Kurve stellt das Differenzpotenzial dar.

Ergebnisse Experiment 2

Nach der statistischen Auswertung der evozierten Potenziale für einzelne Hirnbereiche konnte ein N400-Effekt in einem Zeitfenster von 314 ms bis 410 ms nach Darbietung einer inkongruenten emotionalen Bedeutung oder einer inkongruenten Uhrzeit beobachtet werden. Dabei wurde der Effekt für alle Elektroden einzeln berechnet. In einem nächsten Schritt wurde der Faktor „Areal“ in die varianzanalytische Berechnung aufgenommen, um die Hypothese zu überprüfen, dass der N400-Effekt in der Emotionsbedingung eine maximale Ausprägung an frontalen Elektroden zeigt. Ebenso lässt sich mit der Aufnahme des Faktors „Areal“ die maximale Ausprägung des N400-Effekts für eine Abweichung in den Uhrzeiten ermitteln. Zu diesem Zweck wurde der Faktor „Areal“ für beide Bedingungen getrennt analysiert. In diese Analyse gingen die über alle Elektroden gemittelten Amplitudenwerte der einzelnen Bereiche ein.

Latenz: In der Emotionsbedingung konnte ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Areal“ gefunden werden, $F(3.9/75.3) = 13.827$; $p < 0.0001$. Dabei zeigten sich an präfrontalen Elektroden kürzere Latenzen als an parietalen Elektroden und an occipitalen Elektroden. Die Latenzen an frontalen Elektroden waren kürzer als an frontocentralen Elektroden, an centroparietalen Elektroden, an parietalen Elektroden und an occipitalen Elektroden. Die Latenzen an frontocentralen Elektroden waren kürzer als an parietalen Elektroden. Die Latenzen an centralen Elektroden waren kürzer als an parietalen Elektroden.

In der Uhrzeitbedingung konnte ebenfalls ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Areal“ gefunden werden, $F(4.0/77.1) = 26.131$; $p < 0.0001$. Dabei zeigten sich an präfrontalen Elektroden kürzere Latenzen als an centroparietalen Elektroden, an parietalen Elektroden und an occipitalen Elektroden. Die Latenzen an frontalen Elektroden waren kürzer als an centralen Elektroden, an centroparietalen Elektroden, an parietalen Elektroden und an occipitalen Elektroden. Die Latenzen an frontocentralen Elektroden waren kürzer als an centroparietalen Elektroden, an parietalen Elektroden und an occipitalen Elektroden. Die Latenzen an centralen Elektroden waren kürzer als an parietalen Elektroden und an occipitalen Elektroden.

Ergebnisse Experiment 2

Amplitudenmaß: In der Emotionsbedingung konnte ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Areal“ gefunden werden, $F(2.9/55.4) = 26.228$; $p < 0.0001$. Dabei waren die gemittelten Amplituden an präfrontalen Elektroden größer als an frontalen Elektroden, frontocentralen Elektroden, centroparietalen Elektroden, parietalen Elektroden und occipitalen Elektroden. Die Amplituden an frontalen Elektroden waren größer als an frontocentralen Elektroden, centroparietalen Elektroden, parietalen Elektroden und occipitalen Elektroden. Die Amplituden an frontocentralen Elektroden waren größer als an centroparietalen Elektroden und parietalen Elektroden. Die Amplituden an centralen Elektroden waren größer als an frontocentralen Elektroden, centroparietalen Elektroden, parietalen Elektroden und occipitalen Elektroden.

In der Uhrzeitbedingung konnte ebenfalls ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor „Areal“ gefunden werden, $F(3.7/71.9) = 21.301$; $p < 0.0001$. Dabei waren die gemittelten Amplituden an präfrontalen Elektroden größer als an frontocentralen Elektroden, centroparietalen Elektroden, parietalen Elektroden und occipitalen Elektroden. Die Amplituden an frontalen Elektroden waren größer als an frontocentralen Elektroden, parietalen Elektroden und occipitalen Elektroden. Die Amplituden an frontocentralen Elektroden waren größer als an occipitalen Elektroden. Die Amplituden an centralen Elektroden waren größer als an centroparietalen Elektroden, parietalen Elektroden und occipitalen Elektroden. Die Amplituden an centroparietalen Elektroden waren größer als an occipitalen Elektroden. In Abbildung 3.18 sind die mittleren Amplituden der einzelnen Bereiche dargestellt. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der Uhrzeiten dar, die braunen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf eine Abweichung der emotionalen Bedeutung dar.

Ergebnisse Experiment 2

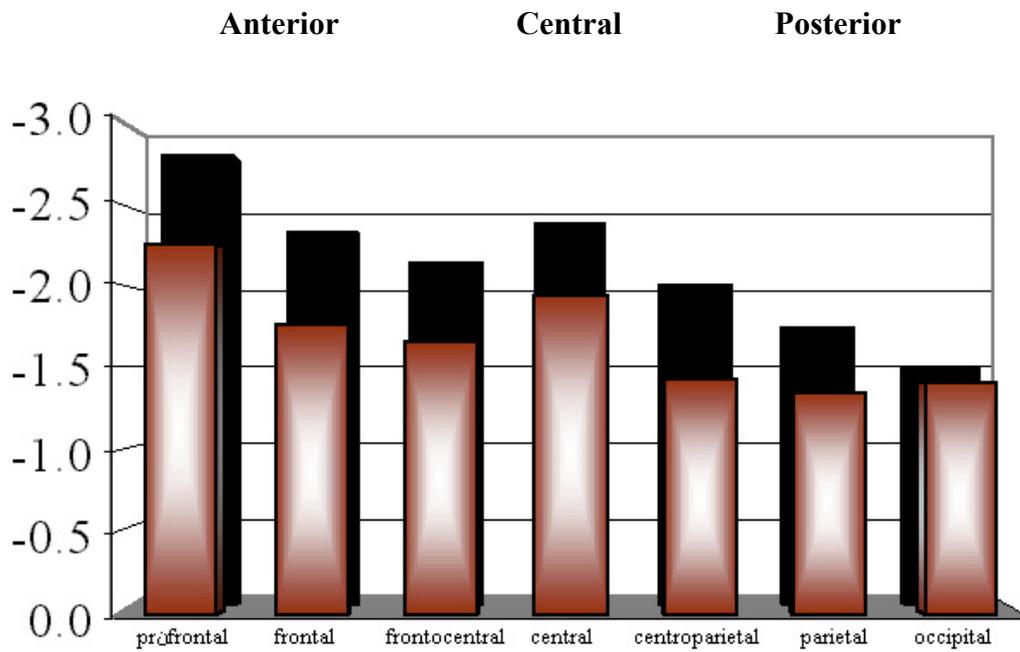


Abbildung 3.18 Mittelwerte einzelner Hirnbereiche -schwarze Säulen = Abweichungen in den Uhrzeiten; -braune Säulen = Abweichungen in der emotionalen Bedeutung

Ergebnisse Experiment 2

3.4.2 Die gesichtsspezifische N170: Amplituden und Latenzen

In Übereinstimmung mit den in der Einleitung beschriebenen ERP-Studien und den Ergebnissen in Experiment 1 konnte auch im zweiten Experiment eine N170-Komponente in einem Zeitfenster von 140 ms bis 200 ms nach Darbietung eines schematischen Gesichtes, das gleichzeitig eine Uhr darstellte, an folgenden posterioren Elektroden beobachtet werden: P1/P2, P1a/P2a, P3/P4, P5/P6, P7/P8, P7a/P8a, P9/P10, P9a/P10a, PO7/PO8, O9/O10 und PO9/PO10. Für die statistische Analyse der Auswirkung des emotionalen Gesichtsausdruckes auf die N170 wurden wie in Experiment 1 auch, für den Faktor „Emotion“ die Bedingungen zusammengefasst, in denen ein identischer Gesichtsausdruck dargeboten wurde. Für die Emotion „Freude“ gingen somit die Freude-Match-Bedingung und die Ärger-Mismatch-Bedingung gemeinsam in die Berechnung ein, für die Emotion „Ärger“ die Ärger-Match-Bedingung sowie die Freude-Mismatch-Bedingung. Im zweiten Experiment wurde zusätzlich der Faktor „Prime“ in die statistische Auswertung aufgenommen, um die Hypothese zu überprüfen, dass sich eine N170 auch dann zeigt, wenn das aufgabenrelevante Kriterium eine Uhrzeit und somit keine Gesichtsinformation ist. Alle Amplituden, Latenzen sowie deren Standardabweichungen für jede Bedingung werden in Anhang B in den Tabellen B17 bis B20 dargestellt.

Latenzen: Für die Latenzen der N170 konnte ein signifikanter Haupteffekt für die „Hemisphäre“ gefunden werden, $F(1.0/34.0) = 6.974$; $p < 0.05$. Dabei waren die Latenzen an rechtshemisphärischen Elektroden kürzer als an linkshemisphärischen Elektroden. Des Weiteren konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden. Dabei zeigten sich signifikant kürzere Latenzen an den Elektroden O9/O10 als an den Elektroden P9/P10, P9a/P10a und P7a/P8a. Die Latenzen an den Elektroden P7a/P8a waren signifikant länger als an den Elektroden P5/P6 und P3/P4.

Ergebnisse Experiment 2

Amplituden: Ein hochsignifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Hemisphäre“ gefunden werden, $F(1.0/34.0) = 59.981$; $p < 0.0001$. Dabei waren die Amplituden an rechtshemisphärischen Elektroden im Vergleich zu den Amplituden an linkshemisphärischen Elektroden größer. Ein signifikanter Haupteffekt konnte für den Faktor „Elektrode“ gefunden werden, $F(1.9/66.8) = 7.641$; $p < 0.05$. Dabei waren die Amplituden an den Elektroden PO7/PO8 größer als an allen anderen Elektroden. Die Amplituden an den Elektroden P9a/P10a waren größer als die Amplituden an den Elektroden P7a/P8a, PO9/PO10 und O9/O10. Die Amplituden an den Elektroden P7/P8 waren größer als die Amplituden an den Elektroden P7a/P8a. Abbildung 3.18 stellt die mittleren Amplituden auf die emotionalen Gesichtsausdrücke in der Emotionsbedingung dar. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf den ärgerlichen Gesichtsausdruck (Ärger/Match und Freude/Mismatch) dar, die braunen Säulen geben die Werte als Reaktion auf den freudigen Gesichtsausdruck (Freude/Match und Ärger/Mismatch) wieder. Abbildung 3.19 stellt die mittleren Amplituden auf die emotionalen Gesichtsausdrücke in der Uhrzeitbedingung dar. Die schwarzen Säulen stellen die Amplituden als Reaktion auf den ärgerlichen Gesichtsausdruck (Ärger/Match und Freude/Mismatch) dar, die braunen Säulen geben die Werte als Reaktion auf den freudigen Gesichtsausdruck (Freude/Match und Ärger/Mismatch) wieder. In den Abbildungen 3.20a bis 3.20d werden N170-Komponenten exemplarisch für jede Bedingung, in denen eine Uhrzeit der Prime war, dargestellt.

Ergebnisse Experiment 2

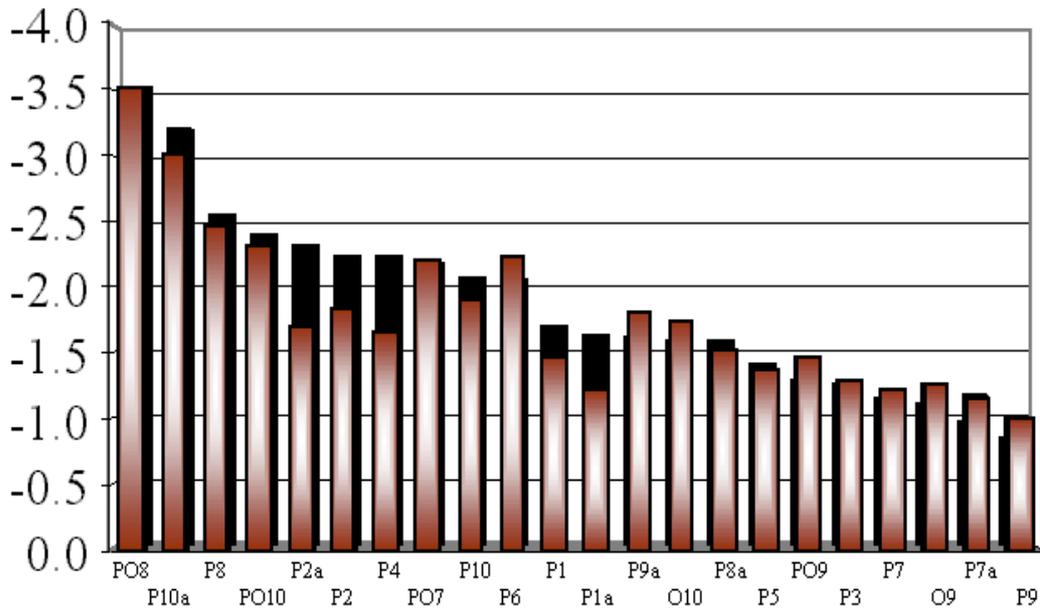


Abbildung 3.18 Mittelwerte einzelner Elektroden zusammengefasst nach Gesichtsausdrücken:
-schwarze Säulen = ärgerliches Gesicht; -braune Säulen = freudiges Gesicht

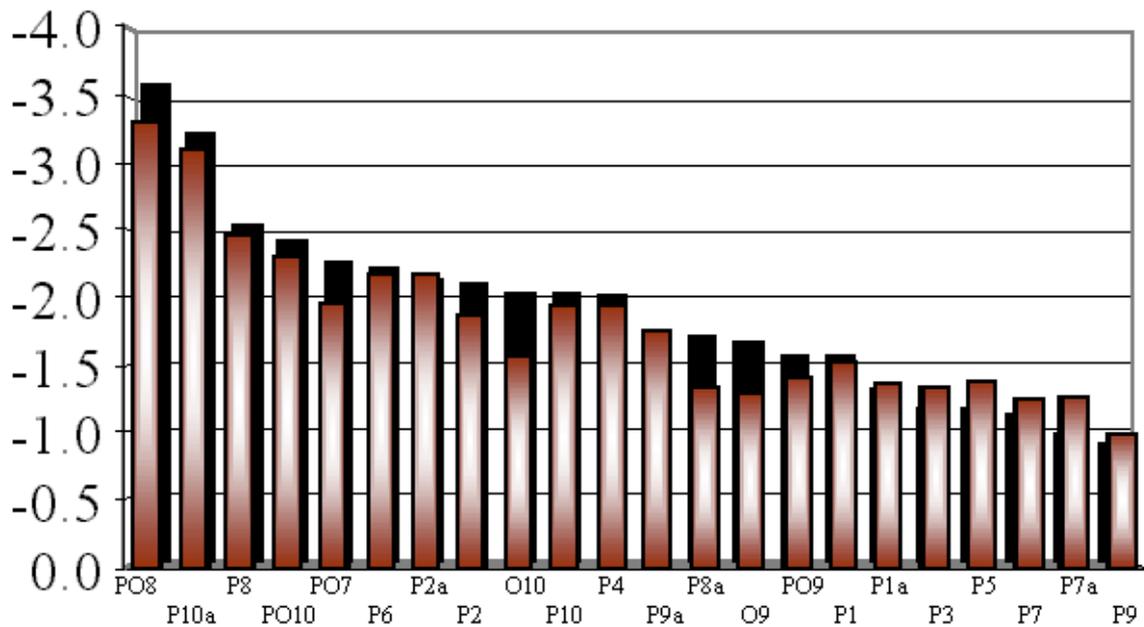
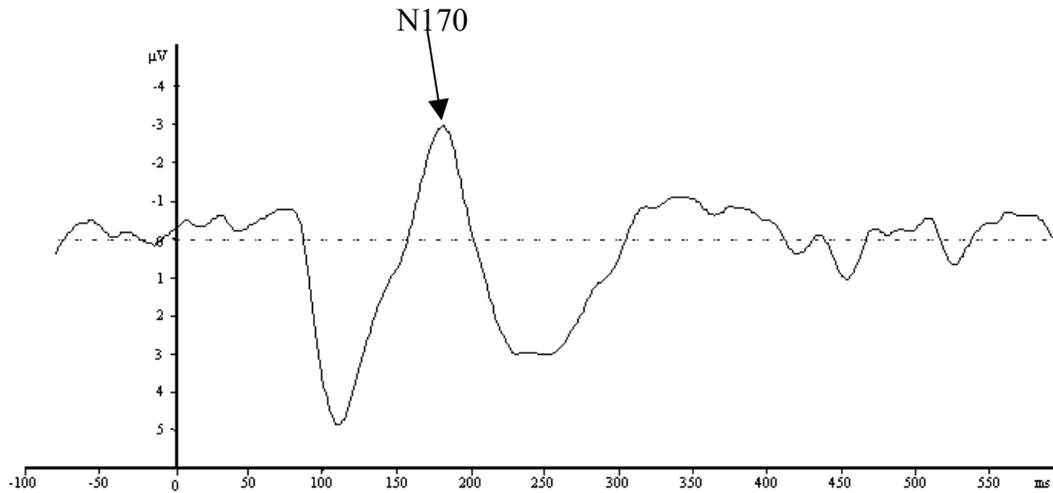


Abbildung 3.19 Mittelwerte einzelner Elektroden zusammengefasst nach Gesichtsausdrücken:
-schwarze Säulen = ärgerliches Gesicht; -braune Säulen = freudiges Gesicht.

Ergebnisse Experiment 2

a) PO7/Freude



b) PO8/Freude

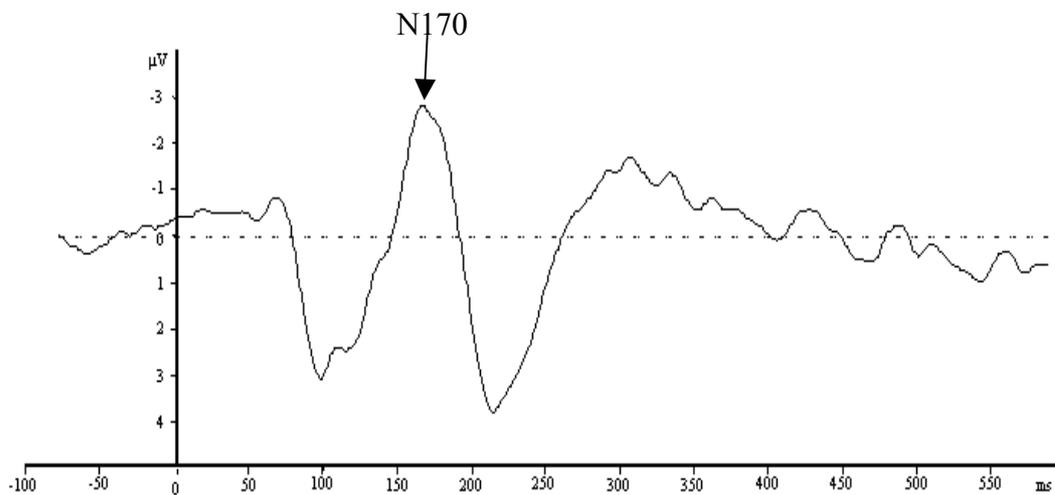
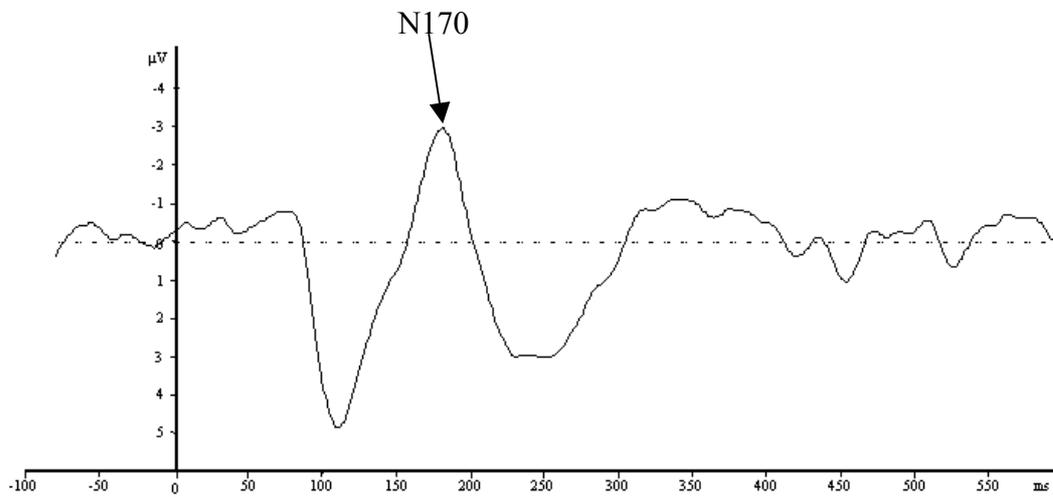


Abbildung 3.20a-b Bei den dargestellten Potenzialen handelt es sich um die N170, die in der Uhrzeitbedingung auf Gesichter, die die Emotion „Freude“ ausdrückten, abgeleitet wurde.

Ergebnisse Experiment 2

c) PO7/Ärger



d) PO8/Ärger

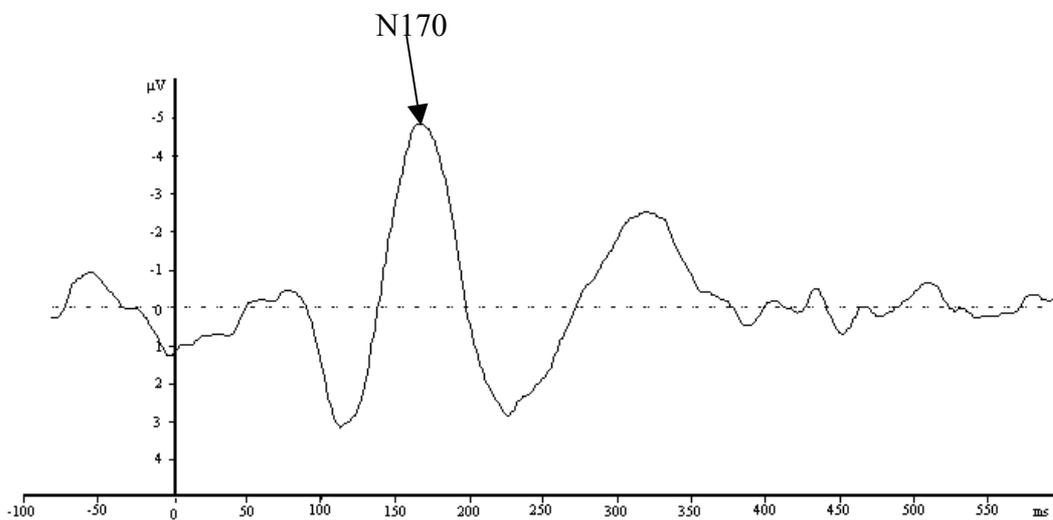


Abbildung 3.20c-d Bei den dargestellten Potenzialen handelt es sich um die N170, die in der Uhrzeitbedingung auf Gesichter, die die Emotion „Ärger“ ausdrückten, abgeleitet wurde.

Diskussion Experiment 2

3.5 Diskussion Experiment 2

Ziel des zweiten Experimentes der vorliegenden Untersuchung war es, die Verarbeitung einer emotionalen Stimulusinformation im Vergleich zur Verarbeitung einer nichtemotionalen Stimulusinformation anhand der N170-Komponente und des N400-Effekts zu analysieren. In Experiment 1 konnte gezeigt werden, dass sich bei einer fokussierten Verarbeitung unterschiedlicher emotionaler Gesichtsausdrücke eine Modulation der N170 in der Ausprägung ihrer Amplitude durch unterschiedliche emotionale Bedeutungen beobachten lässt, d.h., es traten größere Amplituden als Reaktion auf die Darbietung ärgerlicher Gesichter im Vergleich zur Darbietung freudiger Gesichter auf. Um zu überprüfen, ob dieser Verarbeitungsprozess einer fokussierten Aufmerksamkeit bedarf, oder ob es sich dabei um einen im zentralen Nervensystem automatisch ablaufenden Vorgang handelt, wurde im zweiten Experiment die Fokussierung der Aufmerksamkeit durch zwei unterschiedliche aufgabenrelevante Kriterien variiert. Dazu wurden die in Experiment 1 dargebotenen schematischen Gesichter derart modifiziert, dass sie nicht nur Gesichter darstellten, sondern gleichzeitig Uhren mit unterschiedlichen Uhrzeiten (Vier Uhr und Zwei Uhr). Um die Verarbeitung der emotionalen Gesichtsausdrücke und ebenfalls die Verarbeitung der Uhrzeiten (und damit eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf diese nichtemotionale und nicht-gesichtsrelevante Stimulusinformation) zu gewährleisten, wurde der schon in Experiment 1 gefundene und unter Punkt 1.3.2 beschriebene N400-Effekt verwendet. In zufällig wechselnder Abfolge wurden (bedingt durch den Prime: Emotionswort oder Uhrzeit) entweder der emotionale Gesichtsausdruck oder eine Uhrzeit für die Aufgabenstellung relevant, wobei die Aufgabe der Vpn im Zählen der Übereinstimmungen zwischen der Bedeutung des Prime-Stimulus und des Probe-Stimulus, unabhängig von der Bedingung, bestand. In Hypothese 1 des zweiten Experimentes wurde ein N400-Effekt auch bei einer Abweichung zwischen einer wörtlich ausgedrückten Uhrzeit und einer graphisch dargestellten Uhrzeit postuliert. Wie die Ergebnisse zeigen, konnte die Hypothese 1 bestätigt werden (vgl. Abschnitt 3.4.1). Die Differenzbildung aus Mismatch und Match-Bedingungen in den Uhrzeiten führte, wie in der Emotionsbedingung in beiden Experimenten, auch zu einer

Diskussion Experiment 2

signifikant von Null abweichenden Negativierung des evozierten Potenzials im Bereich von 400 ms. Somit ließ sich die Verarbeitung zweier unterschiedlicher semantischer Stimulusinformationen (Verarbeitung des emotionalen Gesichtsausdrucks vs. Verarbeitung der Uhrzeiten) hinsichtlich ihrer zeitlichen Charakteristik, ihrer Ausprägung und ihrer Topographie vergleichend untersuchen.

Die auf diese Fragestellung bezogene Hypothese 2 besagte, dass sich der durch eine Abweichung in der emotionalen Bedeutung hervorgerufene N400-Effekt hinsichtlich seiner Topographie und seiner Latenz von dem N400-Effekt unterscheidet, der durch eine Abweichung in den Uhrzeiten hervorgerufen wird. Ausgehend von den in Experiment 1 erhaltenen Ergebnissen wurde für eine Abweichung in der emotionalen Bedeutung eine maximale Ausprägung des N400-Effekts in präfrontalen Bereichen angenommen. Eine derartige maximale Ausprägung in der N400-Amplitude wurde zwar auch im zweiten Experiment in der Emotionsbedingung gefunden, allerdings wurde in der Uhrzeitbedingung ebenfalls ein N400-Maximum an präfrontalen Elektroden beobachtet. Da innerhalb des präfrontalen Bereiches kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Prime“ (Uhrzeit vs. emotionale Bedeutung) und „Elektrode“ oder „Prime“ und „Hemisphäre“ auftrat, lassen sich aus der an präfrontalen Elektroden abgeleiteten neuronalen Aktivität keine Rückschlüsse auf eine unterschiedliche Lokalisation bei der Verarbeitung emotionaler und nichtemotionaler Stimulusinformationen ziehen. Auch konnte kein signifikanter Interaktionseffekt „Prime“ und „Elektrode“ oder „Prime“ und „Hemisphäre“ in einem der weiteren, separat berechneten Hirnareale (Frontal, Frontocentral, Central, Centroparietal, Parietal und Occipital) gefunden werden. Die Einbeziehung des Faktors „Areal“ in die statistische Auswertung, bei dem die über alle Elektroden eines Bereiches gemittelten Werte berücksichtigt wurden, erbrachte ebenfalls keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Areal“ und „Prime“ oder „Areal“ und „Prime“ und „Hemisphäre“, so dass in keinem Bereich des Cortex eine unterschiedliche Topographie für die Verarbeitung emotionaler und nichtemotionaler Stimulusinformationen gefunden werden konnte (vgl. Abschnitt 3.4.1).

Diskussion Experiment 2

Dagegen zeigte sich in der Stärke der neuronalen Reaktion ein signifikanter Unterschied zwischen Uhrzeitbedingung und Emotionsbedingung. In allen Bereichen des Cortex konnten größere N400-Amplituden in der Uhrzeitbedingung als in der Emotionsbedingung abgeleitet werden (vgl. Abschnitt 3.4.1). Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass der Vergleich der Uhrzeiten schwieriger ist als der Vergleich der emotionalen Bedeutung und daher mehr neuronale Aktivität erfordert, was sich in einer größeren Negativierung zeigt. Einen vergleichbaren Effekt berichteten Kutas und Hillyard (1984). Sie fanden in einem Satzleseparadigma eine höhere Ausprägung der N400-Komponente, wenn diese durch ein inkongruentes Wort am Satzende hervorgerufen wurde, das mit geringerer Wahrscheinlichkeit erwartet wurde und daher schwieriger in den Kontext zu integrieren war.

Ein weiterer signifikanter Unterschied zwischen der Emotionsbedingung und der Uhrzeitbedingung trat bezüglich des dargebotenen emotionalen Kontextes an frontalen, centralen, centroparietalen, parietalen und occipitalen Elektroden auf. An frontalen, centralen und centroparietalen Elektroden zeigten sich nur in der Emotionsbedingung größere Amplituden für die Emotion „Ärger“, verglichen mit der Emotion „Freude“ (vgl. Abschnitt 3.4.1). In der Uhrzeitbedingung hatte die in dem Gesicht ausgedrückte emotionale Bedeutung keinen Einfluss auf den N400-Effekt. Dagegen waren an parietalen und occipitalen Elektroden die Amplituden in der Emotionsbedingung für die Emotion „Freude“ größer. In diesen beiden posterioren Hirnregionen zeigte sich auch ein Einfluss des emotionalen Gesichtsausdrucks in der Uhrzeitbedingung. Die Amplituden waren größer, wenn das Gesicht im Hintergrund die Emotion „Freude“ darstellte. Eine mögliche Ursache für die gefundenen Unterschiede in der Ausprägung der Amplitude innerhalb der Bedingungen (1. größere Amplituden in der Emotionsbedingung für die Emotion „Ärger“ an frontalen, centralen und centroparietalen Elektroden vs. größere Amplituden für die Emotion „Freude“ an parietalen und occipitalen Elektroden und 2. größere Amplituden nur an parietalen und occipitalen Elektroden in der Uhrzeitbedingung, wenn das Gesicht die Emotion „Freude“ darstellte) könnte darin liegen, dass es in posterioren Hirnarealen eher zu einer Verarbeitung der strukturellen Eigenschaften

Diskussion Experiment 2

eines Reizes kommt und die unterschiedliche Amplitudenausprägung unabhängig von der Bedeutung der Stimuli zustande gekommen ist. Ein ähnlicher Befund wurde von Olivares, Bobes und Valdes-Sosa (1994) berichtet. In ihrem Experiment, in denen sie als Stimuli ebenfalls schematische Gesichter verwendeten, konnten sie einen N400-Effekt finden, wenn zwei Augenpartien von einander abwichen, d.h. zu verschiedenen schematischen Gesichtern gehörten, ohne dass die Versuchspersonen irgendeine semantische Assoziation mit den Gesichtern hatten. Lokalisiert war die von den Autoren als N374 benannte Komponente mit einem Maximum an den Elektroden Pz, O1 und O2, also parietal und occipital, wie im vorliegenden Experiment 2.

Die Tatsache, dass sich für die Verarbeitung emotionaler vs. nichtemotionaler Stimulusinformationen keine Unterschiede in der Topographie finden ließen, deutet darauf hin, dass der zu verarbeitende Inhalt der dargebotenen Stimuli keinen Einfluss auf die an der Verarbeitung beteiligten Hirnbereiche hatte. Hamm et al. (2002) gingen aufgrund der Ergebnisse ihrer Untersuchung davon aus, dass das Level, auf dem die Verarbeitung stattfindet, für die an der Verarbeitung beteiligten Bereiche verantwortlich sei. Eine frontale Mismatch-Negativierung wurde von ihnen als spezifisch für eine kategoriale Verarbeitung von nonverbalen Stimuli angesehen. Die Entscheidung der Versuchspersonen, ob ein emotionaler Gesichtsausdruck in seiner Bedeutung mit einem vorangegangenen Emotionswort übereinstimmt, konnte in Experiment 2 wie in Experiment 1 auch auf einer kategorialen Ebene getroffen werden, da es sich bei den zwei verschiedenen emotionalen Bedeutungen um zwei entgegengesetzte Valenzen handelte. So konnte beispielsweise eine Abweichung des Gesichtsausdruckes vom Emotionswort „Freude“ durch ein ärgerliches Gesicht aufgrund eines kategorialen Entscheidungsprozesses erkannt werden, ohne dass eine Zuordnung des Ausdruckes zu einer spezifischen Emotion notwendig war. Der Vergleich der Uhrzeiten konnte von den Versuchspersonen ebenfalls auf einer kategorialen Ebene getroffen werden. Wurde beispielsweise die Uhrzeit „Vier“ verbal geprimed, konnte eine Abweichung durch die gezeigte Uhrzeit „Zwei“ aufgrund der Orientierung der Stundenzeiger (vgl. Abbildung 3.1) erkannt werden, ohne dass die abweichende Uhrzeit exakt erkannt werden musste.

Diskussion Experiment 2

Bezüglich der Latenzen des N400-Effekts wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen gefunden. Eine schnellere Verarbeitung der emotionalen Stimulusinformation im Vergleich zur nichtemotionalen Stimulusinformation konnte somit nicht gezeigt werden.

In Hypothese 3 wurde das Auftreten der gesichtsspezifischen N170 auch dann angenommen, wenn die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen durch einen entsprechenden Prime auf die Uhr bzw. die Uhrzeit fokussiert wird. Bentin et al. (2002) hatten zeigen können, dass einfache graphische Elemente (Linien und Strichzeichnungen) zur Auslösung einer N170 führten, wenn sie in einem Gesichtskontext dargeboten wurden. Eine mögliche Ursache dafür könnte eine erhöhte Bereitschaft des menschlichen Gehirns sein, einen visuellen Stimulus als ein Gesicht wahrzunehmen, da das Erkennen von Gesichtern und von darin enthaltenen Informationen (z.B. der emotionale Ausdruck oder die Identität) eine hohe Relevanz für die soziale Interaktion darstellt (Eibl-Eibesfeldt, 1989). Hypothese 3 konnte bestätigt werden, da sich unabhängig von der gestellten Aufgabe (Beachtung der Uhr vs. Beachtung des emotionalen Gesichtsausdrucks) eine N170-Komponente an posterioren Elektroden ableiten ließ. Wie in Experiment 1 ließ sich diese Komponente an der Schädeloberfläche in Bereichen ableiten (Cortexareale über dem extrastriären Cortex), die für die Verarbeitung von Gesichtern verantwortlich zu sein scheinen (vgl. Abschnitt 1.2). Andere Unterschiede in der Lokalisation der N170 zwischen Uhrzeitbedingung und Emotionsbedingung zeigten sich nicht. Somit lässt sich folgern, dass in beiden Bedingungen die Auslösung der N170 gleichermaßen auf Grund der strukturellen Anordnung der Stimuli erfolgte, wobei eine fokussierte Beachtung und Wahrnehmung des Stimulus als ein Gesicht nicht notwendig war.

Eine rechtshemisphärische Dominanz, wie sie bei der Verarbeitung von Gesichtern angenommen wird (z.B. Sergent et al., 1992; Kanwisher et al., 1997; Bentin & Deouell, 2000), zeigte sich bei der abgeleiteten N170, bei der eine größere Ausprägung der Amplituden an den Elektroden der rechten Hemisphäre auftrat. Ein weiterer Hinweis

Diskussion Experiment 2

auf eine Dominanz der rechten Hemisphäre kann ebenfalls in der kürzeren Latenz der N170 an Elektroden der rechten Hirnhälfte im Vergleich zu den Latenzen an linkshemisphärischen Elektroden angesehen werden. Das Auftreten der N170 an linkshemisphärischen Elektroden zeigt aber auch, dass beide Hemisphären an der Verarbeitung von Gesichtern beteiligt sind.

Eine signifikante Modulation der N170-Komponente durch unterschiedliche Gesichtsausdrücke, wie sie in Experiment 1 gefunden werden konnte, zeigte sich im zweiten Experiment nicht, allerdings waren auch hier die Amplituden als Reaktion auf einen ärgerlichen Gesichtsausdruck größer, im Vergleich zu den Amplituden als Reaktion auf einen freudigen Gesichtsausdruck (vgl. Abschnitt 3.4.1). Hypothese 4 konnte somit nicht bestätigt werden. Eine mögliche Ursache für das Fehlen dieses Effekts könnte darin liegen, dass es durch die gleichzeitig im Gesicht dargestellte Uhr schwieriger ist, eine emotionale Bedeutung aus dem Gesicht zu extrahieren. Eine weitere Ursache für das Fehlen des Effekts könnte sein, dass die beiden emotionalen Gesichtsausdrücke in gleicher Anzahl mit beiden Uhrzeiten dargeboten wurden. Die Darbietung verschiedener Uhrzeiten bedingt eine Veränderung in der Zeigerstellung der Uhr, so dass der Stundenzeiger bei der Uhrzeit „Zwei“ eine Orientierung nach oben aufwies, bei der Uhrzeit „Vier“ war die Orientierung des Stundenzeigers nach unten gerichtet. Dadurch könnte es beispielsweise zu einer Konfundierung des freudigen Gesichtsausdruckes (Mundwinkelstellung nach oben) mit dem nach unten gerichteten Stundenzeiger kommen, wenn die dargestellte Uhrzeit Vier Uhr war. Umgekehrt könnte ein nach oben gerichteter Stundenzeiger (Zwei Uhr) die Verarbeitung eines ärgerlichen Gesichtsausdrucks (Mundwinkelstellung nach unten) erschweren. Diese Konfundierung führt möglicherweise zu einer Störung von „Top-Down-Prozessen“, die in dem kognitiven Modell der Gesichtererkennung von Bruce und Young (1986, vgl. Abbildung 1.1) einen Einfluss auf die Wahrnehmung von Gesichtern haben können. So ist es Menschen selbst aus unterschiedlichen Kulturen möglich, die im Gesicht ausgedrückte Emotion zu erkennen und zu beschreiben, wenn das Gesicht in einer für die jeweilige Emotion typischen Art und Weise „verzogen“ wird (Ekman et al., 1969; Izard, 1971; Ekman &

Diskussion Experiment 2

Friesen, 1975). Beispielsweise führt die Darbietung eines Gesichtes, in dem die Mundwinkel nach oben gerichtet sind, zu der Beurteilung des Gesichtsausdrucks als einen freudigen Ausdruck. Sind die Mundwinkel nach unten gerichtet, wird die ausgedrückte Emotion einer negativen Valenz zugeordnet. Werden nun entgegengesetzte Hinweise im Gesicht dargeboten (z.B. ein nach unten gerichteter Stundenzeiger und ein nach oben gerichteter Mundwinkel) kann dies die Wahrnehmung des emotionalen Gesichtsausdrucks erschweren. Eine genauere Untersuchung dieses Aspektes ließe sich in weiteren Arbeiten dadurch realisieren, dass neben den unterschiedlichen Gesichtsausdrücken die dargestellte Uhrzeit einen eigenständigen Faktor „Uhrzeit“ darstellen könnte. Somit ließe sich beispielsweise die Darbietung des freudigen Gesichtsausdruckes (Mundwinkelstellung nach oben) mit dem nach unten gerichteten Stundenzeiger vergleichen mit der Darbietung des freudigen Gesichts und einem nach oben gerichteten Stundenzeiger. Eine Konfundierung durch die Stellung des Stundenzeigers sollte sich in einer signifikanten Interaktion zwischen den Faktoren „Uhrzeit“ und „Emotion“ zeigen.

4 Zusammenfassende Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erfassung hirnpfysiologischer Korrelate der Verarbeitung emotionaler und nichtemotionaler visueller Stimulusinformationen. Als Stimuli, in denen emotionale und nichtemotionale Informationen dargeboten wurden, bekamen die Versuchspersonen einfache schematische Gesichter präsentiert. Emotionale Stimulusinformationen wurden durch zwei unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke (freudig bzw. ärgerlich) übermittelt. Nichtemotionale Stimulusinformationen wurden im zweiten Experiment dadurch dargeboten, dass die schematischen Gesichter gleichzeitig eine Uhr mit unterschiedlichen Uhrzeiten (Zwei Uhr bzw. Vier Uhr) darstellten. Ein Hauptaugenmerk bei der Gestaltung der Experimente wurde in der vorliegenden Arbeit darauf gerichtet, dass eine semantische Verarbeitung der aufgabenrelevanten Stimulusinformationen (emotionale Gesichtsausdrücke in Experiment 1 sowie emotionale Gesichtsausdrücke und Uhrzeiten in Experiment 2) kontrolliert und sichergestellt werden konnte. Als hirnpfysiologische Korrelate wurden visuell evozierte Potenziale durch Ableitung eines Elektroenzephalogramms analysiert. Hierbei wurden speziell zwei Komponenten im evozierten Potenzial untersucht, eine gesichtsspezifische Negativierung (N170-Komponente) und eine Negativierung, deren Auslösung eine semantische Abweichung eines Reizes von einem vorhergehenden Kontext widerspiegelt (N400-Komponente bzw. N400-Effekt). Die zu untersuchenden Aspekte der hirnpfysiologischen Korrelate der Verarbeitung emotionaler und nichtemotionaler visueller Stimulusinformationen waren die zeitliche Charakteristik (ausgedrückt in der Latenz), das Ausmaß der neuronalen Reaktion (ausgedrückt in der abgeleiteten Amplitude) sowie die jeweilige Topographie, wobei zur möglichst weitgehenden Kompensation des unter Punkt 1 beschriebenen Nachteils der eher geringen räumlichen Auflösung visuell evozierter Potenziale 124 Ableitungselektroden verwendet wurden.

Eine semantische Verarbeitung der dargebotenen Stimuli wurde in beiden Experimenten dadurch erreicht, dass ein semantisches Priming in einem sogenannten „Cross-Modality-Paradigma“ verwendet wurde. Den Ausgangspunkt für die Verwendung des

Zusammenfassende Diskussion

semantischen Primings bildet der von Kutas und Hillyard (1980) gefundene und unter Punkt 1.3.2 ausführlich beschriebene N400-Effekt. In ihrer ursprünglichen Untersuchung, die im Rahmen der Sprachforschung durchgeführt wurde, präsentierten Kutas und Hillyard ihren Versuchspersonen Sätze auf einem Bildschirm, die aus sechs separat dargebotenen Wörtern bestanden. Wurden die Sätze mit einem Wort beendet, das semantisch von dem Kontext des Satzes abwich, konnten sie ein negatives evoziertes Potenzial ableiten, das sein Maximum (maximaler Peak) ca. 400 ms nach Darbietung des abweichenden Wortes hatte. Dabei handelte es sich um ein Differenzpotenzial, das sich aus der Subtraktion der Bedingung, in denen keine semantische Abweichung des letzten Wortes vorlag, von der Bedingung, in denen eine semantische Abweichung des letzten Wortes vorlag, ergab. Die Ausprägung dieses Potenzials (gemessen in der Amplitude) war umso größer, je stärker die semantische Abweichung des Wortes vom vorhergehenden Kontext war. Kutas und Hillyard schlossen aus den Ergebnissen, dass es sich bei dieser, von ihnen als N400 bezeichneten Komponente, um eine neuronale Aktivität handelt, die eine semantische Abweichung eines Wortes von einem Kontext widerspiegelt und daher eine Verarbeitung auf semantischer Ebene anzeigt. Weitere Untersuchungen (z.B. Kutas & Hillyard, 1984; Neville et al., 1986) konnten diese Annahme bestätigen und darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass sich der durch eine semantische Abweichung hervorgerufene N400-Effekt unabhängig von der Darbietungsmodalität der Sätze (Wort für Wort-Präsentation auf einem Bildschirm, auditive Darbietung der Sätze und Darbietung per Zeichensprache) auslösen ließ. Der N400-Effekt konnte ebenfalls bei der Verwendung nonverbaler Stimuli, wie z.B. Bilder von Tieren oder Objekten (z.B. Barrett & Rugg, 1990; Nigam et al., 1992; Holcomb & McPherson, 1994) und Gesichtern gefunden werden (z.B. Barrett et al., 1988; Valdes-Sosa & Bobes, 1990; Münte et al., 1998). Die Auslösung der N400 bei der Darbietung von Gesichtern als Stimuli war für die Experimente der vorliegenden Arbeit von Bedeutung. In den unter Punkt 1.3.2.1 beschriebenen Untersuchungen, wurden sogenannte Face-Matching-Paradigmen verwendet, in denen Gesichter anhand eines vorher definierten, aufgabenrelevanten Kriteriums (der emotionale Ausdruck oder die Identität) miteinander verglichen werden sollten. Im Falle einer Abweichung innerhalb des

Zusammenfassende Diskussion

aufgabenrelevanten Kriteriums konnte ein N400-Effekt gefunden werden, der sich, je nach Aufgabenstellung, mit einer unterschiedlichen Topographie zeigte (z.B. Münte et al., 1998). Die unterschiedliche Topographie bei der Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks und der Verarbeitung der Identität steht im Einklang mit den unter Punkt 1.1 beschriebenen kognitiven Modellen der Gesichtererkennung (vgl. Abbildung 1.1 und Abbildung 1.2), in denen eine voneinander unabhängige, aber parallel ablaufende Verarbeitung des emotionalen Gesichtsausdrucks und der Identität eines wahrgenommenen Gesichts postuliert wird. Demzufolge sollte sich die Verarbeitung des emotionalen Ausdrucks explizit und getrennt von der Identität semantisch primen und untersuchen lassen, was sich durch unterschiedliche topographische Aktivierungsmuster zwischen den Bedingungen bestätigen ließ. Bei der Interpretation der Ergebnisse in den genannten Face-Matching-Untersuchungen wird allerdings implizit davon ausgegangen, dass die Entscheidung der Versuchspersonen, ob zwei Gesichter in ihrem emotionalen Ausdruck identisch sind oder nicht, aufgrund des Vergleichs der emotionalen Bedeutung getroffen wurde. Dass dies aber nicht notwendigerweise so gewesen sein muss, zeigt beispielsweise die Studie von Olivares et al. (1994), in der ein N400-Effekt auch dann gezeigt werden konnte, wenn nur eine strukturelle Abweichung von Gesichtskomponenten in schematischen Gesichtern (die Abweichung bezog sich auf die Augenpartien) ohne semantisches Wissen (z.B. die Identität) vorlag. Somit kann eine Entscheidung über die Gleichheit zweier emotionaler Gesichtsausdrücke und der im Fall einer Abweichung gefundene N400-Effekt auch alleine aufgrund des Vergleichs beispielsweise der Mundwinkelstellung, ohne explizite Verarbeitung der jeweiligen emotionalen Bedeutung, möglich sein. Um aber die Verarbeitung der emotionalen Bedeutung eines Gesichtsausdrucks in Experiment 1 und die Verarbeitung der emotionalen Bedeutung eines Gesichtsausdrucks vs. der Verarbeitung einer nichtemotionalen Bedeutung in Experiment 2 zu kontrollieren und sicherzustellen, wurde semantisches Priming und der N400-Effekt in einem „Cross-Modality-Paradigma“ untersucht.

In einem „Cross-Modality-Paradigma“ werden die zu vergleichenden, aufgabenrelevanten Kriterien in verschiedenen Modalitäten dargeboten. So können als Prime-Stimuli

Zusammenfassende Diskussion

Wörter und als Probe-Stimuli Bilder, oder umgekehrt, dargeboten werden. Die Möglichkeit eines semantischen Primings in einem „Cross-Modality-Paradigma“ konnte in Reaktionszeitexperimenten im Sinne einer kürzeren Reaktionszeit auf semantisch assoziierte Stimuli (Wort-Bild) gezeigt werden (Vanderwart, 1984; Bajo & Canas, 1989).

In Experiment 1 der vorliegenden Arbeit wurden zwei emotionale Wörter (Freude bzw. Ärger) als Prime-Stimuli und schematische Gesichter mit zwei unterschiedlichen emotionalen Ausdrücken (freudig bzw. ärgerlich) als Probe-Stimuli verwendet. Ein Versuchsdurchgang bestand aus der Darbietung eines der Emotionswörter, gefolgt von einem Fixationskreuz und daran anschliessend wurde ein schematisches Gesicht dargeboten (vgl. Abbildung 2.3). Die Versuchspersonen hatten nun die Aufgabe zu zählen, wie oft innerhalb eines Darbietungsblocks (insgesamt 10 Blöcke) von 40 Wort-Gesicht-Paarungen beide Stimuli in ihrer emotionalen Bedeutung übereinstimmten. Die Vpn hatten also zu entscheiden, ob das schematische Gesicht den emotionalen Ausdruck zeigte, der dem Prime entsprach, oder nicht. In den Fällen, in denen Wort und Gesicht in der emotionalen Bedeutung nicht übereinstimmten (Mismatch-Bedingung), konnte eine höhere Negativierung im evozierten Potenzial gefunden werden, was sich in einem signifikant von Null abweichenden Differenzpotenzial (gebildet aus Mismatch-Bedingung minus Match-Bedingung) darstellte. Das Zeitfenster, in dem dieses Differenzpotenzial abgeleitet werden konnte, lag zwischen 250 ms und 450 ms nach Beginn der Darbietung des abweichenden Stimulus und kann daher als N400-Effekt interpretiert werden. Der gefundene N400-Effekt belegt eine semantische Verarbeitung der Bedeutung der Stimuli, da es ohne eine inhaltliche Verarbeitung der aufgabenrelevanten Kriterien nicht zu einem signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen, in denen Primestimulus und Probestimulus in ihrer Bedeutung übereinstimmten, und den Bedingungen, in denen diese Übereinstimmung nicht gegeben war, gekommen wäre. Ein signifikant negatives Differenzpotenzial aufgrund einer strukturellen Abweichung zwischen Prime (Wort) und Probe (schematisches Gesicht) wäre in diesem Fall nicht aufgetreten, da die Abweichungen zwischen Prime und Probe in den Match-

Zusammenfassende Diskussion

Bedingungen und den Mismatch-Bedingungen identisch waren. Somit ließ sich aufgrund der Tatsache, dass der gefundene N400-Effekt eine Verarbeitung auf semantischer Ebene widerspiegelt, in beiden Experimenten eine mögliche Modulation der gesichtsspezifischen N170 durch unterschiedliche emotionale Gesichtsausdrücke untersuchen und eindeutig auf die Verarbeitung der emotionalen Bedeutung der Gesichtsausdrücke zurückführen. Zusätzlich konnte aufgrund dieses Ergebnisses in Experiment 2 die Verarbeitung einer emotionalen Stimulusinformation mit der Verarbeitung einer nichtemotionalen Stimulusinformation auf einer semantischen Ebene verglichen werden.

Neben der Indikatorfunktion des N400-Effekts für eine semantische Verarbeitung, lassen sich anhand der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ebenfalls Aussagen über seine eigene zeitliche Charakteristik und Topographie bezüglich der den Effekt auslösenden Inhalte treffen. Eine maximale Ausprägung des N400-Effekts konnte in Experiment 1 über präfrontalen Bereichen gefunden werden. Eine Beteiligung des präfrontalen Cortex bei der Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke konnte auch in bildgebenden Verfahren gefunden werden (z.B. George et al., 1993). Die Tatsache, dass der N400-Effekt aber auch über den anderen Cortexarealen, wenn auch mit einer geringeren Ausprägung, gefunden wurde, zeigt, dass weite Bereiche des Gehirns in unterschiedlichem Ausmaß an der Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke beteiligt sind, was in Übereinstimmung mit den unter Punkt 1.2 geschilderten Befunden bezüglich der anatomischen Substrate der Gesichterverarbeitung steht. So konnten beispielsweise Peper und Irle (1997) in einer Läsionsstudie zeigen, dass die intrahemisphärische Lokalisation einer Hirnschädigung zu unterschiedlichen Auswirkungen bei der Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke führte. So zeigten Patienten, deren Läsion rechtshemisphärisch parietal lokalisiert war, größere Beeinträchtigungen bei der Benennung emotionaler Gesichtsausdrücke, verglichen mit Patienten, deren Läsion rechtshemisphärisch frontal lokalisiert war. Linkshemisphärische Läsionen führten bei der selben Aufgabe zu größeren Beeinträchtigungen, wenn die Läsion temporal lokalisiert war.

Zusammenfassende Diskussion

In Experiment 1 konnte weiterhin gezeigt werden, dass ein Hemisphäreneffekt bezüglich der Valenz der verarbeiteten emotionalen Bedeutung der Gesichter nur dann auftrat, wenn die neuronale Aktivität über alle Elektroden einer Hemisphäre gemittelt in die Berechnungen einging. Dabei zeigte sich in Übereinstimmung mit Silberman und Weingartner (1986) sowie Borod, Koff, Lorch und Nicholas (1986) eine rechtshemisphärische Dominanz bei der Verarbeitung negativer emotionaler Bedeutungen (Ärger), sowie eine linkshemisphärische Dominanz bei der Verarbeitung positiver emotionaler Bedeutungen (Freude). Bei der Analyse einzelner Elektroden konnte in der vorliegenden Arbeit allerdings eine solche Lateralisation nicht gefunden werden. Daher lassen sich anhand des N400-Effekts keine Rückschlüsse auf eng umschriebene Bereiche einer Hemisphäre bei der Verarbeitung der unterschiedlichen emotionalen Bedeutungen der Gesichter ziehen. Aufgrund der hohen Anzahl von verwendeten Elektroden (insgesamt 124 EEG-Elektroden) hätte ein signifikanter Unterschied (d.h. eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Hemisphäre“ und „Elektrode“ und „Emotion“) in der Amplitude oder in der Latenz zwischen eng nebeneinander liegenden Elektroden einen solchen Rückschluss zugelassen, allerdings ohne eine detaillierte Aussage über eine exakte, d.h. die neuronale Aktivität generierende Hirnstruktur, machen zu können.

Die Tatsache, dass der N400-Effekt an beiden Hemisphären zu beobachten war, deutet auf eine bilaterale Verarbeitung beider emotionaler Gesichtsausdrücke auf der semantischen Ebene hin. Wäre nur eine Hemisphäre an der Verarbeitung einer spezifischen emotionalen Bedeutung beteiligt, hätte sich der N400-Effekt auch nur über der jeweiligen Hemisphäre ableiten lassen sollen, da dieser Effekt ja durch einen Vergleich auf semantischer Ebene hervorgerufen wird. Eine Dominanz einer Hemisphäre bei der Verarbeitung einer spezifischen Emotion ist daher eher in einem relativen Verhältnis im Vergleich zur anderen Hemisphäre zu sehen.

Nachdem die hirnhysiologischen Korrelate der Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke und damit die Wahrnehmung ihres emotionalen Gehalts sichergestellt war,

Zusammenfassende Diskussion

konnte die Bedeutung der in der Literatur vielfach diskutierten N170 für das Erkennen emotionaler Gesichtsausdrücke genauer untersucht werden.

Die Gesichtsspezifität der zu untersuchenden N170-Komponente wurde in verschiedenen Studien (z.B. Bentin et al., 1996; Eimer, 1998; Bentin & Deouell, 2000; Sagiv & Bentin, 2001) dadurch festgestellt, dass sich diese Komponente an lateralen posterioren Elektroden als Reaktion auf die Darbietung von Gesichtern ableiten ließ, nicht aber auf andere Stimuli, wie beispielsweise Häuser oder Autos. Dabei muss es sich bei den dargebotenen Gesichtern nicht unbedingt um reale menschliche Gesichter handeln. Sagiv und Bentin (2001) sowie Boucsein, Schaefer, Sokolov, Schröder und Furedy (2001) konnten zeigen, dass auch die Darbietung schematischer Gesichter zur Auslösung einer gesichtsspezifischen Negativierung führt. Boucsein et al. bezeichneten die von ihnen gefundene Negativierung als N180, dabei handelt es sich mit größter Wahrscheinlichkeit jedoch um die gleiche neuronale Reaktion, die in den unter Punkt 1.3.1 beschriebenen Studien und in der vorliegenden Arbeit als N170 bezeichnet wird, da sie in dem gleichen Zeitfenster (ca. 150 ms bis 200 ms nach Darbietungsbeginn eines Gesichts) abgeleitet werden konnte. Die Auslösung einer gesichtsspezifischen neuronalen Reaktion aufgrund der Wahrnehmung eines Reizes als ein Gesicht entspricht in den unter Punkt 1.1 beschriebenen kognitiven Modellen zur Gesichtererkennung (Bruce & Young, 1986; Breen et al., 2000) dem „Structural Encoding“. Damit ist gemeint, dass es in einem ersten Schritt zur Wahrnehmung eines Reizes als ein Gesicht kommt, und zwar allein aufgrund seiner strukturellen Anordnung (zwei Augen, darunter eine Nase und darunter ein Mund). Semantische Aspekte, wie z.B. der emotionale Gesichtsausdruck, sind in diesem frühen Stadium noch nicht von Bedeutung und haben somit keinen Einfluß auf die Wahrnehmung. Dementsprechend sollte sich die Ausprägung der Amplitude der N170 sowie ihre Latenz nicht zwischen unterschiedlichen emotionalen Gesichtsausdrücken unterscheiden. Entgegen dieser Annahme konnte in Experiment 1 ein signifikanter Unterschied zwischen „Ärger“ und „Freude“ in der Amplitude der an lateralen posterioren Elektroden abgeleiteten N170 gefunden werden. Die Darbietung ärgerlicher Gesichtsausdrücke hatte bilateral eine größere Amplitude im Vergleich zur

Zusammenfassende Diskussion

Darbietung der freudigen Gesichtsausdrücke zur Folge. Eine höhere Amplitude als Reaktion auf ärgerliche Gesichter war ebenfalls von Boucsein et al. (2001) gefunden worden. Diese zwei Befunde lassen die Schlussfolgerung zu, dass zumindest der emotionale Ausdruck schon auf der Verarbeitungsebene des „Structural Encoding“ erkannt werden kann, was im Zusammenhang mit der Bedeutung von Gesichtsausdrücken für die soziale Kommunikation (Eibl-Eibesfeldt, 1989) sinnvoll erscheint. Bezüglich der Lokalisation der N170 zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt „Elektrode“. Dieser Effekt kann dahingehend interpretiert werden, dass es mit einer Erhöhung der Anzahl von Elektroden auch mit dem EEG möglich ist, umschriebene corticale Bereiche zu unterscheiden, in denen eine stimuluspezifische neuronale Aktivität bei der Wahrnehmung von Gesichtern registriert werden kann.

Im zweiten Experiment war es das Ziel, neben der schon angesprochenen Indikatorfunktion, anhand des N400-Effekts die Verarbeitung emotionaler vs. nichtemotionaler Stimulusinformationen zu beobachten. So ist beispielsweise nach Meinung einiger Forscher (z.B. Bryden & Ley, 1983; Buck, 1984; Heilman, Bowers & Valenstein, 1985; Ross, 1985) die rechte Hemisphäre dominanter bei der Verarbeitung emotionaler Reizinformationen. Eine rechtshemisphärische Dominanz, die speziell für die Verarbeitung emotionaler Reizinformationen gilt, sollte sich in Experiment 2 in einer signifikanten Interaktion zwischen den Faktoren „Hemisphäre“ und „Prime“ (emotionaler Ausdruck vs. Uhrzeit) zeigen. Eine solche Interaktion konnte in der Latenz und der Topographie nicht gefunden werden. In beiden Bedingungen zeigte sich der N400-Effekt mit einer maximalen Ausprägung an präfrontalen Elektroden. Das bedeutet, dass es sich hier um einen allgemeinen semantischen Zugriff handelte, ohne dass eine topographische Unterscheidung je nach Bedeutung der Stimuli möglich war.

Ein Unterschied zwischen den Bedingungen konnte in der Ausprägung des N400-Effekts gefunden werden. Eine Abweichung in den Uhrzeiten hatte größere Amplituden im Vergleich zu einer Abweichung der emotionalen Bedeutung zur Folge. Eine Ursache dafür könnte sein, dass das menschliche Gehirn „trainierter“ darin ist, aufgrund der

Zusammenfassende Diskussion

angesprochenen Bedeutung für eine soziale Kommunikation, emotionale Gesichtsausdrücke zu verarbeiten und daher eine geringere neuronale Aktivität für diesen Vorgang notwendig ist.

In Experiment 2 konnte eine N170 auch dann gefunden werden, wenn bedingt durch den Prime, die Bedeutung des Probestimulus verändert wurde, d.h. anstelle des emotionalen Gesichtsausdrucks sollte die gleichzeitig, im selben Stimulus dargebotene Uhrzeit beachtet werden. Eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Reiz als ein Gesicht war daher nicht notwendig, um eine gesichtsspezifische neuronale Aktivität zu evozieren, was als ein weiterer Beleg für eine erhöhte Bereitschaft des Gehirns, ein Gesicht wahrzunehmen, interpretiert werden kann. Wie in Experiment 1 zeigte sich eine rechtshemisphärische Dominanz im Sinne einer größeren Ausprägung der Amplitude der N170, unabhängig von der Bedingung. In Experiment 2 zeigte sich neben einer größeren rechtshemisphärischen Ausprägung zusätzlich eine schnellere rechtshemisphärische Verarbeitung von Gesichtern, da an den Elektroden über der rechten Hemisphäre kürzere Latenzen gefunden wurden, verglichen mit den Elektroden über der linken Hemisphäre.

Eine durch den emotionalen Ausdruck hervorgerufene Modulation der N170-Komponente wie in Experiment 1 gezeigt werden konnte (hierbei wurde eine höhere Amplitude als Reaktion auf ärgerliche Gesichter gefunden, verglichen mit den freudigen Gesichtern), zeigte sich im zweiten Experiment nicht. Aus dem Fehlen dieser Modulation könnte gefolgert werden, dass es für das Erkennen des emotionalen Ausdrucks einer eindeutigen und störungsfreien Wahrnehmung des Gesichtes bedarf. In den kognitiven Modellen zur Gesichterwahrnehmung (Bruce und Young, 1986, vgl. Abb. 1.1 und Breen et al., 2000, vgl. Abb. 1.2) wird postuliert, dass es für das Erkennen der im Gesicht ausgedrückten Emotion notwendig ist, das Gesicht von vorne (frontal) wahrzunehmen, da eine horizontale oder vertikale Abweichung diesen Prozess erschweren kann. In ähnlicher Weise, wie die Veränderung der Ansicht eines Gesichtes das Erkennen des emotionalen Ausdrucks erschweren kann, könnte auch in der vorliegenden

Zusammenfassende Diskussion

Arbeit das Einfügen von Zusatzinformationen in das Gesicht diesen Prozess erschwert haben. Dieser Aspekt ließe sich in weiteren Studien dadurch untersuchen, dass den Versuchspersonen beide Stimuli (schematische Gesichter ohne Uhrzeit und schematische Gesichter mit Uhrzeit) präsentiert werden, wobei die unterschiedlichen Uhrzeiten einen eigenständigen Faktor darstellen sollten, um eine mögliche Konfundierung des emotionalen Ausdrucks (anhand der Mundwinkelstellung) durch die Stellung der Uhrzeiger zu berücksichtigen.

5 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, in zwei Experimenten eine Modulation von visuell evozierten Potenzialen durch emotionale und nichtemotionale Stimulusinformationen zu untersuchen. Dazu wurden zwei Komponenten im evozierten Potenzial hinsichtlich ihrer zeitlichen Charakteristik (Latenz), ihrer Ausprägung (Amplitude) und ihrer Topographie (Ableitung an 124 Elektroden) analysiert. In beiden Experimenten wurde durch die Gestaltung des Paradigmas („Cross-Modality-Paradigma“) eine semantische Verarbeitung der Stimuli durch die Versuchspersonen sichergestellt, wozu eine Negativierung im evozierten Potenzial (N400-Effekt) als Indikator verwandt wurde, die durch eine semantische Abweichung eines Reizes von einem bestehenden Kontext hervorgerufen werden kann. Dieser Effekt konnte in beiden Experimenten bei einer semantischen Abweichung im aufgabenrelevanten Kriterium in einem schematischen Gesicht und einem Wort mit einem Maximum an präfrontalen Elektroden gefunden werden, so dass von einer kognitiven Verarbeitung der Bedeutung der Stimuli ausgegangen werden kann. Dieser Aspekt war für die Interpretation der Befunde bezüglich der gesichtsspezifischen N170 von besonderer Bedeutung.

Die Darbietung von schematischen Gesichtern führte in beiden Experimenten zur Auslösung einer als gesichtsspezifisch angesehenen Komponente (N170) an lateralen posterioren Elektroden, die auch dann auftrat, wenn ein schematisches Gesicht, bedingt durch die Aufgabenstellung, als eine Uhr (Experiment 2) wahrgenommen werden sollte, d.h. die in ihnen dargestellte Uhrzeit war das zwischen Prime und Probe zu vergleichende Kriterium.

Eine Modulation der N170-Komponente durch einen emotionalen Gesichtsausdruck konnte nur dann gefunden werden, wenn der Gesichtsausdruck eindeutig wahrgenommen werden konnte, wie dies im ersten Experiment der Fall war. Wurde dagegen in Experiment 2 eine zusätzliche Information (unterschiedliche Uhrzeiten) in den schema-

Zusammenfassung

tischen Gesichtern dargeboten, konnte keine signifikante Modulation dieser Komponente durch den emotionalen Gehalt der Gesichter gefunden werden.

In Experiment 1 konnte gezeigt werden, dass entgegen der Annahmen von kognitiven Modellen zur Gesichtererkennung, der emotionale Gesichtsausdruck einen Einfluss auf die Wahrnehmung von Gesichtern schon auf einer frühen Stufe haben kann. Dazu bedarf es allerdings einer möglichst störungsfreien Wahrnehmung des Ausdrucks, was sich im Experiment 2 zeigte, wo eine konfundierende Zusatzinformationen im Gesicht dargeboten wurde, wodurch die Wahrnehmung des emotionalen Ausdrucks erschwert war. In weiteren Untersuchungen zur Bedeutung der N170 für die Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke sollten daher diese Zusatzinformationen isoliert experimentell variiert werden.

6 Literaturverzeichnis

- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A., Puce, A. und Belger, A. (1994). Human extrastriate Visual Cortex and the Perception of Faces, Words, Numbers and Colors. *Cerebral Cortex*, **5**, 544-554.
- Allison, T., Ginter, H., McCarthy, G., Nobre, A.C., Puce, A., Luby, M., McCarthy, K. und Spencer, D.D. (1993). Electrophysiological studies of face recognition in human extrastriate cortex. *Soc. Neuroscience Abstract*, **19**, 976.
- Anderson, J.R. und Bower, G.H. (1973). *Human associative memory*. Washington, D.C.: Winston, 1973.
- Badgaiyan, R.D. und Posner, M.I. (1996). Priming reduces input activity in right posterior cortex during stem completion. *NeuroReport*, **7**, 2975-2978.
- Bajo, M. T. und Canas, J.J. (1989). Phonetic and semantic activation during reading and word naming. *Acta Psychologica*, **72**, 105-115.
- Barrett, S.E. und Rugg, M.D. (1990). Event-related potentials and the semantic matching of Pictures. *Brain and Cognition*, **14**, 201-212.
- Barrett, S.E., Rugg, M.D. und Perrett, D.I. (1988). Event-Related Potentials and the Matching of Familiar and Unfamiliar Faces. *Neuropsychologia*, **26**, 105-117.
- Beale, J.M., und Keil, C.F. (1995). Categorical effects in the perception of faces. *Cognition*, **57**, 217-239.

Literaturverzeichnis

- Begleiter, H., Porjesz, B. und Wang, W.Y. (1995). Event-related brain potentials differentiate priming and recognition to familiar and unfamiliar faces. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **94**, 41-49.
- Bentin, S. und Golland, Y. (2002). Meaningful processing of meaningless stimuli: The influence of perceptual experience on early visual processing of faces. *Cognition*, **86**, B1-B14.
- Bentin, S., Sagiv, N., Mecklinger, A., Friederici, A. und van Cramon, D.Y. (2002). Conceptual priming in visual face-processing: electrophysiological evidence. *Psychological Science*, **13**, 190-193.
- Bentin, S. und Deouell, L.Y. (2000). *Cognitive Neuropsychology*, **17** (1/2/3), 35-54.
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **8**, 551-565.
- Bentin, S., McCarthy, G. und Wood, C.C. (1985). Event-Related Potentials, Lexical Decision and Semantic Priming. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, **60**, 343-355.
- Borod, J.C., Koff, E., Lorch, M.P. und Nicholas, M. (1986). The expression and perception of facial emotion in brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, **24**, 169-180.
- Boucsein, W., Schaefer, F., Sokolov, E.N., Schröder, C. und Furedy, J. (2001). The Color-Vision Approach to Emotional Space: Cortical Evoked Potential Data. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, **36**, 137-153.

Literaturverzeichnis

- Braun, C.M.J, Denault, C, Cohen, H. und Rouleau, I. (1994). Discrimination of Facial Identity and Facial Affect by Temporal and Frontal Lobectomy Patients. *Brain and Cognition*, **24**, 198-212.
- Breen, N., Caine, D. und Coltheart, M. (2000). Models of Face Recognition and delusional Misidentifications: A critical Review. *Cognitive Neuropsychology*, **17**, (1/2/3), 55-71.
- Bruce, V. und Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, **77**: 305-327.
- Bryden, M. P. und Ley, R.G. (1983). Right-hemispheric involvement in the perception and expression of emotion in normal humans. In K.M. Heilman und P. Satz (Hrsg.). *Neuropsychology of human emotion*, 6-44, New York: Guilford Press.
- Buck, R. (1984). The communication of emotion. New York: Guilford Press.
- Campanella, S., Gaspard, C., Debatisse, D., Bruyer, R., Crommelinck, M. und Guerit, J-M. (2002). Discrimination of emotional facial expressions in a visual oddball task: An ERP study. *Biological Psychology*, **59**, 171-186.
- Campanella, S., Quinet, P., Debatisse, D., Bruyer, R., Crommelinck, M. und Guerit, J-M. (2002). Categorical perception of Happiness and Fear Facial Expressions: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **14**, 210-227.
- Campanella, S., Hanoteau, C., Depy, D., Rossion, B., Bruyer, R., Crommelinck, M. und Guerit, J.M. (2000). Right N170 modulation in a face discrimination task: An account for categorical perception of familiar faces. *Psychophysiology*, **37**, 796-806.

Literaturverzeichnis

- Carretie, L. und Iglesias, J. (1995). An ERP study on the specificity of facial expression processing. *International Journal of Psychophysiology*, **19**, 183-192.
- Cauquil, S.A., Edmond, G.E. und Taylor, M.J. (2000). Is the face-sensitive N170 the only ERP not affected by selective attention?
- Chiappa. K.H. (1990). *Evoked potentials in clinical medicine*. Raven Press, New York.
- Clark, P., Keil, K., Maisog, J.M. und Haxby, J. (1998). fMRI Study of Face Perception and Memory using Random Stimulus Sequences. *Journal of Neurophysiology*, **79**, 3257-3265.
- Cooper, R., Osselton, J.W. und Shaw, J.C. (1984). *Elektrodenzephalographie, Technik und Methoden*. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- Damasio, A.R., Tranel, D. und Damasio, H. (1989). Disorders of visual recognition. In: F. Boller, J. Grafman (Hrsg.) *Handbook of Neuropsychology*, **Bd. 2**. Elsevier: Amsterdam.
- Damasio, A.R., Damasio, H. und Van Hoesen, G. (1982). Prosopagnosia: Anatomical basis and behavioral mechanisms. *Neurology* **32**, 331-341.
- Desimone, R. (1991). Face-selective cells in the temporal cortex of monkeys. Special issue: face perception. *Journal of Cognitive Neuroscience* **3**, 1-8.
- Diamond, R. und Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology*, **115**, 107-117.

Literaturverzeichnis

- Donchin, E., Ritter, W. und Mc Callum, W.C. (1978). "Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP." In: *Event-related Brain Potentials in Man*, p. 349. Ed. By Callaway, E., Tueting, P. und Koslow, S.H. London; Academic Press.
- Eibl-Eibesfeldt, I. (1989) *Human Ethology*, Aldine de Gruyter, New York.
- Eimer, M. und Holmes, A. (2002). An ERP study on the time-course of emotional face-processing. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, **13**, 427-431.
- Eimer, M. (2000). The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *Cognitive Neuroscience*, **10**, 2319-2323.
- Eimer, M. (2000). Attentional Modulations of event-related brain potentials sensitive to faces. *Cognitive Neuropsychology*, **17**, (1/2/3), 103-116.
- Eimer, M. (1998). Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor? *NeuroReport*, **9**, 2945-2948.
- Ekman, P. und Friesen, W. (1975). *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Ekman, P., Sorensen, E.R. und Friesen, W. (1969). Pan-cultural elements in facial displays of emotions. *Science*, **164**, 86-88.
- Foss, J.D. (1982). A discourse on semantic priming. *Cognitive Psychology*, **14**, 590-607.
- Fried, I., Mateer, C., Ojemann, G., Wohns, R. und Fedio, P. (1982). Organization of visuospatial functions in human cortex: Evidence from electrical stimulation. *Brain*, **105**, 349-371.

Literaturverzeichnis

- Ganis, G., Kutas, M. und Sereno, M.I. (1996). The search for „Common sense“: An Electrophysiological Study of the Comprehension of Words and Pictures in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **8**, 89-106.
- George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J und Renault, B. (1996). Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, **4**, 65-76.
- George, M.S., Ketter, T.A., Gill, D.S., Haxby, J., Ungerleider, L.G., Herscovitch, P. und Post, R.M. (1993). Brain Regions involved in Recognizing Facial Emotion or Identity: An Oxygen-15 PET Study. *Journal of Neuropsychiatry and clinical Neuroscience*, **5**, 384-394.
- Gratton, G., Coles, M.G.H. und Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **55**, 468-484.
- Gross, C.G., Roche-Miranda, GE. und Bender, D.B. (1972). Visual properties of neurons in the inferotemporal cortex of the macaque. *Journal of Neurophysiology*, **35**, 96-111.
- Gur, R.C., Skolnick, B. E. und Gur, R.E. (1994). Effects of Emotional Discrimination Tasks on Cerebral Blood Flow: Regional Activation and its Relation to Performance. *Brain and Cognition*, **25**, 271-286.
- Halgren, E., Baudena, P., Heit, G., Clarke, M. und Marinkovic, K. (1994). Spatio-temporal stages in face and word processing. Depth recorded potentials in the human occipital and parietal lobes. *Journal of Physiology*, **88**, 1-50.

Literaturverzeichnis

- Hamm, J.P., Johnson, B.W. und Kirk, I.J. (2002). Comparison of the N300 and N400 ERPs to picture stimuli in congruent and incongruent contexts. *Clinical Neurophysiology*, **113**, 1339-1350.
- Harnad, S. (Hrsg.), (1987). *Categorical perception: The groundwork of cognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Haxby, J., Horwitz, B. und Ungerleider, L.G. (1994). *Journal of Neuroscience*, **14**, 6336-6353.
- Heilman, K.M., Bowers, D. und Valenstein, E. (1985). Emotional disorders associated with neurological diseases. In K.M. Heilman und E.Valenstein (Hrsg.). *Clinical neuropsychology*, 377-402. New York: Oxford University Press.
- Hillyard, S.A., Picton, T.W. und Regan, D. (1978). "Sensation, perception and attention: Analysis using ERPs." In: *Event-related Brain Potentials in Man*, p.223. Ed. By Callaway, E., Tueting., P. and Koslow, S.H. London; Academic Press.
- Holcomb, P.J. und McPherson, W.B. (1994). Event-related brain potentials reflect semantic Priming in an object decision task. *Brain and Cognition*, **24**, 259-276.
- Itier, R.J. und Taylor, M.J. (2002). Inversion and contrast Polarity reversal effect both encoding and recognition processes of unfamiliar Faces: A Repetition Study using ERPs. *NeuroImage*, **15**, 353-372.
- Izard, C.E. (1971). *The face of emotion*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **10**, 371-375.

Literaturverzeichnis

- Ji, J., Porjesz, B. und Begleiter H. (1998). ERP components in category matching tasks. *Evoked Potentials-Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **108**, 380-389.
- Kanwisher, N., McDermott, J. und Chun, M.M. (1997). The Fusiform Face Area: A Module in Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception. *Journal of Neuroscience*, **11**, 4302-4311.
- Kemp, R., McManus, C. und Pigott, T. (1990). Sensitivity to the displacement of facial features in negative and inverted images. *Perception*, **19**, 531-543.
- Klos, T., Häussler-Carl, E., Beth, W., Pokorna, I., Kromichal, V. und von Stockert, T.R. (1990). Zur Wahrnehmung emotionaler Gesichtsausdrücke bei hirngeschädigten Patienten. In K. Kohlmeyer, *Kongressband zur 23. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurotraumatologie und Klinische Neuropsychologie*, in Mannheim.
- Kolb, B. und Wishaw, I.Q. (1996). *Neuropsychologie*. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Kutas, M., Neville, H.J. und Holcomb, P.J. (1987). A preliminary comparison of the N400 Response to semantic anomalies during Reading, Listening and Signing. The London Symposia. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*. **Suppl. 39**, 325-330.
- Kutas, M. und Hillyard, S.A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, **307**, 161-163.
- Kutas, M. und Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity, *Science*, **207**, 203-205.

Literaturverzeichnis

- Laurian, S., Bader, M., Lanares, J. und Oros, L. (1991). Topography of event-related potentials elicited by visual emotional stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, **10**, 231-238.
- Linkenkaer-Hansen, K., Palvo, V., Jaako, M., Sams, M., Hietanen, J. K., Aronen, H.J. und Ilmoniemi, R. J. (1998). Face- selective processing in human extrastriate cortex around 120 ms after stimulus onset revealed by magneto- and electroencephalography. *Neuroscience Letters*, **253**, 147-150.
- Morris, J.B., Öhmann, A. und Dolan, R.J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, **393**, 467-469.
- Münte, T.F., Brack, M., Grootheer, O., Wieringa, B.M., Matzke, M. und Johannes, S. (1998). Brain potentials reveal the timing of face identity and expression judgements. *Neuroscience Reports*, **30**, 25-34.
- Münte, T.F. und Heinze, H-J. (1994). ERP negativities during syntactic processing of written words. In: *Cognitive Electrophysiology: Basic and Clinical Research*. Hrsg.: Heinze, H-J. und Münte, T.F.
- Münte, T.F., Heinze, H-J. und Mangun, G.R. (1993). Dissociation of Brain Activity related to syntactic and semantic aspects of language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **5**, 335-344.
- Nelson, C.A. (1987). The recognition of facial expressions in the first two years of life: mechanisms of development. *Child Dev.*, **58**, 889-909.
- Neville, H.J., Kutas, M., Chesney, G. und Schmidt, A.L. (1986). Event - Related Brain potentials during initial Encoding and Recognition Memory of congruous and incongruous Words. *Journal of Memory and Language*, **25**, 75-92.

Literaturverzeichnis

- Nigam, A., Hoffman, J.E. und Simons, R.F. (1992). N400 to semantically anomalous pictures and words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **4**, 15-22.
- O'Craven, K.M., Downing, P.E. und Kanwisher, N. (1999). *Nature*, **401**, 584-587.
- Ojemann, J.G., Ojemann, G.A. und Lettich, E. (1992). Neuronal activity related to faces and matching in human right and nondominant temporal cortex. *Brain*, **115**, 1-13.
- Olivares, I.E., Iglesias, J. und Bobes, M.A. (1998). Searching for face-specific long latency ERP's: a topographic study of effects associated with mismatching features. *Cognitive Brain Research*, **7**, 343-356.
- Olivares, E., Bobes, M.A., Aubert, E. und Valdes-Sosa, M. (1994). Associative ERP effects with memories of artificial faces. *Cognitive Brain Research*, **2**, 39-48.
- Paivo, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart und Winston.
- Paller, K.A. und Gross, M. (1998). Brain potentials associated with perceptual priming vs. explicit remembering during the repetition of visual word-form. *Neuropsychologia*, **36**, 559-571.
- Perrett, D.I., Oram, M.W., Harres, M.H., Bevan, R., Hietanen, J.K., Benson, P.J. und Thomas, S. (1991). Viewer-centered and object-centered coding of heads in the macaque temporal cortex. *Experimental Brain Research*, **86**, 159-173.
- Peper, M. und Irle, E. (1997). The Decoding of Emotional Concepts in Patients with Focal Cerebral Lesions. *Brain and Cognition*, **34**, 360-387.

Literaturverzeichnis

- Phillips, M.L., Young, A.W., Senior, C., Brammer, M., Andrews, C., Calder, A.J., Bullmore, E.T., Perrett, D.I., Rowland, Williams, S.C.R., Gray, J.A. und David, A.S. (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, **389**, 495-497.
- Picton, T.W., Bentin, S., Berg, B., Donchin, E., Hillyard, S.A., Johnson, J.R., Miller, G.A., Ritter, W., Ruchkin, D.S., Rugg, M.D., und Taylor, M.J. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, **37**, 127-152.
- Potter, D.D. und Parker, D.M. (1997). Dissociation of event-related potential repetition effects in judgement of face identity and expression. *Journal of Psychophysiology*, **11**, 287-303.
- Puce, A., Allison, T., Gore, J.C. und McCarthy, G. (1995). Face-sensitive regions in human extrastriate cortex studied by functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, **74**, 1192-1199.
- Roisson, B., Delvenne, J.-F., Debatisse, D., Goffaux, V., Bruyer, R., Cromelinck, M. und Guerit, J.-M. (1999). Spatio-temporal localization of the face inversion effect : an event-related potentials study. *Biological Psychology*, **50**, 173-189.
- Ross, E. (1985). Modulation of affect and nonverbal communication by the right hemisphere. In M.-M. Mesulam (Hrsg.). *Principles of behavioral neurology*, 239-257. Philadelphia, PA: F.A. Davis.
- Rugg, M.D. (1985). The effects of semantic priming and word repetition on event-related potentials. *Psychophysiology*, **22**, 642-647.

Literaturverzeichnis

- Sagiv, N. und Bentin, S. (2001). Structural encoding of Human and schematic Faces: Holistic and Part-Based Processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **13**, 937-951.
- Schweinberger, S.R. (1996). How Gorbachev primed Yeltsin: Analyses of associative priming in person recognition by means of reaction times and event-related potentials. *Journal of Experimental Psychology-Learning, Memory and Cognition*, **22**, 1383-1407.
- Sergent, J., Ohta, S. und MacDonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing: a positron emission tomography study. *Brain*, **115**, 15-36.
- Shouten, J.L., Furey, M.L. und Haxby, J.. (1999). *Social Neuroscience Abstract*, **25**, 1630.
- Silberman, E. K. und Weingartner, H. (1986). Hemispheric lateralization of functions related to emotions. *Brain and Cognition*, **5**, 322-353.
- Sperry, R.W., Zaidel, E. und Zaidel, D. (1979). Self recognition and social awareness in the disconnected minor hemisphere. *Neuropsychologia*, **17**, 153-166.
- Stone, E., Nisenson, L., Eliassen, J.C. und Gazzangia, M.S. (1996). Left hemisphere representations of emotional facial expressions. *Neuropsychologia*, **34**, 23-29.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. und John, E.R. (1965). "Evoked potential correlates of stimulus uncertainty." *Science*, **150**, 1187.
- Talairach, J. und Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. New York. Thieme Medical Publishers.

Literaturverzeichnis

- Tanaka, J. und Farah, M.J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **46A**, 225-245.
- Tong, F., Nakayama, K., Moscovitch, M., Weinrib, O. und Kanwisher, N. (2000). Response Properties of the human fusiform Face Area. *Cognitive Neuropsychology*, **17** (1/2/3), 257-279.
- Valdes-Sosa, M. und Bobes, M.A. (1990). Making sense out of words and faces: ERPs evidence for multiple memory systems. In E.R. John (Hrsg.), *Machinery of the Mind*, Birkhauser, Boston, 252-281.
- Vanderwart, M. (1984). Priming by pictures in lexical decision. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **23**, 67-83.
- West, W.C. und Holcomb, P.J. (2002). Event-related potentials during discourse-level semantic integration of complex pictures. *Cognitive Brain Research*, **13**, 363-375.
- Wojciulik, E., Kanwisher, N. und Driver, J. (1998). *Journal of Neurophysiology*, **79**, 1574-1578.

Anhang A

7 Anhang

Tabelle A1: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an präfrontalen Elektroden

N = 18	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
FP1A	-2.897	1.749	324.810	46.116
AF7A	-2.828	1.803	328.190	42.016
AF3A	-2.578	1.839	329.952	38.915
AF7	-2.024	1.086	312.143	55.113
FP1	-1.998	1.188	314.857	50.793
AF3	-1.983	1.242	320.238	48.575
FP2A	-2.895	1.676	323.762	48.939
AF8A	-2.663	1.526	321.333	44.746
AF4A	-2.621	1.657	329.000	40.142
AF4	-2.017	1.234	329.381	43.949
FP2	-1.943	1.249	305.000	56.680
AF8	-1.755	0.999	296.619	57.793
Ärger				
AF3A	-2.369	1.585	303.778	65.985
AF7A	-2.351	1.296	292.722	71.161
FP1A	-2.342	1.319	288.000	63.143
AF3	-1.918	1.174	310.444	60.272
FP1	-1.583	0.763	277.778	64.623
AF7	-1.533	0.665	288.222	68.085
FP2	-1.706	0.825	308.556	58.407
AF8A	-2.338	1.333	304.833	63.660
AF4A	-2.327	1.596	308.389	60.495
FP2A	-2.323	1.307	286.056	66.286
AF4	-2.120	1.157	314.611	57.622
AF8	-1.594	0.820	304.611	67.559

Anhang A

Tabelle A2: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an frontalen Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
F5A	-2.283	1.515	323.476	48.193
F1A	-2.200	1.765	323.381	47.769
F3A	-2.161	1.741	319.619	49.324
F1	-2.126	1.648	327.476	44.991
F3	-2.037	1.553	322.381	50.411
F5	-1.983	1.348	319.571	49.262
F7A	-1.867	1.382	327.143	48.786
F7	-1.498	0.981	307.571	48.724
F9	-1.495	0.774	281.905	51.951
F9A	-1.438	0.966	306.048	52.383
F4A	-2.235	1.485	317.476	51.523
F2A	-2.215	1.601	324.714	49.004
F4	-2.145	1.470	305.286	61.211
F2	-2.129	1.556	315.810	59.622
F6A	-2.106	1.264	317.952	54.198
F6	-2.048	1.351	308.238	57.669
F8A	-1.754	0.769	316.944	59.568
F10	-1.496	0.625	292.048	51.784
F8	-1.382	0.658	307.905	53.114
F10A	-1.379	0.591	311.381	56.997
Ärger				
F1A	-2.689	1.695	311.833	57.562
F3A	-2.498	1.527	309.111	62.587
F1	-2.463	1.542	322.389	52.137
F3	-2.229	1.387	312.056	63.557
F5A	-2.157	1.509	310.167	65.983
F5	-1.873	1.220	320.556	59.418
F7A	-1.664	0.936	299.722	54.068
F9A	-1.378	0.752	289.611	67.551
F7	-1.294	0.723	281.444	63.882
F9	-1.266	0.599	289.000	60.188
F2A	-2.708	1.624	311.778	57.387
F2	-2.628	1.430	310.944	55.864
F4A	-2.564	1.470	317.389	50.862
F4	-2.444	1.296	324.667	53.098
F6A	-2.195	1.415	317.444	51.284
F6	-2.170	0.993	315.889	62.541
F8A	-1.537	0.995	313.095	61.562
F8	-1.413	0.667	273.722	66.269
F10	-1.336	0.774	279.944	58.430
F10A	-1.154	0.570	286.222	62.030

Anhang A

Tabelle A3: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an frontocentralen Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
FC3	-2.174	1.520	315.905	49.950
FC1	-2.068	1.583	316.762	51.729
FC3A	-2.042	1.459	317.190	52.855
FC1A	-1.989	1.446	321.381	50.507
FC5A	-1.921	1.422	313.333	53.609
FC5	-1.662	1.234	319.952	55.522
FT7A	-1.619	1.117	323.905	52.411
FT7	-1.445	0.916	313.048	53.191
FT9A	-1.250	0.743	308.286	57.406
FT9	-1.200	0.631	293.810	51.135
FC2	-2.117	1.530	311.905	58.790
FC4	-2.053	1.274	314.429	52.819
FC2A	-2.023	1.404	315.810	54.895
FC4A	-1.969	1.339	323.095	51.786
FC6A	-1.889	1.194	307.476	55.401
FC6	-1.604	0.845	322.619	47.926
FT8A	-1.590	0.865	325.143	46.789
FT8	-1.489	0.877	322.952	43.497
FT10A	-1.442	0.690	315.524	45.223
FT10	-1.314	0.574	409.905	49.210
Ärger				
FC1A	-2.299	1.477	339.278	32.893
FC1	-2.252	1.472	328.833	55.099
FC3A	-2.150	1.336	316.111	66.829
FC3	-2.081	1.386	316.278	64.937
FC5A	-1.900	1.308	300.722	72.865
FC5	-1.674	1.197	319.111	74.272
FT7A	-1.621	1.068	308.167	67.695
FT7	-1.440	0.931	291.389	72.342
FT9	-1.142	0.672	274.333	64.821
FT9A	-1.118	0.720	304.556	69.052
FC2	-2.348	1.433	321.611	52.031
FC2A	-2.310	1.445	334.611	31.305
FC4	-2.305	1.291	330.889	57.303
FC4A	-2.155	1.425	344.111	36.868
FC6A	-1.915	1.265	334.222	47.497
FC6	-1.708	1.150	320.389	60.565
FT8A	-1.324	0.903	326.333	56.008
FT8	-1.187	0.658	293.556	69.360
FT10	-1.170	0.474	288.833	68.926
FT10A	-1.144	0.560	293.000	62.010

Anhang A

Tabelle A4: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an centralen Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
C5	-1.712	1.385	315.238	57.652
C3	-1.944	1.465	316.095	55.953
C1	-1.937	1.423	307.143	58.160
C5A	-2.013	1.608	324.810	62.344
C3A	-1.957	1.444	306.952	61.475
C1A	-1.945	1.402	321.190	58.332
C6	-1.648	1.101	336.286	46.627
C4	-2.035	1.306	330.143	49.361
C2	-2.051	1.399	327.286	51.695
C6A	-1.837	1.353	320.714	56.711
C4A	-1.953	1.315	332.143	47.809
C2A	-2.012	1.371	314.286	58.757
Ärger	M	SD	M	SD
C5	-1.622	1.174	323.889	70.015
C3	-1.865	1.220	324.278	61.847
C1	-2.076	1.170	339.889	47.194
C5A	-1.692	1.089	324.222	51.988
C3A	-1.917	0.972	340.833	38.366
C1A	-2.032	0.930	338.667	38.648
C6	-1.615	1.278	326.111	61.484
C4	-2.041	1.332	339.222	50.300
C2	-2.115	1.256	336.000	37.446
C6A	-1.790	1.127	330.167	44.966
C4A	-2.005	1.102	349.667	35.327
C2A	-2.055	0.998	339.556	35.731

Anhang A

Tabelle A5: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an centroparietalen Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
CP3	-1.988	1.574	310.810	58.576
CP1	-1.945	1.448	319.286	61.955
CP5A	-1.930	1.435	311.762	68.265
CP5	-1.922	1.599	311.000	62.254
CP3A	-1.907	1.414	317.619	62.587
CP1A	-1.861	1.382	322.238	63.440
T7	-1.470	0.979	325.048	49.256
TP7	-1.433	1.001	305.429	56.186
T7A	-1.429	0.931	316.381	59.757
TP9A	-1.071	0.621	298.095	58.851
CP2	-1.957	1.323	318.143	57.706
CP4	-1.918	1.397	338.095	44.327
CP2A	-1.809	1.344	329.476	63.490
CP4A	-1.768	1.308	318.762	63.841
CP6	-1.687	1.189	333.667	47.526
CP6A	-1.589	1.164	317.000	61.007
T8	-1.579	0.968	334.238	39.371
T8A	-1.497	1.019	327.905	40.581
TP8	-1.459	0.925	325.857	46.396
TP10A	-0.928	0.618	302.667	52.833
Ärger				
CP1	-1.891	0.918	341.500	37.076
CP1A	-1.860	0.840	342.611	34.763
CP3	-1.739	1.031	330.111	47.194
CP3A	-1.730	0.874	343.389	35.234
CP5	-1.575	1.200	318.500	57.051
CP5A	-1.569	1.017	328.944	54.825
T7A	-1.267	0.738	330.667	59.072
T7	-1.243	0.921	321.500	58.349
TP7	-1.149	0.779	309.278	68.088
TP9A	-0.889	0.719	321.389	55.181
CP2	-1.935	1.024	344.056	35.451
CP2A	-1.906	0.841	338.111	34.193
CP4A	-1.861	0.914	339.167	34.423
CP4	-1.835	1.171	345.278	32.027
CP6A	-1.634	0.883	323.167	30.046
CP6	-1.547	1.061	333.556	57.191
T8A	-1.333	0.858	304.722	68.287
TP8	-1.311	1.155	313.833	50.322
T8	-1.220	0.813	337.500	45.306
TP10A	-1.077	0.620	301.222	38.826

Anhang A

Tabelle A6: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an parietalen Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
P3	-1.867	1.314	319.476	63.908
P5	-1.783	1.089	311.524	65.163
P1	-1.655	1.194	325.143	65.519
P7A	-1.609	1.139	314.333	64.993
P1A	-1.488	0.995	303.857	69.384
P5A	-1.341	0.861	312.095	67.780
P9A	-1.076	0.551	306.381	57.696
P9	-1.066	0.388	308.714	60.245
P4	-1.610	1.148	313.952	63.579
P2	-1.533	1.085	332.476	56.993
P2A	-1.502	1.072	319.571	65.192
P6	-1.447	0.918	325.619	63.382
P8A	-1.354	0.948	308.952	59.461
P6A	-1.242	0.897	299.762	62.267
P10A	-1.093	0.668	300.143	54.630
P10	-0.909	0.487	326.762	45.398
Ärger	M	SD	M	SD
P1A	-1.736	0.871	332.389	32.442
P1	-1.697	0.846	334.278	46.894
P3	-1.601	0.859	332.667	47.026
P5A	-1.449	1.107	305.333	35.864
P5	-1.432	1.009	331.389	51.594
P7A	-1.292	0.931	339.944	53.875
P9A	-1.034	0.692	308.111	49.420
P9	-0.936	0.619	302.000	56.068
P2A	-1.832	0.952	327.556	33.276
P2	-1.793	1.002	320.222	42.062
P4	-1.691	0.835	326.833	40.270
P6A	-1.674	0.764	311.278	31.767
P6	-1.524	0.682	320.389	33.482
P8A	-1.381	0.880	324.333	43.853
P10A	-1.298	0.767	305.444	33.112
P10	-0.979	0.495	295.111	43.252

Anhang A

Tabelle A7: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an occipitalen Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
PO3	-1.489	0.805	312.714	73.893
PO7	-1.298	0.709	306.905	63.672
PO4	-1.250	0.883	344.524	47.197
PO3A	-1.195	0.704	309.857	72.310
PO8	-1.189	0.680	330.381	55.718
O2	-1.143	0.626	331.286	57.040
PO10	-1.122	0.435	309.048	58.048
PO9	-1.110	0.373	305.095	55.660
O1	-1.094	0.576	305.905	66.943
O10	-0.953	0.429	282.571	49.944
O9	-0.861	0.394	292.190	53.935
Ärger	M	SD	M	SD
PO3	-1.717	1.107	320.944	43.890
PO4	-1.614	0.896	314.556	37.341
PO8	-1.553	0.961	301.667	29.967
PO3A	-1.532	0.852	327.667	31.546
O2	-1.438	0.940	292.444	34.897
PO7	-1.361	1.062	306.278	43.153
O1	-1.316	0.833	306.889	33.920
PO1	-1.123	0.768	297.667	38.193
O10	-1.085	0.655	286.611	33.447
O9	-1.038	0.551	294.889	38.068
PO9	-1.011	0.551	297.389	53.952

Anhang A

Tabelle A8: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an midline Elektroden

N =18	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
AFZ	-1.898	1.312	3317.667	53.751
FZ	-2.274	1.681	312.333	53.987
FCZ	-2.105	1.588	315.143	53.576
CZ	-2.044	1.373	321.619	56.169
CPZ	-1.934	1.437	334.429	57.239
PZ	-1.619	1.269	324.810	65.707
POZ	-1.391	0.887	326.095	61.384
OZ	-1.020	0.571	318.476	61.996
Ärger				
AFZ	-1.982	1.240	310.278	55.988
FZ	-2.394	1.497	322.944	52.129
FCZ	-2.387	1.554	328.278	44.380
CZ	-2.191	1.318	332.889	32.820
CPZ	-2.011	1.049	339.111	36.218
PZ	-1.801	0.895	340.944	34.194
POZ	-1.681	0.925	319.889	42.862
OZ	-1.391	0.808	301.556	38.844

Anhang A

Tabelle A9: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μ) und mittlere Latenzen (in ms) für einzelne Hirnareale

N = 18				
Freude	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Links				
Präfrontal	-2.385	0.433	321.698	7.214
Frontal	-1.909	0.320	315.857	14.005
Frontocentral	-1.737	0.353	314.357	8.497
Central	-1.918	0.105	315.238	7.238
Centroparietal	-1.695	0.317	313.767	8.074
Parietal	-1.486	0.303	312.690	6.961
Occipital	-1.155	0.167	311.861	17.750
Rechts	M	SD	M	SD
Präfrontal	-2.316	0.467	317.516	13.562
Frontal	-1.889	0.351	311.390	8.904
Frontocentral	-1.749	0.292	316.886	6.214
Central	-1.923	0.155	326.810	8.045
Centroparietal	-1.619	0.296	324.581	10.584
Parietal	-1.336	0.240	315.904	12.314
Ärger				
Links	M	SD	M	SD
Präfrontal	-2.016	0.393	293.491	11.821
Frontal	-1.951	0.532	306.311	14.367
Frontocentral	-1.768	0.438	309.878	18.586
Central	-1.867	0.181	331.963	8.609
Centroparietal	-1.491	0.337	328.789	11.380
Parietal	-1.397	0.294	323.264	15.309
Occipital	-1.344	0.249	304.273	12.568
Rechts	M	SD	M	SD
Präfrontal	-2.068	0.336	304.509	9.738
Frontal	-2.015	0.596	303.772	17.846
Frontocentral	-1.757	0.514	318.756	19.840
Central	-1.937	0.193	336.787	8.221
Centroparietal	-1.566	0.315	328.061	16.287
Parietal	-1.521	0.289	316.396	11.503

Anhang A

Tabelle A10: Mittlere Amplituden (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) der N170 in der Ärger/Match-Bedingung

Gesichtsausdruck: Ärger				
N = 18	Amplitude		Latenz	
Ärger/Match	M	SD	M	SD
P5A	-3.064	2.324	169.905	20.567
PO3	-2.709	2.904	168.667	22.524
PO7	-2.318	2.584	169.143	18.948
P3	-2.219	2.726	163.667	25.039
P9A	-2.201	1.532	172.619	16.542
P1	-2.074	3.022	164.571	23.731
P5	-2.056	2.258	167.238	22.967
P1A	-1.591	3.025	172.143	22.121
P7A	-1.576	1.649	167.762	23.065
P7	-1.400	1.526	167.143	19.747
P9	-0.688	0.889	167.476	21.001
P6A	-3.561	2.679	163.571	15.497
PO8	-3.410	2.422	160.238	12.786
P10A	-3.274	1.609	164.810	12.762
PO4	-3.087	2.932	161.000	19.215
P8	-3.065	1.889	163.667	13.621
P6	-3.055	2.769	164.000	19.029
P4	-2.568	2.519	164.000	23.208
P8A	-2.292	1.590	165.381	18.755
P2A	-2.177	2.981	162.190	23.526
P2	-2.155	2.803	161.048	24.082
P10	-1.901	1.233	165.333	10.603

Anhang A

Tabelle A11: Mittlere Amplituden (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) der N170 in der Freude/Mismatch-Bedingung

Gesichtsausdruck: Ärger				
N = 18	Amplitude		Latenz	
Freude/Mismatch	M	SD	M	SD
P5A	-3.018	2.515	167.905	18.944
PO3	-2.495	3.103	167.667	23.425
PO7	-2.365	2.731	166.905	18.179
P5	-2.262	2.036	166.619	22.117
P9A	-2.145	1.567	170.619	14.133
P3	-1.777	2.843	167.286	24.978
P7A	-1.411	1.599	167.762	22.490
P1	-1.343	2.598	172.000	24.724
P7	-1.322	1.346	168.381	19.485
P1A	-1.299	2.756	170.714	21.608
P9	-0.564	1.195	172.810	16.690
P6A	-3.606	2.675	163.762	13.878
P10A	-3.377	1.625	164.619	11.191
PO8	-3.364	2.407	162.905	12.526
P6	-3.283	2.761	161.333	19.291
PO4	-3.209	2.473	159.095	19.388
P8	-3.067	2.005	163.143	12.877
P8A	-2.016	1.883	161.524	16.058
P10	-1.989	1.058	164.810	12.262
P4	-1.839	2.583	165.429	23.447
P2A	-1.637	2.855	167.238	24.403
P2	-1.608	2.927	161.571	23.680

Anhang A

Tabelle A12: Mittlere Amplituden (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) der N170 in der Freude/Match-Bedingung

Gesichtsausdruck: Freude				
N = 18	Amplitude		Latenz	
Freude/Match	M	SD	M	SD
P5A	-3.020	2.333	166.571	17.682
PO7	-2.578	2.255	162.762	16.321
PO3	-2.518	2.885	165.238	22.244
P9A	-2.221	1.454	169.095	13.627
P5	-1.936	2.043	165.476	21.011
P1A	-1.775	2.616	174.048	23.591
P3	-1.767	2.596	161.667	22.879
P7	-1.474	1.418	166.286	17.399
P7A	-1.313	1.441	169.667	20.375
P1	-1.226	2.805	168.286	21.469
P9	-0.513	1.124	173.143	14.178
PO8	-3.560	2.167	159.857	12.342
P6A	-3.550	2.598	163.190	15.325
P10A	-3.082	1.806	164.476	12.813
P6	-2.915	2.762	161.905	16.810
P8	-2.801	1.836	163.476	12.246
PO4	-2.624	2.970	162.667	18.364
P4	-2.319	2.373	159.429	20.292
P8A	-2.171	1.640	161.619	17.741
P2	-1.937	2.697	162.190	24.349
P2A	-1.898	2.577	163.905	22.512
P10	-1.713	1.316	166.381	10.911

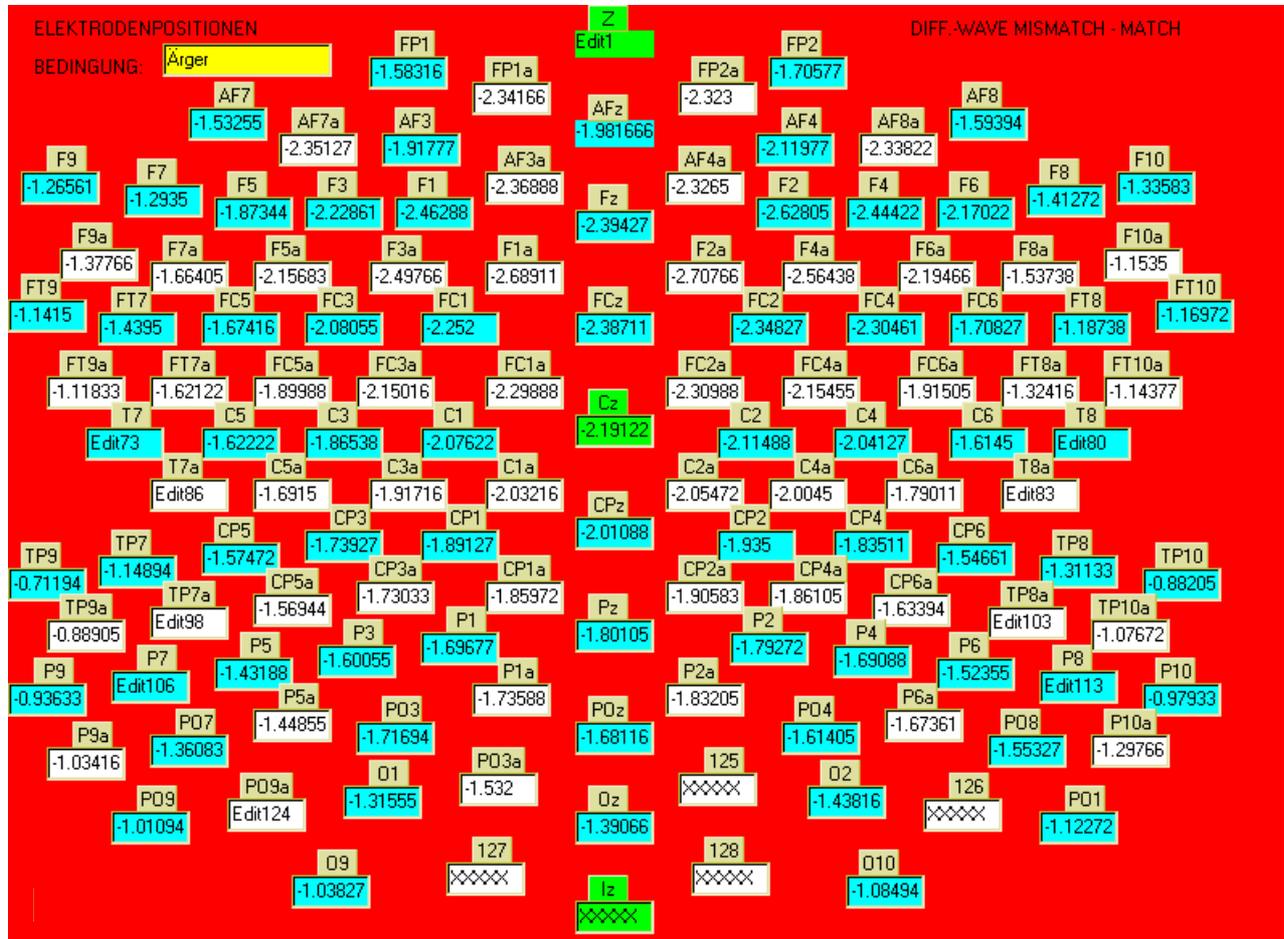
Anhang A

Tabelle A13: Mittlere Amplituden (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) der N170 in der Ärger/Mismatch-Bedingung

Gesichtsausdruck: Freude				
N = 18	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Ärger/Mismatch				
P5A	-2.522	2.112	162.444	17.942
PO3	-2.497	2.478	160.778	20.781
P9A	-2.050	1.360	170.444	14.754
PO7	-2.045	2.428	169.278	17.398
P5	-1.253	1.408	166.611	21.541
P1A	-1.211	2.680	165.556	21.010
P7	-1.078	1.104	166.722	16.142
P7A	-1.036	1.237	171.389	21.247
P3	-0.978	2.294	174.556	23.380
P9	-0.771	0.880	174.944	17.353
P1	-0.551	2.653	171.056	22.367
P6A	-3.326	2.863	163.333	15.072
PO4	-3.265	2.458	156.444	17.116
PO8	-3.241	2.649	162.556	15.534
P6	-3.081	2.842	161.500	20.351
P10A	-2.966	1.738	165.722	14.129
P8	-2.460	2.242	168.278	14.385
P4	-2.130	2.310	156.000	21.592
P8A	-2.087	1.809	159.056	17.962
P10	-1.868	1.127	168.167	15.112
P2	-1.313	2.940	162.111	23.027
P2A	-0.878	2.693	166.167	21.797

Anhang A

Abbildung A2 Ärger/Mismatch



Anhang B

Tabelle B1: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an präfrontalen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
FP1A	-2,982	1,763	338,167	39,427
AF7A	-2,391	1,361	333,222	41,825
AF3A	-2,158	1,393	323,222	40,981
AF3	-1,954	1,035	326,389	29,949
AF7	-1,747	0,747	340,000	45,159
FP1	-1,727	0,886	348,056	47,330
FP2A	-2,773	1,815	330,889	38,466
AF8A	-2,708	1,865	336,722	50,887
AF4A	-2,400	1,258	337,278	52,044
AF4	-1,877	1,300	345,056	54,340
AF8	-1,695	1,048	347,722	58,029
FP2	-1,523	0,861	356,833	68,332
Ärger	M	SD	M	SD
FP1A	-2,971	1,381	356,167	70,054
AF3A	-2,920	1,157	348,833	51,589
AF7A	-2,699	1,475	336,167	59,485
AF3	-2,382	1,208	354,389	48,562
FP1	-1,490	0,651	340,889	51,277
AF7	-1,471	0,656	378,611	62,448
AF4A	-2,986	1,171	350,667	48,719
AF8A	-2,914	1,387	359,944	64,430
FP2A	-2,887	1,106	348,389	63,839
AF4	-2,553	1,011	351,556	46,448
FP2	-2,078	1,154	349,111	56,358
AF8	-1,775	1,246	345,278	68,751

Anhang B

Tabelle B2: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an präfrontalen Elektroden

N = 20				
	Amplitude		Latenz	
Uhr/Freude	M	SD	M	SD
AF7A	-3,523	1,431	349,222	61,023
FP1A	-3,486	1,447	358,722	57,009
AF3A	-3,040	0,963	339,667	41,782
AF3	-2,540	0,793	357,222	46,757
AF7	-2,170	1,039	349,167	60,399
FP1	-2,009	1,021	331,667	48,484
FP2A	-3,587	1,451	368,222	56,679
AF8A	-3,381	1,436	341,944	48,284
AF4A	-3,007	1,002	336,444	39,872
AF4	-2,523	0,933	340,389	31,395
FP2	-2,010	0,969	354,500	54,575
AF8	-1,788	0,798	341,111	50,189
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD
FP1A	-3,623	1,904	365,278	73,724
AF7A	-3,358	1,698	354,056	65,195
AF3A	-2,954	1,320	347,000	66,276
AF3	-2,837	1,448	344,556	65,584
AF7	-2,391	1,461	360,722	75,255
FP1	-2,229	1,403	350,611	61,194
FP2A	-3,845	1,921	379,444	67,115
AF8A	-3,347	1,584	376,222	71,342
AF4A	-3,006	1,304	342,944	52,430
AF4	-2,734	1,132	345,722	71,021
FP2	-2,087	0,748	360,000	76,799
AF8	-2,068	0,935	352,111	62,718

Anhang B

Tabelle B3: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an frontalen Elektroden

N = 20		Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD	
F1A	-1,972	1,372	352,222	61,810	
F3A	-1,858	1,254	346,611	60,577	
F1	-1,806	1,342	327,667	45,039	
F3	-1,780	1,274	320,444	27,043	
F5A	-1,685	1,085	332,667	30,388	
F5	-1,593	0,790	340,556	50,415	
F7A	-1,507	0,914	335,667	49,941	
F9	-1,261	0,567	357,556	61,328	
F9A	-1,230	0,814	356,611	56,113	
F7	-1,149	0,586	344,667	56,438	
F2A	-2,157	1,265	339,778	58,238	
F4A	-2,128	1,141	334,278	58,903	
F2	-2,073	1,237	328,556	45,455	
F6A	-2,014	0,923	345,833	59,518	
F4	-1,957	1,196	341,056	55,378	
F8A	-1,622	0,770	355,167	61,100	
F6	-1,606	1,095	353,278	66,669	
F10	-1,436	1,146	388,444	69,558	
F8	-1,403	0,940	359,556	63,162	
F10A	-1,189	0,628	370,278	67,820	
Ärger	M	SD	M	SD	
F1A	-3,110	1,082	352,333	48,378	
F3A	-2,953	1,089	346,056	42,199	
F1	-2,884	1,091	364,778	51,866	
F3	-2,584	1,019	351,222	55,175	
F5A	-2,564	1,267	363,944	52,880	
F5	-2,180	1,161	345,333	60,769	
F7A	-1,898	0,799	344,056	72,572	
F7	-1,248	0,514	342,889	75,054	
F9	-1,219	0,741	334,056	77,296	
F9A	-1,169	0,540	343,111	81,249	
F2A	-3,069	1,244	352,278	46,644	
F4A	-2,985	1,235	351,611	46,300	
F2	-2,889	1,160	352,667	48,657	
F4	-2,801	1,137	348,667	49,172	
F6A	-2,752	1,269	354,833	39,490	
F6	-2,353	1,334	340,944	41,324	
F8A	-1,971	0,991	353,167	52,421	
F8	-1,630	0,921	345,000	55,448	
F10	-1,372	1,039	344,333	80,318	
F10A	-1,302	0,582	361,056	74,874	

Anhang B

Tabelle B4: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an frontalen Elektroden

N = 20		Amplitude		Latenz	
Uhr/Freude	M	SD	M	SD	
F1A	-2,897	0,855	344,333	54,138	
F1	-2,712	0,888	343,944	53,628	
F3A	-2,631	0,708	343,333	53,944	
F3	-2,431	0,882	336,667	44,039	
F5	-2,398	0,958	350,444	49,441	
F5A	-2,203	0,837	354,722	46,988	
F9	-1,901	1,020	345,111	73,280	
F7A	-1,891	0,808	333,500	53,527	
F7	-1,792	0,754	326,778	34,139	
F9A	-1,427	0,622	329,333	52,199	
F2A	-3,063	0,975	358,556	60,651	
F6A	-3,005	1,136	354,389	57,707	
F4A	-2,987	1,011	361,500	65,094	
F2	-2,882	0,920	350,611	54,521	
F4	-2,853	1,000	353,722	59,021	
F6	-2,466	0,915	343,111	35,245	
F8A	-2,288	0,884	338,556	38,269	
F8	-1,946	0,783	351,333	59,252	
F10	-1,754	0,817	336,500	57,631	
F10A	-1,726	0,644	332,000	44,732	
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD	
F1	-2,696	1,004	348,278	63,641	
F1A	-2,683	1,073	344,944	58,755	
F3	-2,499	0,921	348,833	60,893	
F3A	-2,490	0,966	343,056	56,058	
F5	-2,207	0,781	341,333	56,435	
F5A	-2,144	0,908	340,667	51,185	
F7A	-1,799	0,731	329,944	54,137	
F7	-1,735	0,571	358,778	68,359	
F9	-1,593	0,753	370,778	73,757	
F9A	-1,483	0,573	336,833	52,902	
F2A	-2,707	1,162	334,556	49,320	
F4A	-2,672	1,095	336,833	49,239	
F2	-2,658	1,030	338,611	49,449	
F4	-2,654	0,979	355,778	58,633	
F6A	-2,572	0,920	342,889	52,694	
F6	-2,420	0,832	367,056	67,572	
F8A	-2,007	0,699	397,000	58,467	
F8	-1,960	0,732	366,556	71,653	
F10	-1,762	0,949	332,833	58,631	
F10A	-1,682	0,580	369,278	60,124	

Anhang B

Tabelle B5: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an frontocentralen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
FC1	-1,947	1,149	351,950	58,075
FC1A	-1,852	1,092	353,900	61,655
FC5	-1,768	1,258	340,800	35,144
FT7A	-1,750	1,409	361,100	62,737
FC3A	-1,741	1,214	354,800	63,832
FC3	-1,730	1,242	345,000	62,720
FC5A	-1,668	1,113	354,000	64,932
FT7	-1,348	0,588	344,800	46,835
FT9	-1,250	0,598	351,950	58,075
FT9A	-1,193	0,649	353,900	61,655
FC2	-2,007	0,967	348,000	62,951
FC4	-1,935	1,009	350,200	60,304
FC4A	-1,916	0,951	346,950	61,825
FC2A	-1,881	1,003	358,150	62,917
FC6A	-1,868	0,984	354,550	57,223
FT8A	-1,728	0,904	354,050	58,563
FC6	-1,661	1,013	350,950	56,962
FT8	-1,346	0,687	357,700	63,751
FT10A	-1,221	0,665	379,800	65,064
FT10	-1,122	0,615	387,500	65,679
Ärger	M	SD	M	SD
FC1A	-2,893	1,100	338,700	36,165
FC1	-2,753	1,062	356,300	51,020
FC3A	-2,579	1,069	355,350	55,524
FC3	-2,466	1,084	359,000	55,551
FC5A	-2,288	1,073	374,000	58,503
FC5	-1,891	1,071	362,100	58,387
FT7A	-1,701	1,217	365,500	71,845
FT7	-1,131	0,621	358,250	81,403
FT9	-1,045	0,776	366,150	93,352
FT9A	-0,999	0,563	362,400	84,614
FC2A	-2,872	1,265	348,850	47,418
FC4A	-2,793	1,318	349,050	40,006
FC2	-2,749	1,342	350,600	46,759
FC4	-2,641	1,247	363,700	48,148
FC6A	-2,515	1,310	362,100	34,455
FC6	-2,139	1,169	359,350	54,011
FT8A	-1,753	0,902	367,750	45,125
FT8	-1,459	0,859	379,450	68,614
FT10A	-1,299	0,638	375,850	69,295
FT10	-1,094	0,598	387,550	74,667

Anhang B

Tabelle B6: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an frontocentralen Elektroden

N = 20 Uhr/Freude	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
FC1A	-2,648	0,722	354,700	57,142
FC1	-2,635	0,731	345,500	52,425
FC3	-2,415	0,978	352,000	52,699
FC3A	-2,308	0,743	361,550	44,551
FC5A	-2,082	0,837	350,750	37,969
FC5	-1,879	0,711	346,250	45,200
FT7A	-1,651	0,861	356,400	46,592
FT7	-1,628	0,763	348,400	54,102
FT9	-1,481	0,670	329,700	55,103
FT9A	-1,159	0,594	314,750	46,234
FC2	-2,816	0,884	357,150	65,201
FC2A	-2,767	0,900	363,550	58,554
FC4	-2,717	0,966	361,650	54,585
FC4A	-2,666	0,950	358,700	62,967
FC6A	-2,471	0,882	351,900	53,344
FC6	-2,357	0,917	358,100	50,138
FT8A	-2,215	0,823	347,600	35,363
FT8	-1,841	0,856	334,500	45,273
FT10A	-1,770	0,532	343,900	52,252
FT10	-1,673	0,515	331,600	47,589
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD
FC1	-2,902	1,637	345,300	55,994
FC1A	-2,780	1,550	345,250	55,924
FC3	-2,743	1,533	348,350	60,217
FC3A	-2,529	1,366	345,150	56,955
FC5A	-2,356	1,041	353,650	63,032
FC5	-2,308	1,490	338,250	52,801
FT7A	-2,107	1,381	330,850	51,498
FT7	-2,002	1,248	334,100	58,030
FT9	-1,630	0,853	344,400	66,117
FT9A	-1,409	0,528	335,550	64,065
FC2	-3,048	1,947	341,600	52,227
FC2A	-2,941	1,657	352,550	56,857
FC4A	-2,887	1,656	345,650	48,737
FC4	-2,878	1,574	342,800	49,984
FC6A	-2,856	1,619	364,050	59,436
FC6	-2,622	1,158	365,000	65,197
FT8A	-2,476	1,439	361,450	59,195
FT8	-2,248	1,115	387,150	64,018
FT10A	-2,063	1,449	373,200	57,185
FT10	-1,890	1,335	356,850	67,019

Anhang B

Tabelle B7: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an centralen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
C1	-1,721	1,013	358,650	67216,000
C3A	-1,645	0,977	361,050	69,001
C1A	-1,633	1,044	342,350	51,618
C5	-1,608	1,165	356,600	50,954
C3	-1,588	1,129	355,650	56,103
C5A	-1,525	0,869	359,650	68,874
C2	-1,888	1,060	347,000	61,988
C4	-1,756	0,965	343,350	55,255
C4A	-1,692	1,004	349,500	59,149
C6A	-1,657	0,914	356,150	53,894
C6	-1,643	0,874	357,150	53,682
C2A	-1,642	1,053	343,150	66,029
Ärger	M	SD	M	SD
C1A	-2,780	1,038	341,850	36,830
C1	-2,648	1,151	343,850	46,457
C3A	-2,515	0,947	355,500	49,135
C3	-2,438	1,018	366,850	58,384
C5A	-2,166	0,807	360,400	52,192
C5	-1,859	0,835	381,800	68,664
C6A	-2,944	1,539	369,650	43,917
C2A	-2,907	1,190	345,800	29,579
C4A	-2,813	1,341	349,100	33,840
C2	-2,804	1,405	341,950	40,330
C4	-2,658	1,370	352,350	39,390
C6	-2,233	1,220	368,500	52,846

Anhang B

Tabelle B8: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an centralen Elektroden

N = 20				
	Amplitude		Latenz	
Uhr/Freude	M	SD	M	SD
C1	-2,567	0,781	365,200	55,592
C1A	-2,485	0,745	360,450	63,385
C3	-2,394	0,886	369,300	54,986
C3A	-2,373	0,692	362,250	57,860
C5A	-2,002	0,714	369,700	63,051
C5	-1,859	0,793	361,700	34,632
C2	-2,802	0,899	366,650	57,354
C2A	-2,734	0,845	360,650	45,092
C4A	-2,705	0,894	364,950	49,155
C4	-2,671	0,923	365,850	63,388
C6A	-2,434	0,822	365,200	55,592
C6	-2,286	0,936	365,550	62,637
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD
C1	-2,383	0,948	348,150	57,522
C3	-2,315	0,849	349,250	60,444
C1A	-2,308	0,965	355,350	50,510
C3A	-2,019	0,906	359,150	64,567
C5	-1,986	0,702	359,000	64,524
C5A	-1,783	0,754	346,450	51,070
C2	-2,649	1,258	348,050	56,921
C4	-2,634	1,223	351,250	55,697
C2A	-2,476	1,121	341,100	44,794
C4A	-2,473	1,142	351,150	55,367
C6	-2,401	0,967	363,950	54,172

Anhang B

Tabelle B9: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an centroparietalen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Freude				
CP1	-1,707	0,945	361,350	76,554
CP3	-1,578	0,957	358,700	58,737
CP1A	-1,511	0,991	379,950	80,588
CP3A	-1,508	0,916	363,100	79,809
T7	-1,405	0,729	337,100	53,886
CP5	-1,392	0,852	370,000	57,822
CP5A	-1,375	0,843	383,900	72,101
T7A	-1,293	0,839	354,200	57,117
TP7	-1,197	0,706	341,250	55,304
TP9A	-0,913	0,692	360,100	67,131
CP2	-1,693	1,051	348,550	69,396
CP4	-1,664	0,966	348,650	57,282
CP2A	-1,577	0,927	356,850	72,236
CP6	-1,532	0,905	358,100	54,559
CP4A	-1,512	1,020	348,800	66,929
CP6A	-1,508	0,783	367,100	61,634
T8A	-1,499	0,919	364,050	49,063
T8	-1,452	1,072	356,300	49,389
TP8	-1,316	0,806	351,950	47,040
TP10A	-0,922	0,509	390,900	60,557
Ärger				
T7A	-2,813	1,208	387,900	65,372
CP3	-2,748	1,271	369,250	50,295
CP3A	-2,672	1,044	352,750	33,695
T7	-2,647	1,380	359,750	77,765
CP1A	-2,591	1,044	344,550	27,258
CP1	-2,465	1,058	351,400	41,462
CP5A	-2,379	0,933	373,100	48,183
CP5	-2,286	0,952	378,700	61,570
TP9A	-2,006	0,698	387,550	43,786
TP7	-1,755	0,660	374,000	70,518
CP2	-2,486	1,527	345,300	37,008
CP2A	-2,486	1,201	351,900	31,375
CP6A	-1,695	1,058	363,250	47,645
CP4	-1,600	0,933	358,300	44,845
CP6	-1,519	0,804	365,100	57,129
TP10A	-1,513	0,653	343,350	64,555
CP4A	-1,489	0,664	348,900	33,145
T8A	-1,258	0,898	370,200	44,320
T8	-1,234	0,432	367,300	59,369
TP8	-0,930	0,546	370,200	61,245

Anhang B

Tabelle B10: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an centroparietalen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Uhr/Freude				
CP1	-2,589	0,721	372,450	55,044
CP1A	-2,470	0,729	370,500	56,932
CP3	-2,238	0,770	364,850	46,039
CP3A	-2,210	0,662	370,850	59,119
CP5A	-1,815	0,614	376,050	50,557
CP5	-1,792	0,714	370,000	50,276
T7	-1,496	0,713	355,350	54,654
T7A	-1,483	0,875	376,050	52,260
TP7	-1,358	0,714	390,150	58,465
TP9A	-0,893	0,566	386,700	60,681
CP2	-2,774	0,918	372,500	61,991
CP4	-2,683	0,912	374,500	68,899
CP4A	-2,609	0,863	372,450	64,826
CP2A	-2,605	0,805	375,100	60,137
CP6A	-2,322	0,844	357,400	57,705
CP6	-2,157	0,906	364,050	58,413
T8	-2,008	0,835	348,650	48,931
T8A	-1,915	0,941	368,700	54,965
TP8	-1,815	0,648	346,650	43,456
TP10A	-1,096	0,450	359,000	67,105
Uhr/Ärger				
CP1	-2,257	0,986	374,700	62,233
CP1A	-2,092	0,920	360,050	45,260
CP3	-2,077	0,841	378,050	55,553
CP3A	-1,909	0,856	367,750	54,373
CP5	-1,775	0,642	375,200	60,281
T7	-1,752	0,872	339,100	66,741
CP5A	-1,630	0,664	386,700	46,414
T7A	-1,361	0,522	360,200	55,096
TP7	-1,247	0,552	385,800	63,905
TP9A	-0,714	0,296	381,000	66,217
CP4	-2,503	1,197	355,850	54,026
CP2	-2,497	1,159	355,050	54,193
CP6	-2,352	1,241	363,950	52,510
CP4A	-2,190	0,990	355,650	56,339
T8	-2,173	0,855	380,450	51,474
CP2A	-2,155	0,855	366,050	54,295
CP6A	-1,986	0,812	351,500	47,935
T8A	-1,824	0,787	361,350	39,964
TP8	-1,718	0,892	363,900	45,286
TP10A	-0,960	0,522	372,950	63,708

Anhang B

Tabelle B11: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an parietalen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
P1	-1,617	0,797	361,600	77,429
P3	-1,488	0,810	369,900	71,143
P1A	-1,484	0,836	382,350	80,721
P7A	-1,393	1,336	387,750	71,617
P7	-1,343	1,001	359,100	73,770
P5	-1,297	0,822	384,100	69,643
P9A	-1,248	1,474	370,500	92,129
P9	-1,196	0,939	356,850	73,407
P5A	-1,122	0,824	392,550	83,289
P2	-1,634	0,881	377,700	73,960
P2A	-1,599	0,919	387,700	80,618
P4	-1,492	0,825	356,500	58,453
P6	-1,376	0,697	371,750	71,136
P6A	-1,278	0,689	392,400	76,111
P8	-1,261	0,776	361,850	62,802
P8A	-1,180	0,602	379,100	60,120
P10	-0,980	0,641	336,550	59,715
P10A	-0,951	0,562	385,550	76,504
Ärger	M	SD	M	SD
P1	-2,340	1,003	363,400	50,473
P1A	-2,332	0,901	351,800	37,029
P3	-2,234	0,855	367,650	50,878
P5	-2,043	0,921	372,650	52,944
P5A	-1,908	0,942	360,150	48,764
P7A	-1,802	1,521	368,500	45,757
P9A	-1,593	1,764	376,900	57,330
P7	-1,478	1,124	385,550	56,211
P9	-1,066	1,160	377,800	67,993
P4	-2,564	1,093	342,350	32,637
P2	-2,453	1,030	353,300	38,341
P2A	-2,439	0,934	348,550	33,235
P6	-2,254	1,050	348,900	41,636
P6A	-2,180	0,927	344,450	33,064
P8A	-1,927	0,772	362,550	53,777
P8	-1,727	0,686	341,400	52,073
P10A	-1,468	0,535	336,250	46,162
P10	-1,209	0,637	361,000	76,432

Anhang B

Tabelle B12: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an parietalen Elektroden

N = 20				
Amplitude		Latenz		
Uhr/Freude	M	SD	M	SD
P1	-2,304	0,867	382,450	62,737
P3	-2,181	0,755	377,400	54,782
P1A	-2,077	0,894	377,850	62,548
P5	-1,894	0,750	397,200	43,499
P7A	-1,527	0,925	384,100	50,136
P5A	-1,453	0,632	394,650	45,164
P7	-1,423	0,854	405,050	49,185
P9	-1,177	0,767	397,850	59,884
P9A	-1,071	0,941	387,450	51,352
P4	-2,492	0,807	370,200	70,801
P2	-2,388	0,927	376,150	63,510
P6	-2,210	0,884	380,800	72,579
P2A	-2,167	0,976	372,550	61,709
P6A	-1,916	0,850	355,400	73,263
P8A	-1,779	0,727	349,150	53,975
P8	-1,759	0,714	373,700	68,958
P10A	-1,455	0,633	345,950	77,412
P10	-1,435	0,637	371,250	68,891
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD
P1	-2,353	1,142	380,650	66,027
P3	-2,289	1,056	386,950	59,343
P5	-2,063	0,854	401,950	49,629
P1A	-1,968	0,807	360,100	52,108
P7	-1,564	0,973	403,000	53,106
P5A	-1,409	0,725	391,750	61,877
P7A	-1,348	0,798	383,000	63,866
P9	-1,135	1,135	405,600	57,751
P9A	-0,933	0,941	393,700	56,099
P4	-2,428	1,318	346,400	55,705
P2	-2,375	1,017	377,200	61,288
P6	-2,181	1,104	363,750	63,269
P2A	-1,944	0,742	364,650	59,064
P8A	-1,788	0,894	349,650	59,746
P8	-1,763	0,822	356,700	68,148
P6A	-1,652	0,718	349,750	55,556
P10	-1,359	0,732	379,550	77,453
P10A	-1,135	0,506	371,650	78,505

Anhang B

Tabelle B13: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an occipitalen Elektroden

N = 20	Amplitude		Latenz	
Freude	M	SD	M	SD
PO3	-1,345	0,687	370,450	71,149
O1	-1,204	0,686	366,000	70,382
PO7	-1,105	0,618	363,900	80,062
PO9	-1,006	0,857	354,450	95,153
O9	-0,980	0,656	373,200	89,369
PO4	-1,524	0,739	376,250	70,647
O2	-1,420	0,815	363,750	74,298
PO8	-1,348	0,688	378,250	71,638
PO10	-1,170	0,722	355,750	61,231
O10	-1,047	0,707	380,950	77,082
Ärger	M	SD	M	SD
PO3	-1,927	0,863	352,700	42,924
O1	-1,563	0,624	365,150	66,417
PO7	-1,544	0,712	368,100	52,581
PO9	-1,173	0,566	364,750	74,689
O9	-1,132	0,392	359,350	85,347
PO4	-2,186	0,949	343,350	38,524
PO8	-1,953	0,727	352,800	60,361
O2	-1,869	0,706	355,850	67,673
PO10	-1,410	0,731	368,100	82,751
O10	-1,296	0,660	377,500	88,764

Anhang B

Tabelle B14: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an occipitalen Elektroden

N = 20				
	Amplitude		Latenz	
Uhr/Freude	M	SD	M	SD
PO3	-1,883	0,838	381,400	54,552
O1	-1,517	0,680	373,550	59,370
PO7	-1,498	0,545	393,150	48,956
O9	-0,946	0,589	391,350	59,293
PO9	-0,874	0,447	410,750	70,932
PO4	-2,233	0,836	369,950	61,291
PO8	-2,003	0,787	366,400	77,203
O2	-1,975	0,797	375,500	68,797
PO10	-1,590	0,834	338,300	70,448
O10	-1,287	0,602	354,100	77,476
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD
PO3	-1,898	0,830	382,800	61,426
PO7	-1,488	0,779	410,800	45,032
O1	-1,308	0,733	387,200	63,960
PO9	-0,581	0,441	388,500	58,114
O9	-0,546	0,724	390,000	62,214
PO4	-2,115	0,969	369,550	69,059
PO8	-1,933	0,973	376,700	74,067
O2	-1,754	0,911	384,950	68,616
PO10	-1,444	0,606	374,800	87,218
O10	-0,841	0,598	366,750	78,057

Anhang B

Tabelle B15: Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV) und mittlere Latenzen (in ms) an midlinen Elektroden

N = 20				
Amplitude		Latenz		
Freude	M	SD	M	SD
AFZ	-1,968	1,105	331,950	42,032
CPZ	-1,760	0,957	352,600	75,403
CZ	-1,892	0,991	347,400	62,805
FCZ	-1,929	1,110	350,900	58,724
FZ	-2,268	1,275	322,250	37,032
OZ	-1,354	0,811	364,550	65,046
POZ	-1,620	0,877	376,000	71,725
PZ	-1,673	0,906	375,450	72,948
Ärger	M	SD	M	SD
AFZ	-2,545	1,051	360,450	56,088
CPZ	-2,687	1,176	349,150	30,174
CZ	-2,739	1,191	341,250	41,972
FCZ	-2,864	1,222	353,050	48,237
FZ	-2,840	1,250	360,700	49,099
OZ	-1,709	0,720	357,400	71,175
POZ	-2,255	0,937	363,050	48,576
PZ	-2,496	1,013	356,100	37,520
N = 20				
Amplitude		Latenz		
Uhr/Freude	M	SD	M	SD
AFZ	-2,535	0,810	337,500	37,679
CPZ	-2,504	0,787	366,200	55,759
CZ	-2,790	0,797	365,350	62,265
FCZ	-2,835	0,850	348,300	61,706
FZ	-2,822	0,876	333,600	42,176
OZ	-1,901	0,833	368,100	61,290
POZ	-2,252	0,983	369,250	61,198
PZ	-2,489	0,871	384,450	61,512
Uhr/Ärger	M	SD	M	SD
AFZ	-2,836	1,616	344,500	63,436
CPZ	-2,633	1,307	373,300	57,732
CZ	-2,955	1,765	351,000	54,379
FCZ	-3,083	1,879	347,550	58,495
FZ	-3,117	1,915	345,900	58,735
OZ	-1,667	1,122	397,550	63,666
POZ	-2,198	0,932	374,200	65,434
PZ	-2,502	1,177	379,600	62,660

Anhang B

Tabelle B16 Mittlere Amplituden (in μV)
und mittlere Latenzen (in ms) der N170 für einen freudigen Gesichtsausdruck

N =20	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
PO7	-2,197	1,599	166,971	18,209
P9A	-1,801	1,294	171,943	16,299
P1	-1,453	1,560	163,000	25,664
PO9	-1,451	1,143	169,000	17,503
P5	-1,362	1,300	167,714	20,299
P3	-1,279	1,607	161,743	24,991
O9	-1,250	1,304	167,686	16,431
P1A	-1,222	1,587	169,486	24,536
P7	-1,205	0,837	174,200	19,431
P7A	-1,157	1,084	172,657	20,272
P9	-0,990	0,843	169,371	17,259
PO8	-3,515	2,147	163,200	17,013
P10A	-3,009	1,767	164,600	10,809
P8	-2,468	1,439	166,000	14,363
PO10	-2,302	1,554	163,086	10,576
P6	-2,224	2,128	164,171	18,968
P10	-1,889	1,138	166,086	8,197
P2	-1,824	2,161	162,229	25,299
O10	-1,730	1,419	162,629	12,877
P2A	-1,686	2,412	164,914	24,085
P4	-1,653	2,476	157,143	20,732
P8A	-1,514	1,379	169,971	17,039

Anhang B

Tabelle B17 Mittlere Amplituden (in μV)
und mittlere Latenzen (in ms) der N170 für einen ärgerlichen Gesichtsausdruck

N = 20 Ärger-Gesicht	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
P9	-0,825	0,754	169,114	19,091
P9A	-1,595	1,277	173,600	17,162
P7	-1,134	0,978	173,971	19,497
P7A	-0,959	1,034	175,571	19,467
P5	-1,404	1,322	166,229	21,455
P3	-1,234	1,804	168,286	25,535
P1	-1,699	1,924	167,743	25,944
P1A	-1,615	1,638	170,429	24,811
PO9	-1,261	1,102	170,629	16,585
PO7	-2,181	1,615	166,429	16,713
O9	-1,085	1,498	161,371	15,539
P10	-2,066	1,181	168,000	11,376
P10A	-3,207	1,743	164,571	12,708
P8	-2,560	1,611	161,686	14,428
P8A	-1,580	1,506	166,229	17,147
P6	-2,042	2,584	161,200	19,132
P4	-2,221	2,090	163,514	24,048
P2	-2,228	2,447	163,200	24,787
P2A	-2,307	2,092	164,686	24,592
PO10	-2,400	1,556	162,914	13,347
PO8	-3,538	2,321	163,171	19,241
O10	-1,586	1,405	162,714	16,169

Anhang B

Tabelle B18 Mittlere Amplituden (in μV)
und mittlere Latenzen (in ms) der N170 für einen freudigen Gesichtsausdruck

N = 20 Uhr-FreudeGesicht	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
P9	-0,990	1,191	167,514	17,948
P9A	-1,736	1,783	173,857	15,787
P7	-1,233	1,246	172,029	20,319
P7A	-1,257	1,608	168,686	21,324
P5	-1,376	1,542	165,057	21,114
P3	-1,334	1,838	160,000	24,418
P1	-1,506	1,868	161,714	25,195
P1A	-1,349	1,754	167,257	25,340
PO9	-1,390	1,091	167,857	18,049
PO7	-1,954	1,653	170,771	19,079
O9	-1,274	1,336	163,629	16,489
P10	-1,924	1,377	168,286	11,689
P10A	-3,077	1,943	165,714	13,855
P8	-2,452	1,690	167,229	15,973
P8A	-1,334	1,531	169,514	18,283
P6	-2,170	2,060	167,800	20,846
P4	-1,919	2,335	159,000	22,548
P2	-1,853	2,212	163,829	25,370
P2A	-2,156	2,189	163,771	24,698
PO10	-2,291	1,623	164,914	13,301
PO8	-3,296	2,268	168,657	20,006
O10	-1,571	1,290	162,943	16,476

Anhang B

Tabelle B19 Mittlere Amplituden (in μV)
und mittlere Latenzen (in ms) der N170 für einen ärgerlichen Gesichtsausdruck

N = 20 Uhr-Ärger-Gesicht	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
P9	-0,900	1,055	168,314	17,536
P9A	-1,728	1,563	168,429	14,019
P7	-1,102	1,207	169,486	18,144
P7A	-0,957	1,467	171,229	19,574
P5	-1,143	1,665	165,457	18,522
P3	-1,162	2,026	161,771	24,197
P1	-1,558	2,120	163,314	26,028
P1A	-1,284	2,031	162,514	23,161
PO9	-1,560	1,086	164,943	14,677
PO7	-2,248	1,732	163,857	17,908
O9	-1,643	1,262	161,600	14,532
P10	-2,026	1,345	168,171	10,351
P10A	-3,210	1,903	166,143	12,453
P8	-2,550	1,517	163,686	13,672
P8A	-1,686	1,429	167,314	17,769
P6	-2,206	2,248	164,829	18,561
P4	-2,004	2,355	159,314	21,960
P2	-2,086	2,413	160,200	24,157
P2A	-2,118	2,252	162,914	23,901
PO10	-2,418	1,519	164,971	12,389
PO8	-3,597	2,290	162,371	17,757
O10	-2,031	1,636	161,600	15,724

Anhang B

Tabelle B20 Mittlere Amplituden des Differenzpotenziales (in μV)
und mittlere Latenzen (in ms) für einzelne Hirnareale

N = 20	Amplitude		Latenz	
	M	SD	M	SD
Emo-Prime				
Präfrontal	-2,242	0,536	345,737	13,965
Frontal	-1,755	0,313	345,443	14,865
Frontocentral	-1,647	0,287	355,200	11,012
Central	-1,937	0,376	354,396	10,283
Centroparietal	-1,414	0,227	360,045	13,555
Parietal	-1,328	0,208	373,557	14,518
Occipital	-1,394	0,326	364,933	10,054
Uhr-Prime				
Präfrontal	-2,819	0,648	353,597	11,998
Frontal	-2,340	0,483	345,365	10,722
Frontocentral	-2,159	0,494	348,433	12,525
Central	-2,396	0,282	360,396	6,611
Centroparietal	-2,023	0,477	368,598	11,105
Parietal	-1,738	0,474	380,086	17,039
Occipital	-1,478	0,503	380,284	17,238

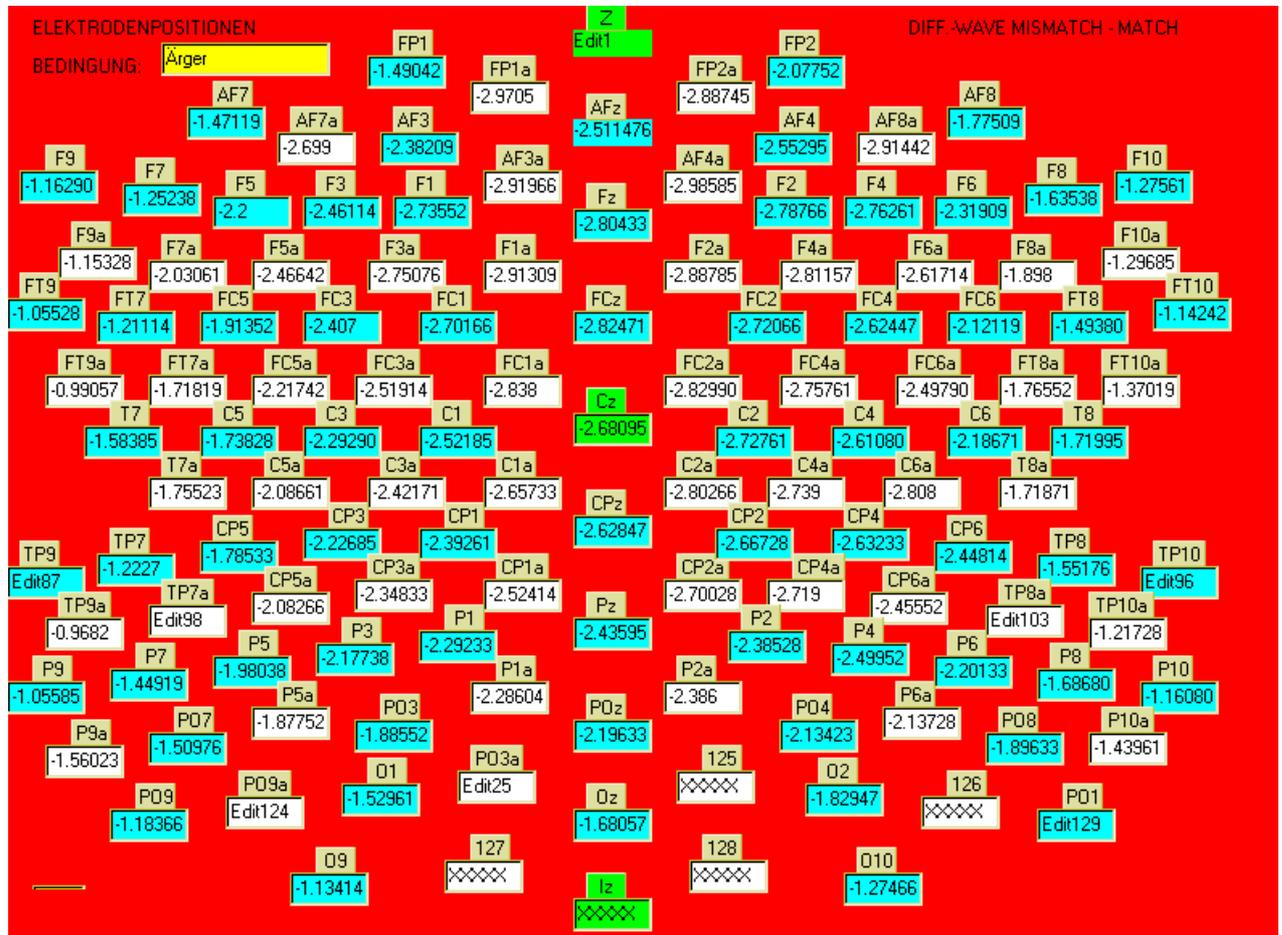
Anhang B

Abbildung B1 Freude/Mismatch



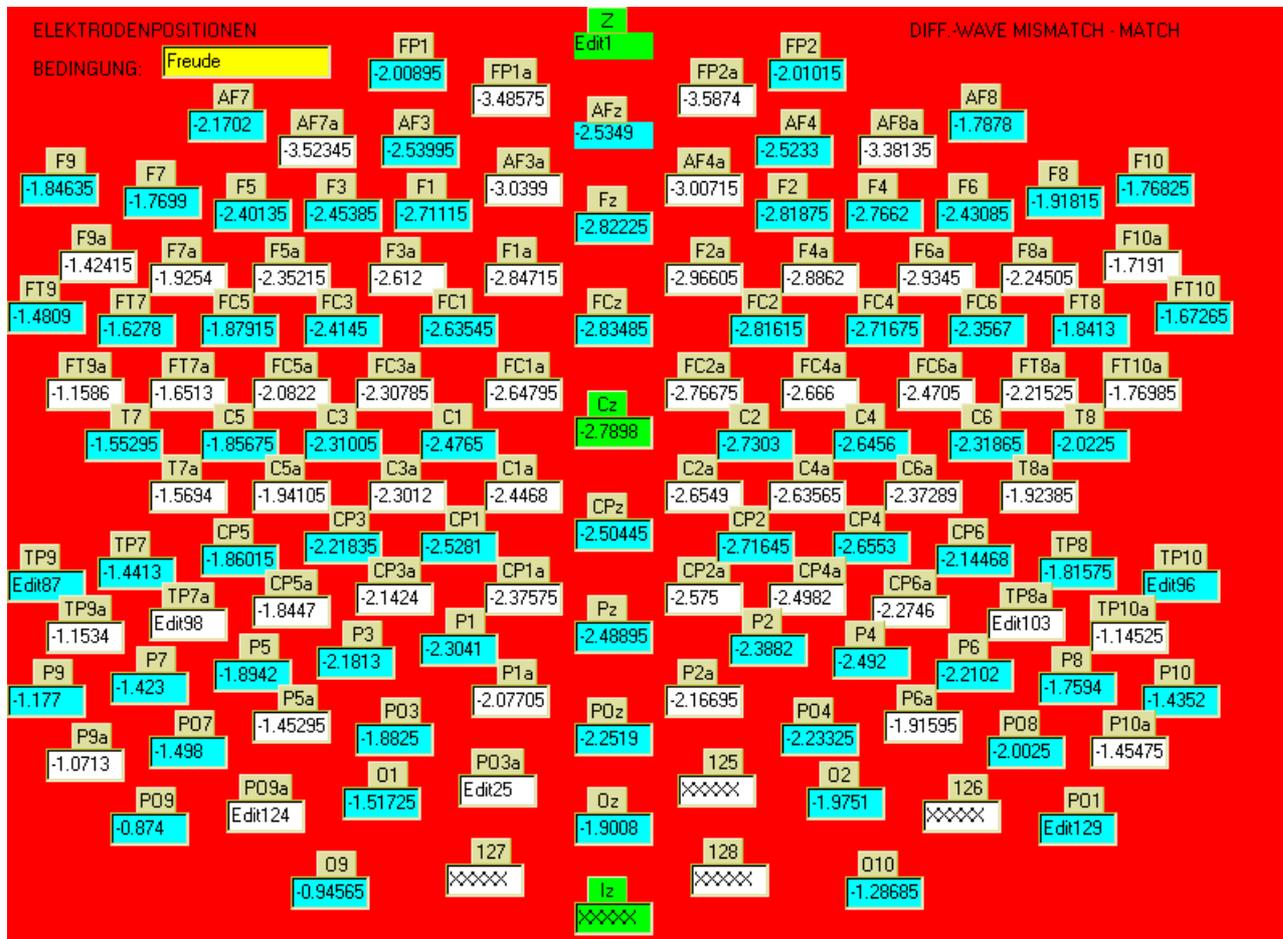
Anhang B

Abbildung B2 Ärger/Mismatch



Anhang B

Abbildung B3 Ärgerliches Gesicht (Uhrzeitbedingung)



Anhang B

Abbildung B4 Freudiges Gesicht (Uhrzeitbedingung)

