

Institut für Psychologie der Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

Untersuchung von Gesichterpriming und Lokalisation dipolarer Quellorte der Gesichtsverarbeitung in Magneto- und Elektroenzephalogramm

zur Erlangung des akademischen Grades doctorum rerum naturalium
im Fach Psychologie

eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II
der Humboldt-Universität zu Berlin

vorgelegt von Dipl.-Psych. Iris Deffke

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II
Prof. Dr. Uwe Kähler

Gutachter: 1. Prof. Dr. Gabriel Curio
2. Prof. Dr. Helmut Leder
3. Prof. Dr. Werner Sommer

eingereicht: 20. April 2005

Datum der Promotion: 04. November 2005

Abstrakt

Die Verarbeitung unbekannter und visuell vertrauter Gesichter wurde mittels simultaner Messung von Elektroenzephalogramm (EEG), Magnetoenzephalogramm (MEG) und Verhaltensreaktionen untersucht. Dipollokalisationen zeigten, dass MEG und EEG bei 170 ms und 400 bis 500 ms nach Beginn von Gesichterdarbietungen Aktivierung der posterioren Gyri fusiformes (GF) abbilden. Damit konnten beide Zeitbereiche als Aktivität des fusiformen Gesichterareals interpretiert werden. In einem Primingparadigma wurde bei viermaliger Wiederholung unbekannter Gesichter ein Reaktionszeitpriming gezeigt, das für Wiederholungen mit einem Zeitabstand (Lag) von Sekunden stärker als für mehrere Minuten war. Im EEG bewirkten nur Wiederholungen mit kurzem Lag einen Wiederholungseffekt von 300 ms bis 600 ms an posterioren und zentralen Elektroden. Dieser wurde als Korrelat impliziter Gedächtnisverarbeitung von Gesichtern im GF interpretiert. Ein frontaler Wiederholungseffekt ab 700 ms wurde als Ausdruck inzidentellen Erkennens der Gesichterwiederholungen angesehen. Das MEG zeigte posterior einen Wiederholungseffekt ab 800 ms für das kurze Lag. Für das lange Lag wurden keine MEG- oder EEG-Effekte gefunden. Die Wiederholung des Primingexperimentes mit den in einem Lerntraining vertraut gewordenen Gesichtern erzeugte eine generelle Verkürzung der Reaktionszeiten, aber eine Abschwächung des Primingeffektes für das kurze Lag und einen Verlust der Abhängigkeit der Primingstärke vom Zeitabstand. Diese Veränderungen gingen im EEG mit dem Trend zur Verstärkung des posterioren Wiederholungseffektes ab 500 ms einher. Im MEG konnte für die vertrauten Gesichter ein dem EEG in Zeit und Entstehungsort analoger Wiederholungseffekt gezeigt werden. Die Ergebnisse der Untersuchung von Priming bringen Evidenz für die Existenz von Primingeffekten für unbekannte Gesichter. Sie zeigen die Abhängigkeit der Primingeffekte vom Wiederholungsabstand und die Veränderung von Primingeffekten beim Erwerb visueller Vertrautheit.

Schlagwörter:

Gesichterverarbeitung

N/M170

Dipollokalisation

Gyrus fusiformis

Priming

Abstract

The processing of unfamiliar and visually familiar faces was examined in a simultaneous measurement of Electroencephalogram (EEG), Magnetoencephalogram (MEG) and behavioural reactions during the presentation of a priming task. Dipole modelling on the EEG and MEG data localized activity in posterior fusiform gyri around 170 ms and between 400 and 500 ms post stimulus onset. Both time ranges were interpreted as activity correlates of the fusiform face area. In the priming paradigm unfamiliar faces were repeated four times. A reaction time priming effect could be shown. This effect was stronger for a short lag (seconds) between repetitions than for minutes. In EEG, only repetitions with short lag evoked a repetition effect at posterior and central electrodes between 300 and 600 ms. This effect was interpreted as a correlate of implicit memory processes presumably generated in the fusiform gyrus. A frontal repetition effect starting around 700 ms was considered a reflection of the incidental recognition of the face repetitions. The MEG data showed a repetition effect for the short lag starting at 800 ms. No electrophysiological effects of face repetition were found for the long lag. Some months later, the same subjects were visually familiarized with the faces in three learning sessions and the priming experiment was repeated. An overall shortening of reaction times was found together with a weakening of the priming effect for the short lag and an absence of the lag's influence on the strength of the priming effects. In the EEG data a trend for a strengthening of the posterior repetition effect from 500 ms onward emerged. The MEG data yielded a repetition effect for the familiar faces that was analogous to the EEG effect. The results of the priming task give evidence for the existence of priming effects for unfamiliar and familiar faces. They furthermore demonstrate the dependency of priming effects on the lag between repetitions and the visual familiarity of the faces.

Keywords:

Face processing

N/M170

Dipole localization

Fusiform gyrus

Priming

Inhaltsverzeichnis

ABSTRAKT	3
ABSTRACT	4
EINLEITUNG	9
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	11
1 THEORIE	13
1.1 DAS KOGNITIVE MODELL DER GESICHTERVERARBEITUNG VON BRUCE UND YOUNG	13
1.2 VERARBEITUNG VISUELLER OBJEKTE IM GEHIRN	17
1.3 HINWEISE AUF EINE MODULARITÄT DER GESICHTERVERARBEITUNG BEI PATIENTEN MIT PROSOPAGNOSIE	18
1.4 THEORIEN ZUR MODULARITÄT DER GESICHTERVERARBEITUNG.....	19
1.5 DAS NEURONALE NETZWERK DER GESICHTERVERARBEITUNG IM OCCIPITOTEMPORALEN KORTEX	22
1.5.1 <i>Das fusiforme Gesichterareal (FFA)</i>	23
1.5.2 <i>Das occipitale Gesichterareal (OFA)</i>	24
1.5.3 <i>Der Sulcus temporalis superior (STS)</i>	25
1.6 ELEKTROPHYSIOLOGISCHE KORRELATE DER GESICHTERVERARBEITUNG	26
1.6.1 <i>Messungen mit intracerebralen Elektroden</i>	26
1.6.2 <i>Ereigniskorrelierte Potentiale der Gesichterverarbeitung im EEG</i>	30
1.6.2.1 P100	31
1.6.2.2 N170.....	32
1.6.2.3 Vertex Positive Potential (VPP)	34
1.6.2.4 P2	34
1.6.2.5 N250r	35
1.6.2.6 ERP-Verschiebungen ab 300 ms	36
1.6.3 <i>Unterschiede zwischen EEG- und MEG-Messungen</i>	40
1.6.4 <i>Ereigniskorrelierte Felder der Gesichterverarbeitung im MEG</i>	42
1.7 NEURONALE GENERATOREN ELEKTROPHYSIOLOGISCHER KORRELATE DER GESICHTERVERARBEITUNG	45
1.7.1 <i>Neuronale Generatoren ereigniskorrelierter Potentiale der Gesichterverarbeitung in Lokalisationsstudien</i>	46
1.7.2 <i>Neuronale Generatoren ereigniskorrelierter Felder der Gesichterverarbeitung in Lokalisationsstudien</i>	49
1.8 PRIMING	52
1.8.1 <i>Maße von Priming</i>	52
1.8.2 <i>Taxonomie von Primingphänomenen</i>	54
1.8.3 <i>Neuroanatomische Verortung von Primingphänomenen</i>	57
1.8.4 <i>Bedingungen von Effekten des Wiederholungspriming für Gesichter</i>	58

1.8.4.1	Bekanntheit der Gesichter.....	59
1.8.4.2	Zeitintervall zwischen Gesichterwiederholungen.....	61
1.8.4.3	Anzahl der Gesichterwiederholungen.....	62
2	FRAGESTELLUNGEN UND OPERATIONALISIERUNG.....	65
2.1	UNTERSUCHUNG VON EFFEKTEN DER GESICHTERWIEDERHOLUNG AUF VERHALTENSMAßE UND PARAMETER ELEKTROPHYSIOLOGISCHER AKTIVITÄT.....	65
2.2	OPERATIONALISIERUNG DER FRAGESTELLUNGEN ZU EFFEKTEN DER GESICHTERWIEDERHOLUNG...	70
2.3	FRAGESTELLUNGEN ZUR DIPOLLOKALISATION.....	71
2.4	OPERATIONALISIERUNG DER FRAGESTELLUNGEN ZUR DIPOLLOKALISATION.....	74
3	METHODE	77
3.1	STICHPROBE	77
3.2	STIMULI UND EXPERIMENTELLE AUFGABE	77
3.3	VERSUCHSPLANUNG.....	78
3.3.1	<i>Unabhängige Variablen (Faktoren)</i>	78
3.3.2	<i>Versuchsplan</i>	79
3.3.3	<i>Abhängige Variablen</i>	80
3.3.3.1	Ereigniskorrelierte Potentiale (ERP).....	80
3.3.3.2	Ereigniskorrelierte Felder (ERF)	81
3.3.3.3	Reaktionszeiten.....	82
3.3.3.4	Fehler.....	82
3.4	AUFBAU DES GESICHTERPRIMINGEXPERIMENTS.....	82
3.5	AUFBAU DER LERNSITZUNGEN FÜR DIE GESICHTER	83
3.6	MESSUNG DER ABHÄNGIGEN VARIABLEN	85
3.6.1	<i>Elektroenzephalogramm (EEG)</i>	85
3.6.2	<i>Magnetoenzephalogramm (MEG)</i>	86
3.6.3	<i>Elektrookulogramm (EOG)</i>	87
3.6.4	<i>Filterung und Digitalisierung von EEG, MEG und EOG</i>	87
3.6.5	<i>Messung von Reaktionszeiten und Fehlern</i>	87
3.7	INSTRUKTIONEN FÜR MESSUNG 1 UND 2	88
3.8	DATENERHEBUNG FÜR DIE DIPOLLOKALISATION	89
3.8.1	<i>Messung der Kopfposition im MEG-Gerät</i>	89
3.8.2	<i>Messung der Positionen von Spulen und EEG-Elektroden am Kopf</i>	89
3.8.3	<i>Magnetresonanztomographische Aufnahme (MRT) des Gehirns</i>	90
3.9	EXPERIMENTABLAUF	91
3.9.1	<i>Experimentsteuerung mit ERTS</i>	91
3.9.2	<i>Ablauf von Messung 1</i>	92
3.9.3	<i>Ablauf der Lernsitzen 1 und 2</i>	92
3.9.4	<i>Ablauf von Messung 2 und MRT-Aufnahme</i>	93

3.10	AUSWERTUNGSMETHODEN	93
3.10.1	<i>EOG-Auswertung und Korrektur von Augenartefakten</i>	93
3.10.2	<i>Berechnung von ereigniskorrelierten Potentialen (ERP) und ereigniskorrelierten Feldern (ERF)</i> 94	
3.10.3	<i>Auswertung der ereigniskorrelierten Potentiale und Felder</i>	94
3.10.4	<i>Auswertung von Reaktionszeiten und Fehlern</i>	95
3.10.5	<i>Statistische Verfahren zur Hypothesentestung</i>	95
3.10.6	<i>Dipollokalisierung</i>	96
3.10.6.1	Dipollokalisierung für die Einzelpersonen.....	96
3.10.6.2	Bestimmung der mittleren Dipolorte und Vergleich zwischen Orten einzelner Komponenten	98
3.10.6.3	Bestimmung der Dipolstärke	98
3.10.6.4	Berechnung der ICA zur Artefaktkorrektur in den MEG-Daten	98
4	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	99
4.1	ERGEBNISSE DER REAKTIONSZEIT- UND FEHLERAUSWERTUNG.....	99
4.1.1	<i>Reaktionszeiten und Fehler in Messung 1</i>	99
4.1.2	<i>Reaktionszeiten und Fehler in Messung 2</i>	103
4.1.3	<i>Vergleich der Reaktionszeiten und Fehler von Messung 1 und 2</i>	107
4.2	ERGEBNISSE DER AUSWERTUNG EREIGNISKORRELIERTER FELDER	112
4.2.1	<i>Ereigniskorrelierte Felder in Messung 1</i>	112
4.2.1.1	M100, M170 und M200 in Messung 1	113
4.2.1.2	Ereigniskorrelierte Felder ab 300 ms in Messung 1	114
4.2.2	<i>Ereigniskorrelierte Felder in Messung 2</i>	118
4.2.2.1	M100, M170 und M200 in Messung 2	119
4.2.2.2	Ereigniskorrelierte Felder ab 300 ms in Messung 2	119
4.2.3	<i>Vergleich der ereigniskorrelierten Felder aus Messung 1 und 2</i>	123
4.3	ERGEBNISSE DER AUSWERTUNG EREIGNISKORRELIERTER POTENTIALE.....	131
4.3.1	<i>Ereigniskorrelierte Potentiale in Messung 1</i>	132
4.3.1.1	P100, N170 und P2	132
4.3.1.2	Ereigniskorrelierte Potentiale ab 300 ms.....	138
4.3.2	<i>Ereigniskorrelierte Potentiale in Messung 2</i>	147
4.3.2.1	P100, N170 und P2	147
4.3.2.2	Ereigniskorrelierte Potentiale ab 300 ms.....	149
4.3.3	<i>Vergleich der ereigniskorrelierten Potentiale aus Messung 1 und 2</i>	163
4.4	DISKUSSION DER EFFEKTE VON PRIMING UND VERTRAUTHEIT MIT GESICHTERN AUF ERP, ERF, REAKTIONSZEITEN UND FEHLER.....	168
4.4.1	<i>Stichprobengröße der vorliegenden Arbeit</i>	168
4.4.2	<i>Primingeffekte für unbekannte Gesichter</i>	169
4.4.3	<i>Primingeffekte für visuell vertraute Gesichter in Messung 2 und Unterschiede zu den Primingeffekten aus Messung 1</i>	181

4.4.4	<i>Effekte der Vertrautheit von Gesichtern auf die Meßparameter</i>	185
4.5	DIPOLLOKALISATIONEN VON N170 UND M170	187
4.5.1	<i>Latenzen und Amplituden von N170 und M170</i>	188
4.5.2	<i>Goodness of Fit der Dipollokalisierungen von N170 und M170</i>	189
4.5.3	<i>Dipolorte von M170 und N170 für die Einzelpersonen</i>	190
4.5.4	<i>Dipolorte von M170 und N170 für die Gruppe der Versuchspersonen</i>	200
4.5.5	<i>Zeitkurven der Dipolstärken von N170 und M170</i>	201
4.5.6	<i>Vergleich der M170-Dipollokalisierungen für Ganzkopf-MEG-Daten mit und ohne ICA-Korrektur</i>	202
4.5.7	<i>Vergleich von N170 und M170-Lokalisierungen für die Daten von Messung 1 und 2</i>	203
4.5.8	<i>Quellkurven für N170 und M170 in Messung 2 und Vergleich zu Messung 1</i>	205
4.5.9	<i>Vergleich zwischen M170-Lokalisierungen für alle 93-MEG-Sensoren und für eine Auswahl posteriorer MEG-Sensoren</i>	206
4.5.10	<i>Zusammenfassung der Lokalisierungsergebnisse von N170 und M170</i>	208
4.6	DIPOLLOKALISATIONEN FÜR ZEITBEREICHE AB 300 MS IN EREIGNISKORRELIERTEN FELDERN UND POTENTIALEN	209
4.6.1	<i>Individuelle Feldmuster und Potentialverteilungen später ERP und ERF</i>	209
4.6.2	<i>Dipolare Quellen von N400 und M400 für Einzelpersonen</i>	210
4.6.3	<i>Quellorte von N / M400 für die Gruppe der Versuchspersonen und Vergleich mit den Lokalisierungsergebnissen von N / M170</i>	216
4.6.4	<i>Untersuchung der Quellstärken von M400 und N400</i>	217
4.6.5	<i>Zusammenfassung der Lokalisierungsergebnisse von N400 und M400</i>	222
4.7	DISKUSSION DER LOKALISATIONSERGEBNISSE	223
4.7.1	<i>Anzahl und Orte neuronaler Quellen der N170</i>	223
4.7.2	<i>Anzahl und Orte neuronaler Quellen der M170</i>	227
4.7.3	<i>Anzahl und Orte neuronaler Quellen der N400 und Vergleich mit der N170</i>	229
4.7.4	<i>Anzahl und Orte neuronaler Quellen der M400 und Vergleich mit der M170</i>	231
4.7.5	<i>Die Komplementarität von MEG und EEG für die Dipollokalisierung</i>	233
4.7.6	<i>Primingeffekte und Effekte der visuellen Vertrautheit mit Gesichtern auf N400 und M400</i>	235
4.7.7	<i>Die Rolle von N / M170 und N / M400 als Korrelat von Aktivierung im neuronalen Netzwerk der Gesichterverarbeitung</i>	238
5	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	242
	LITERATURVERZEICHNIS	247
	DANKSAGUNG	259
	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	260

Einleitung

Prozesse des Erkennens und Erinnerns von Gesichtern sind wichtige und hochdifferenzierte Funktionen visueller Wahrnehmung. Menschen sehen im Laufe ihres Lebens tausende, sich meist nur in subtilen Aspekten voneinander unterscheidende Gesichter. Sie können diese dennoch mit einer solch erstaunlichen Genauigkeit erkennen und im Gedächtnis behalten, daß sowohl Kognitionswissenschaften als auch Neurowissenschaften der Gesichterwahrnehmung eine Sonderstellung innerhalb der Objektwahrnehmung eingeräumt haben und sich intensiv mit der Erforschung ihrer kognitiven und neuronalen Mechanismen beschäftigen. Dabei ist deutlich geworden, daß Gesichterwahrnehmungsprozesse aus unterschiedlichen kognitiven Verarbeitungsschritten bestehen (z.B. Bruce und Young, 1986), die von einem neuronalen Netzwerk in hinteren (occipitotemporalen) Kortextarealen gesteuert werden (Haxby, Hoffman und Gobbini, 2000). Die Teile des Netzwerkes bewältigen in Interaktion miteinander die unterschiedlichen Verarbeitungsschritte und erzeugen innerhalb von kaum mehr als einer halben Sekunde die bewusste visuelle Wahrnehmung eines Gesichts. Zu welchem Zeitpunkt im Verarbeitungsprozeß die verschiedenen Areale des Gesichternetzwerkes aktiviert sind und welches die genaue Funktion jedes Areals für die Gesichterverarbeitung ist, ist jedoch bislang noch nicht vollständig geklärt (Haxby, Hoffman und Gobbini, 2002).

Neuronale Verarbeitung bei Gesichterwahrnehmung kann in ihrer schnellen zeitlichen Dynamik bislang nur mit der Messung ihrer elektrophysiologischen Korrelate in Elektroenzephalogramm (EEG) und Magnetoenzephalogramm (MEG) abgebildet werden. Beide Verfahren messen prinzipiell die Aktivierung derselben neuronalen Quellen, unterscheiden sich aber in ihrer Fähigkeit zur Trennung der Beiträge einzelner Quellen in der gemessenen Aktivität und in ihrer Abbildung der räumlichen Quellorientierung voneinander (Hämäläinen, Hari, Ilmoniemi, Knuutila und Lounasmaa, 1993). Die gleichzeitige Messung beider Verfahren kann daher sich ergänzende Informationen im Hinblick auf die Erforschung elektrophysiologischer Prozesse der Gesichterverarbeitung liefern.

In der vorliegenden Arbeit wird die simultane Messung von MEG und EEG eingesetzt, um Prozesse der sogenannten impliziten Gedächtnisverarbeitung von Gesichtern zu untersuchen, die ohne eine Intention, sich die Gesichter bewusst einzuprägen, ablaufen. Dabei sollen die folgenden Fragen untersucht werden: Auf welchen zeitlichen Stufen elektrophysiologischer Aktivität werden Prozesse der impliziten Gedächtnisverarbeitung von Gesichtern in MEG und EEG abgebildet? Wie werden diese Gedächtnisprozesse vom zeitlichen Abstand, mit dem die Gesichter wiederholt werden, beeinflusst? Wie wirkt sich die mehrmalige Wiederholung derselben Gesichter auf die Stärke der impliziten Gedächtniseffekte aus? Unterscheidet sich die Verarbeitung der Gesichter, wenn sie visuell vertraut geworden sind, von der Verarbeitung derselben Gesichter, wenn sie unbekannt sind?

Die neuronalen Quellorte von in MEG und EEG gemessener Aktivierung können aufgrund des inversen Problems, das die theoretische Unendlichkeit der Zahl neuronaler Quellkonstellationen einer an der Kopfoberfläche gemessenen elektrophysiologischen Aktivität benennt, nicht mit letztendlicher Sicherheit bestimmt werden. Das Verfahren der Dipollokalisierung bietet jedoch die Möglichkeit, diese Quellen für

einzelne, in MEG und EEG gemessene elektrophysiologische Komponenten zu modellieren. Die Untersuchung der neuronalen Ursprungsorte von EEG- und MEG-Aktivität bei Gesichtsverarbeitung kann für die Aufklärung der Frage nach den Zeitpunkten der Aktivierung einzelner Areale des neuronalen Gesichternetzwerkes (Haxby et al., 2000 und 2002) wichtige Anhaltspunkte geben. In der vorliegenden Arbeit sollen die Ursprungsorte einer der wesentlichen Komponenten der Gesichtsverarbeitung, die in MEG und EEG um 170 ms nach Beginn von Gesichtspräsentationen gemessen wird, modelliert werden. Dies wurde bereits in anderen Studien sowohl für MEG (z.B. Halgren, Raij, Marinkovic, Jousmäki und Hari, 2000) als auch EEG (z.B. Rossion, Joyce, Cottrell und Tarr, 2003) durchgeführt, führte jedoch zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen zwischen vergleichbaren Studien, so daß die Frage nach den wahrscheinlichsten neuronalen Generatoren der Aktivierung um 170 ms bislang noch kontrovers diskutiert wird.

Ein Beitrag zur Lösung dieser Kontroverse soll hier anhand der Durchführung von Dipollokalisierungen simultan gemessener MEG- und EEG-Aktivität geliefert werden. Dabei liegt ein Fokus der Arbeit auf der Durchführung eines Dipollokalisierungsverfahrens, das es durch ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis in den MEG- und EEG-Daten und anhand der Coregistrierung von strukturellen magnetresonanztomographischen Gehirnaufnahmen (MRT) erlaubt, die Quellorte für jeden einzelnen Probanden zu bestimmen und sie zwischen MEG und EEG zu vergleichen. Die Reliabilität der Lokalisierungsergebnisse soll durch den Vergleich von Dipollokalisierungen wiederholter MEG- und EEG-Messungen geprüft werden. In den Dipollokalisierungen sollen jedoch nicht nur die neuronalen Quellen von Gesichtsverarbeitung für Aktivierung um 170 ms, sondern auch für spätere Zeitbereiche ab 300 ms modelliert werden. Die Modellierung neuronaler Quellen zeitlich später MEG- und EEG-Korrelate der Gesichtsverarbeitung kann für die Verortung von impliziten Gedächtnisprozessen der Gesichtsverarbeitung, wie sie in der vorliegenden Arbeit gemessen werden sollten, von Bedeutung sein, da diese vor allem in späten Zeitbereichen nach Stimulusbeginn angenommen werden (z.B. Schweinberger, Pickering, Burton und Kaufmann, 2002).

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Varianzanalyse mit Messwiederholung
COR	Coronar
Df	Freiheitsgrade
EEG	Elektroenzephalogramm
ERE	Early repetition effect
ERF	Ereigniskorrelierte Felder
ERP	Ereigniskorrelierte Potentiale
ERTS	Experimental Run Time System
FFA	Fusiform face area (Fusiformes Gesichterareal)
FRU	Face Recognition Unit
fT	femtoTesla
GF	Gyrus fusiformis
GFP	Global Field Power
GOF	Goodness of Fit
HE	Haupteffekt der ANOVA
M	Mittelwert
MEG	Magnetoenzephalogramm
MRT	Magnetresonanztomographie
nAm	nanoAmperemeter (Einheit der Quellkurvenstärke)
OFA	Occipital face area (Occipitales Gesichterareal)
P	Empirischer Signifikanzwert
PIN	Person Identity Node
PET	Positron-Emissions-Tomographie
SD	Standardabweichung
STS	Sulcus temporalis superioris
TRA	Transversal
VPP	Vertex positive potential
SQUID	Superconducting quantum interference device
WW	Wechselwirkung der Varianzanalyse
μ V	Microvolt

1 Theorie

Zur Einordnung der Untersuchungsgebiete der vorliegenden Arbeit in bestehende Modelle und empirische Befunde zur Gesichterwahrnehmung wird im folgenden zunächst ein Überblick über den Forschungsstand zur Gesichterwahrnehmung aus kognitiver und neurowissenschaftlicher Sicht gegeben (Kapitel 1.1 bis 1.5). Im Anschluss daran werden Ergebnisse zur funktionellen Bestimmung elektrophysiologischer Parameter von Gesichterwahrnehmung in MEG und EEG und zur Modellierung ihrer neuronalen Quellen dargestellt (Kapitel 1.6 und 1.7). Schließlich wird das experimentelle Paradigma Priming, das in der vorliegenden Arbeit zur Messung impliziter Gedächtnisprozesse eingesetzt wurde, mit Befunden zu Primingexperimenten für Gesichter dargestellt (Kapitel 1.8).

1.1 Das kognitive Modell der Gesichterverarbeitung von Bruce und Young

Bruce und Young (1986) haben im einflussreichsten psychologischen Modell der Gesichterverarbeitung kognitive Prozesse, die zum Erkennen von Gesichtern führen, abgebildet. Das Modell wird im folgenden genauer dargestellt, weil es einen der umfassendsten Versuche kognitiv-psychologischer Modellierung von Gesichterverarbeitung darstellt und nahezu alle empirischen Studien zum Thema Gesichterwahrnehmung sich innerhalb seiner Begrifflichkeiten bewegen. Bruce und Young (1986) unterscheiden zwischen funktionellen Modulen, von denen jedes einen bestimmten Schritt der Informationsverarbeitung leistet, und Codes, die Produkte dieser Verarbeitung sind. Abbildung 1.1 zeigt eine Modelldarstellung (angelehnt an Abbildung 1, p. 312, aus Bruce und Young, 1986) mit den einzelnen Modulen und Codes. Die Richtungen des Informationsflusses zwischen den einzelnen Einheiten sind anhand von Pfeilen dargestellt. In der Modelldarstellung sind die Wege des Erkennens unbekannter Gesichter in grüner Farbe und die Verarbeitung bekannter Gesichter in blauer Farbe gezeichnet. Die Verarbeitungsstufen, die dem Erkennen unbekannter und bekannter Gesichter gemein sind, sind blau *und* grün gefärbt.

Auf der ersten Stufe der Gesichterverarbeitung wird der piktorielle Code eines Gesichts gebildet. Er besteht aus perzeptuellen Repräsentationen, die spezifisch für jede Aufnahme - im Sinne einer Photographie - eines Gesichts sind ('a record of a particular, static, visual event'; Bruce und Young, 1986, p. 307). Das Entstehen piktorier Codes wird als Prozess angesehen, der bei jeder Art visueller Objektverarbeitung abläuft und besitzt damit nicht die Eigenschaft einer gesichterspezifischen Verarbeitungsstufe. Bruce und Young (1986) betonen die Wichtigkeit der Beachtung piktorier Codes für die Interpretation von Gedächtniseffekten im Gesichterverarbeitungssystem. Die wiederholte experimentelle Darbietung *derselben* Aufnahme eines

Gesichts reaktiviert den piktorialen Code. Ein auf diese Art erzeugter Effekt der Gesichterwiederholung spiegelt möglicherweise in Teilen einen piktorialen Gedächtniseffekt wieder, bei dem kein Transfer auf eine andere Aufnahme desselben Gesichts stattfindet. Piktoriale Codes sind Nebenprodukt struktureller Gesichtsenkodierung (siehe unten), aber sie werden auch durch gerichtete visuelle Verarbeitung (siehe Abbildung 1.1) beeinflusst. Bei der gerichteten visuellen Verarbeitung findet eine Fokussierung auf die Verarbeitung von Gesichtsmerkmalen, die distinkt sind und eine leichte Unterscheidung des Gesichts von anderen Gesichtern ermöglichen, statt. Dieser Prozess läuft besonders bei der Verarbeitung unbekannter Gesichter ab, da hier noch keine gespeicherten Gesichtsrepräsentationen deren Identifizierung erleichtern.

Bei der strukturellen Enkodierung wird die für individuelle Gesichter spezifische perzeptuelle Struktur verarbeitet. Dazu gehören sowohl einzelne Gesichtselemente wie Nase, Mund und Augen, als auch das räumliche Verhältnis dieser Elemente zueinander, ihre Konfiguration oder Relation. Die strukturelle Enkodierung ist somit aus mehreren Verarbeitungsschritten zusammengesetzt (siehe rotes Kästchen in Abbildung 1) und umfasst sowohl die Entscheidung, ob ein visuelles Objekt ein Gesicht oder ein anderes Objekt ist, als auch die Enkodierung konfiguraler Informationen, die Enkodierung einzelner Gesichtselemente und die Bildung des piktorialen Codes. Die Verarbeitung konfiguraler Informationen spielt beim Erkennen von Gesichtern im Vergleich zu anderen visuellen Objekten eine überproportional große Rolle, hinter der die Bedeutung der Enkodierung einzelner Gesichtselemente zurücktritt (Leder und Bruce, 2000). Der bei der strukturellen Enkodierung entstehende strukturelle Code repräsentiert eine abstraktere Bildebene als der piktoriale Code. Er enthält die individuelle, invariante Struktur eines Gesichts, die notwendig ist, um es situationsübergreifend von anderen Gesichtern unterscheiden zu können. Für bekannte Gesichter gibt es viele solcher strukturellen Codes, die einerseits in Form von Gesichtsrepräsentationen aus verschiedenen Ansichtsperspektiven bestehen und andererseits in Form abstrakterer Repräsentationen vorliegen, die von der Ansichtsperspektive unabhängig sind.

Alle strukturellen Codes eines Gesichts werden in der sogenannten Face Recognition Unit (FRU) gespeichert. Die FRU ist der visuell-perzeptuelle Langzeitspeicher für bekannte Gesichter und wird nur aktiviert, wenn ein bekanntes Gesicht *gesehen* wird. Obwohl die Verarbeitung des individuellen Gesichts schon auf der Ebene der strukturellen Enkodierung abläuft, wird ein bekanntes Gesicht erst durch den Zugriff auf die Face Recognition Unit erkannt. Aus der perzeptuellen Verarbeitung eines Gesichts kann man auch semantische Informationen gewinnen, die das Wissen über die Person, die zum Gesicht gehört, ausmachen, wie etwa ihr Geschlecht. Solche Informationen werden im visuell erzeugten semantischen Code gespeichert. Dieser Code stellt kein eigenes Modul dar, sondern wird ins kognitive System verwiesen, dem die generelle Verarbeitung von Stimuli zugeschrieben wird. In Abgrenzung zum visuell erzeugten semantischen Code steht der identitätsspezifische semantische Code, der verbal oder visuell vermittelte Informationen über eine Person enthält. Alle identitätsspezifischen semantischen Codes, die zu einer Person vorliegen, sind im Person Identity Node (PIN) gespeichert. Der PIN kann aktiviert werden, indem zum Beispiel Gesicht, Name oder Stimme einer Person wahrgenommen werden und ist die Verarbeitungsstufe, auf der ein vertraut erscheinendes Gesicht als das einer bestimmten, bekannten Person wahrgenommen wird (Burton, Bruce und Johnston, 1990). Der Namenscode wird als getrennt von den übrigen Informationen des identitätsspezifischen

semantischen Codes bestehend angenommen. Der Name einer bekannten Person kann nach dem Modell jedoch nur dann abgerufen werden, wenn der PIN auch aktiviert ist. Unabhängig von der Verarbeitung identitätsspezifischer Merkmale eines Gesichts und der dazugehörigen Person wird im Gesichtsausdruckscode der emotionale Ausdruck eines Gesichts gespeichert, und im gesichtssprachlichen Code werden Informationen über das, was eine Person sagt, anhand der Verarbeitung ihrer Lippenbewegungen beim Sprechen extrahiert. Beide Codes enthalten Informationen, die sich über Situationen verändern, und spielen eine untergeordnete Rolle bei der situationsübergreifenden Gesichtsidentifizierung.

Das Modell von Bruce und Young (1986) nimmt eine getrennte Verarbeitung bekannter und unbekannter Gesichter an, obwohl die Unterschiede zwischen beiden Verarbeitungswegen nicht in aller Genauigkeit spezifiziert werden. Für die Wahrnehmung unbekannter Gesichter spielen vor allem Prozesse der strukturellen Enkodierung und der gerichteten visuellen Verarbeitung eine Rolle, so daß die Gesichter auf individuellem Niveau erkannt und Personen voneinander unterschieden werden können, während für die Verarbeitung bekannter Gesichter die Aktivierung der Face Recognition Unit bedeutsam ist. Wenn eine Übereinstimmung zwischen einem verarbeiteten Gesicht und einer Gesichtsrepräsentation in der FRU vorhanden ist, entsteht ein Gefühl von Vertrautheit des Gesichts. Die Person letztlich vollständig erkannt wird nur durch die Aktivierung von PIN und Namenscode.

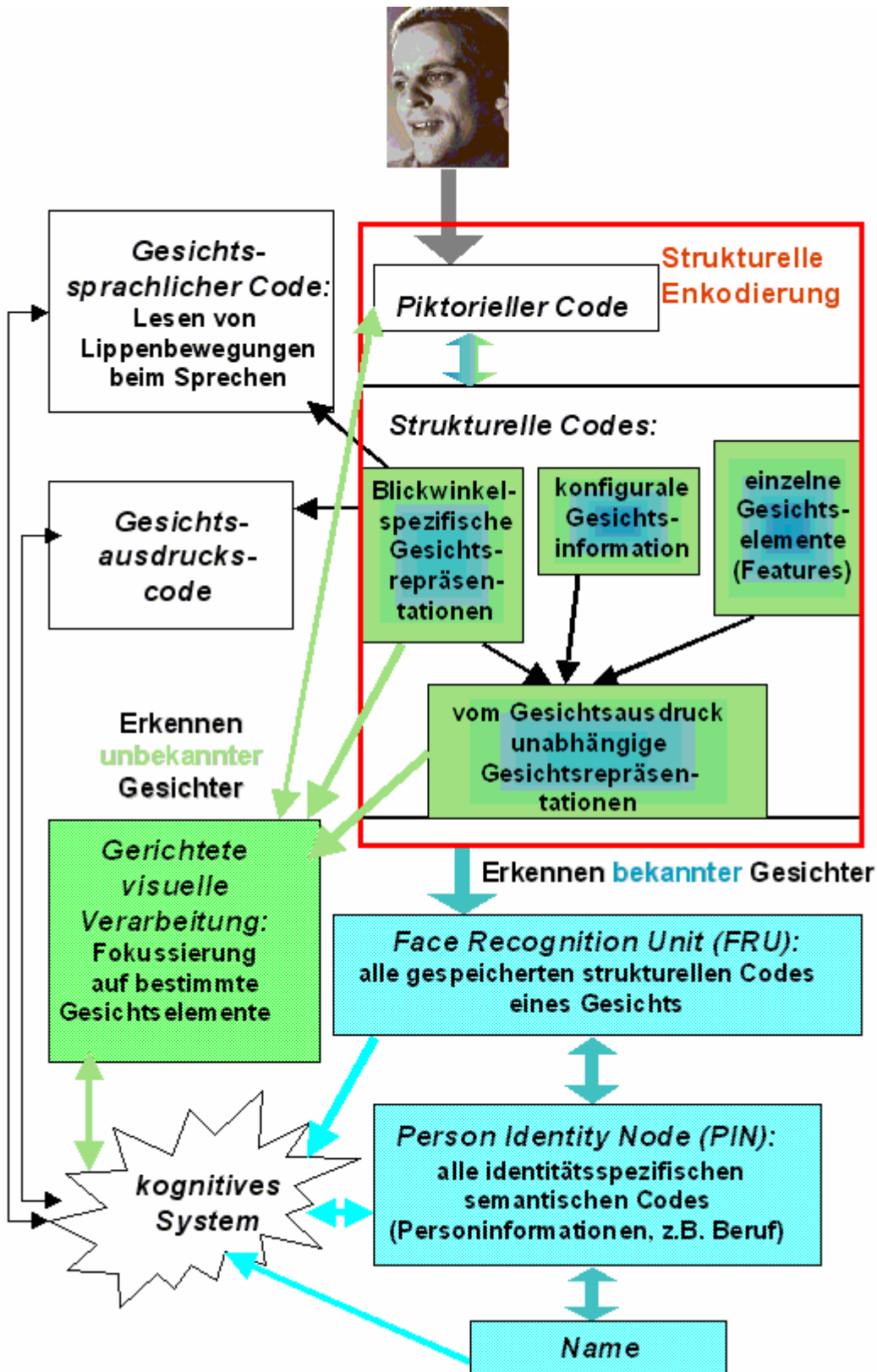


Abbildung 1.1: Modell der Gesichterverarbeitung von Bruce und Young (1986).

1.2 Verarbeitung visueller Objekte im Gehirn

Wahrnehmungsprozesse für Gesichter nehmen im Gehirn den sogenannten ventralen Verarbeitungsweg, auf dem auch die Wahrnehmung anderer visueller Objekte angesiedelt ist. Nach einer ersten gemeinsamen Verarbeitung visuellen Inputs im occipitalen Kortex laufen Prozesse der Objektwahrnehmung anatomisch getrennt von Prozessen der räumlichen Wahrnehmung und der Bewegungswahrnehmung ab. Während räumliche Wahrnehmung und Bewegungswahrnehmung in parietalen Arealen lokalisiert sind, dorsaler Verarbeitungsweg genannt, läuft der ventrale Weg der Objektwahrnehmung vom occipitalen zum temporalen Kortex. Die Trennung von räumlicher und Objektwahrnehmung wurde zunächst anhand von Läsionsstudien bei Affen demonstriert (eine Übersicht dazu siehe Mishkin, Ungerleider und Macko, 1983), konnte dann aber auch beim Menschen gezeigt werden (Ungerleider und Haxby, 1994). Die beiden Wege der Verarbeitung im menschlichen Gehirn sind schematisch in Abbildung 1.2 dargestellt.

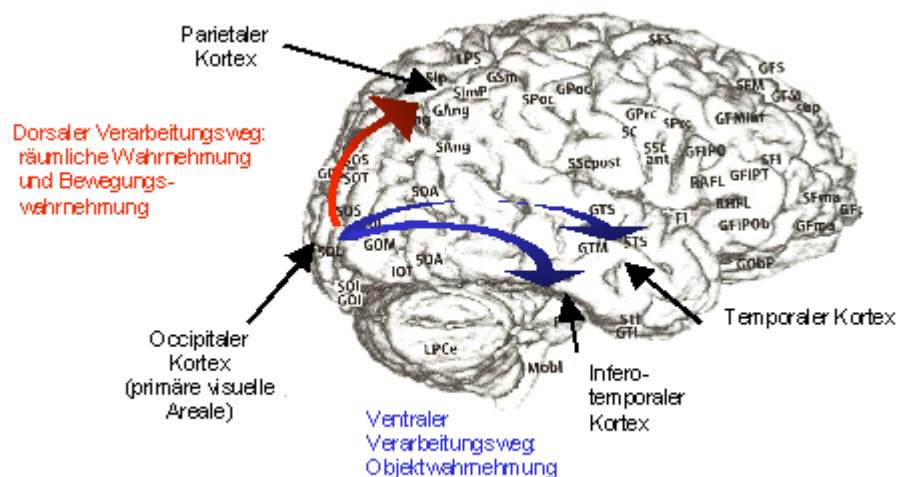


Abbildung 1.2: Ventraler und dorsaler Verarbeitungsweg im menschlichen Gehirn.

Auf dem Weg der Objektwahrnehmung findet eine hierarchisch organisierte Stimulusverarbeitung statt, die von der Analyse globaler Stimulusattribute in frühen Arealen der Objektverarbeitung wie dem primären visuellen Kortex zu immer stärkerer Ausrichtung auf komplexe Stimulusattribute führt. Diejenigen Stationen der Objekt- und damit auch der Gesichterwahrnehmung, auf denen schließlich ganzheitliche Repräsentationen von Objekten und Gesichtern enkodiert werden, liegen vor allem in Arealen des inferotemporalen Kortex (siehe Abbildung 1.2). Dort zeigen einige Neuronengruppen ihre stärkste Aktivierung nur noch bei der Präsentation bestimmter Objektklassen, etwa von Gesichtern oder Häusern (z.B. Grill-Spector, 2003). Reaktionsweise und Ort der Neuronen, die ein Objekt enkodieren, sind nicht nur vom Stimulus, sondern auch von den zu seiner Verarbeitung notwendigen kognitiven Operationen abhängig

(Ungerleider und Haxby, 1994) und damit in Experimenten durch die Aufgabe, die Versuchspersonen mit den Stimuli durchführen sollen, beeinflusst.

1.3 Hinweise auf eine Modularität der Gesichterverarbeitung bei Patienten mit Prosopagnosie

Bei Versuchen der Positionierung von neuronalen Prozessen der Gesichtserkennung innerhalb des Objektwahrnehmungssystems wurde vor allem die Frage immer wieder diskutiert, ob es ein Modul im Gehirn gibt, das nur für die Verarbeitung von Gesichtern zuständig ist. Unter Modul kann man dabei nach Fodor (1983) eine neuronale Population verstehen, die stimulusspezifisch, von Geburt an festgelegt und autonom auf einen Stimulus reagiert und dabei wenig durch kognitive Prozesse beeinflussbar ist. Für Gesichter würde dies bedeuten, daß es ein neuronales Modul gibt, das automatisch und nur durch visuellen Input in Form von Gesichtern aktiviert wird und diese auf eine relativ invariante Art verarbeitet.

Einen Hinweis auf die Modularität der Gesichterverarbeitung liefert die Existenz einer gesichterspezifischen Wahrnehmungsstörung, die Prosopagnosie genannt wird. Diese Störung ist nach Hirnverletzungen, die Läsionen im temporalen Kortex umfassen, beobachtet worden (z.B. Tranel und Damasio, 1985; Farah, Wilson, Drain und Tanaka, 1995; Eimer und McCarthy, 1999), wurde aber auch für Personen ohne nachweisbare Hirnschädigung berichtet (Bentin, Deouell und Soroker, 1999; Nunn, Postma und Pearson, 2001; Kress und Daum, 2003).

Personen mit Prosopagnosie können Gesichter zwar noch als solche in Abgrenzung zu anderen visuellen Objektklassen, aber nicht mehr auf der Ebene individueller Identität erkennen, so daß ihnen sogar ihr eigenes Gesicht unbekannt vorkommen kann (Damasio, Tranel und Damasio, 1990). Das dieser Störung zugrunde liegende Defizit besteht möglicherweise in einer gestörten Enkodierung konfiguraler Information (siehe Kapitel 1.1) von Gesichtern auf der Verarbeitungsstufe struktureller Enkodierung (Eimer und McCarthy, 1999), während die Identifizierung einzelner Gesichtselemente und das Erkennen von Gesichtsausdruck (Damasio et al., 1990), Alter und Geschlecht (Nunn et al., 2001) normalerweise nicht beeinträchtigt sind. Hier zeigt sich die enorme Wichtigkeit konfiguraler Verarbeitung von Gesichtsinformationen für das Erkennen von Gesichtern (Leder und Bruce, 2000), da individuelle Gesichter ohne eine funktionierende Enkodierung konfiguraler Gesichtsinformation auch bei einer normalen Enkodierung der Einzelemente nicht erkannt werden können. Nunn et al. (2001) fanden für andere Objektkategorien als Gesichter normale visuelle Wahrnehmungsleistungen, die auch für eine Diskrimination innerhalb der Kategorien (z.B. die Unterscheidung einzelner Automodelle) bestanden. Sie sahen dies als Beleg für eine wirkliche Gesichterspezifität des prosopagnostischen Defizits bei ihrem Patienten an und widersprachen damit der Ansicht einiger Autoren (z.B. Damasio et al., 1990), daß Personen mit Prosopagnosie ein generelles Defizit beim Erkennen aller Arten von Objekten *innerhalb* von deren Objektklassen hätten und daß die

Prosopagnosie kein gesichterspezifisches Defizit sei. Bruyer (1993) jedoch nahm an, daß das prosopagnostische Defizit zwar gesichterspezifisch sei, es aber mehrere Arten prosopagnostischer Defizite gebe, die durch Defekte auf unterschiedlichen Gesichterverarbeitungsstufen entstünden.

1.4 Theorien zur Modularität der Gesichterverarbeitung

Trotz des Vorhandenseins empirischer Hinweise auf eine spezialisierte neuronale Verarbeitung von Gesichtern ist die Frage, ob diese Verarbeitung die Aktivität eines von Geburt an bestehenden Gesichtermoduls reflektiert oder eine im Laufe des Lebens durch Erfahrung erworbene Kompetenz des Gehirns darstellt, die auch für andere Objekte erworben werden kann, immer wieder kontrovers diskutiert worden (z.B. Gauthier, 2000).

In funktionellen magnetresonanztomographischen (fMRT)- und Positron-Emissions-Tomographischen (PET)-Studien wurden objektspezifische Reaktionsmuster von Arealen im temporalen und occipitalen Kortex nicht nur für Gesichter (Kanwisher, McDermott und Chun, 1997), sondern auch für verschiedene andere Objektkategorien wie Häuser (Aguirre, Zarahn und D'Esposito, 1998) und Werkzeuge (Martin, Wiggs, Ungerleider und Haxby, 1996) gefunden. Obwohl diese Ergebnisse im Hinblick auf ein Bestehen kategoriespezifischer Module für sehr viele oder sogar alle Arten von Objekten interpretiert werden könnten, erscheint ein solches Organisationsprinzip für die Objektverarbeitung unökonomisch, da es eine riesige Anzahl visueller Objektklassen gibt und die Existenz eines eigenen Moduls für jede von ihnen extrem viele Ressourcen beanspruchen würde (Ishai, Ungerleider, Martin, Schouten und Haxby, 1999).

Die Arbeitsgruppe um Kanwisher (z.B. Kanwisher et al., 1997; Grill-Spector, 2003) nahm stattdessen ein gesondertes kortikales Gesichtermodul an, das neben einem einzigen Verarbeitungssystem für fast alle anderen visuellen Objekte besteht. Ihr Kandidat für das Gesichtermodul war das sogenannte „fusiforme Gesichterareal“ (‘Fusiform Face Area’, FFA, siehe ausführlich dazu Kapitel 1.5) im inferotemporalen Kortex, das auf die Darbietung von Gesichtern im Vergleich zu anderen komplexen Objekten stärker reagierte (Kanwisher et al., 1997). Neuere Studien (Grill-Spector, Knouf und Kanwisher, 2004; Rossion, Schiltz, und Crommelinck, 2003b) zeigten jedoch, daß weitere kortikale Areale ebenfalls gesichterspezifisch reagieren, so daß die Ausgangsthese von Kanwisher et al. (1997) dahingehend verändert werden muss, daß es mehrere Gesichterareale gibt, die in Interaktion miteinander verschiedene Teilprozesse der Gesichterverarbeitung bewältigen.

Der Annahme gesichterspezifischer neuronaler Module widersprechen vor allem die Arbeitsgruppen um Gauthier und Tarr (z.B. Tarr und Cheng, 2003; Gauthier, Curran, Curby und Collins, 2003). Sie postulieren stattdessen, daß die Verarbeitung von Gesichtern sich nicht fundamental von derer anderer Objekte unterscheidet, sondern einzig das Ergebnis von Expertise des visuellen Systems sei. Diese Expertise in der Gesichterverarbeitung erwerbe der Mensch durch außergewöhnlich häufige Begegnungen mit Gesichtern und

besondere Anforderungen an die Genauigkeit von Gesichterwahrnehmung im Alltag. Gleichartige Expertise könne jedoch auch für alle anderen Objektklassen und sogar für artifizielle, am Computer kreierte Objekte durch Training erworben werden (Gauthier, Tarr, Anderson, Skudlarski und Gore, 1999). Dann unterscheide sich die Verarbeitung dieser Objekte sowohl auf kognitiver als auch auf neurophysiologischer Ebene nicht mehr von der Gesichterverarbeitung (Gauthier et al., 1999; Rossion, Gauthier, Goffaux, Tarr und Crommelinck, 2002a).

Was genau unterscheidet visuelle Objektverarbeitung bei Expertise - und damit auch die Gesichterverarbeitung - von Objektverarbeitung ohne Expertise? Beim Erkennen visueller Objekte versuchen Menschen, die unendliche Zahl an Unterschieden, die zwischen verschiedenen Objekten auf der visuellen Ebene bestehen, auf ein zu bewältigendes Maß zu reduzieren, und gruppieren äquivalente Objekte in Kategorien. Die Gruppierung wird dabei durch den Objekten gemeinsame Attribute vorgenommen, und Kategorisierungen können sich in ihren Abstraktionsniveaus voneinander unterscheiden (Rosch, Mervis, Gray, Johnson und Boyes-Braem, 1976). Abbildung 1.3 zeigt die im Folgenden erklärten verschiedenen Niveaus der Objektklassifikation anhand eines Beispiels mit Tieren. Die Abbildung ist angelehnt an Abbildung 1 aus Tarr und Cheng (2003).

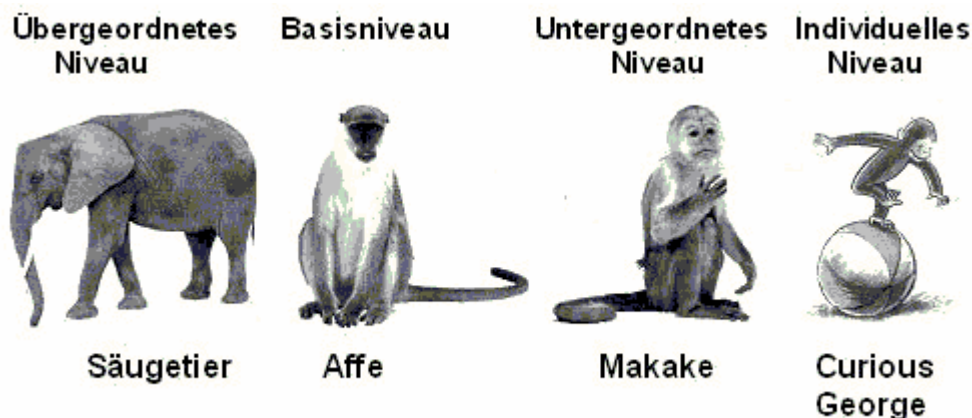


Abbildung 1.3: Niveaus der Objektklassifikation.

Der Elefant in Abbildung 1.3 kann zum Beispiel als Säugetier erkannt werden. Im Vergleich mit dem Affen, der auch ein Säugetier ist, würde er auf diesem Kategorisierungsniveau zur selben Objektkategorie gehören. Dieser Kategorisierungsprozess liegt auf einem sehr abstrakten Niveau, dem sogenannten übergeordneten Niveau (Rosch et al., 1976), da beide Tiere sich in ihrer äußeren Erscheinung stark voneinander unterscheiden und das Kategorisierungskriterium „Säugetier“ vor allem aufgrund des Säugens der Neugeborenen durch die Weibchen besteht. Auf einer weniger abstrakten Kategorisierungsstufe, dem sogenannten Basisniveau, kann man für das Säugetier (zweites von links) entscheiden, zu welcher Art es gehört, im Beispiel von Abbildung 1.3 zu den Affen. Bei dieser Entscheidung gehören Elefant und Affe nicht mehr zu einer Kategorie, sondern der Elefant gehört der Kategorie „Elefanten“ an, während der Affe der Kategorie „Affen“ angehört. Diese Kategorisierung ist die für die meisten Objekte zuerst und spontan

getroffene. Deshalb wurde dieses Kategorisierungsniveau auch Basisniveau genannt, das bei der Objektwahrnehmung im Alltag die beste Unterscheidbarkeit zwischen verschiedenen Objekten bei dem gleichzeitig geringsten kognitiven Anspruch an die Objektverarbeitung bietet (Rosch et al., 1976). Es kann nicht nur festgestellt werden, daß die Wesen in Abbildung 1.3 bis auf den Elefanten alle Affen sind, sondern man kann für jeden der Affen feststellen, zu welcher Affenart er gehört, im Beispiel (dritter von links) zu den Makaken. Diese Entscheidung liegt auf dem sogenannten untergeordneten, weniger unterschiedliche Objektattribute einschließenden Niveau. Hier würden die Affen in Abbildung 1.3 unterschiedlichen Kategorien angehören.

Die spezifischste Kategorisierungsoperation stellt das Erkennen eines Objekts auf dem Niveau individueller Identität dar. Der Schimpanse Curious George in Abbildung 1.3 ist ein anderer als die Schimpansin Judy (hier nicht abgebildet), auch wenn beide auf allen anderen Kategorisierungsniveaus zur selben Kategorie gehören. Bei der Kategorisierung auf dem Niveau individueller Identität bildet jedes einzelne visuelle Objekt eine eigene Kategorie. Diese Kategorisierung stellt den größten Anspruch an die visuelle Objektverarbeitung.

Obwohl für die meisten Objekte eine spontane Kategorisierung auf dem Basisniveau stattfindet, gibt es unter bestimmten Bedingungen Abweichungen davon. Dann werden Objekte nicht mehr spontan auf dem Basisniveau, sondern auf dem untergeordneten oder individuellen Niveau erkannt. Um diese Abweichungen zu berücksichtigen, wurde der Begriff 'entry point level' vorgeschlagen (Jolicoeur, Gluck und Kosslyn, 1984), der für jedes Objekt das individuelle Kategorisierungsniveau bezeichnet, auf dem spontanes Erkennen und Benennen und somit der erste Kontakt mit dem semantischen Gedächtnis stattfindet. Eine Abweichung vom üblichen Basisniveau findet beim Erkennen von Gesichtern statt. Empirische Studien zeigen, daß Menschen Gesichter in Abgrenzung zu den meisten anderen Objekten spontan auf dem Niveau individueller Identität erkennen (Tanaka, 2001) und somit für die Gesichterwahrnehmung im Vergleich zu anderen Objekten eine Verschiebung des 'entry point level' auf das Niveau der individuellen Identitätserkennung stattgefunden hat (z.B. Gauthier et al., 2000a). Eine ebensolche Verschiebung findet auch bei anderen visuellen Objekten, wenn Menschen für diese Experten sind, statt. Experten für visuelle Objekte, etwa für Autos, verarbeiten diese Objekte spontan nicht auf dem Basisniveau, sondern auf dem untergeordneten oder auf dem individuellen Niveau.

Auf neuronaler Ebene zeigt sich die Expertise für visuelle Objekte in der verstärkten Rekrutierung von Gehirnarealen in der Objektverarbeitung, die normalerweise Gesichterspezifität zeigen (Gauthier et al., 1999) wie etwa dem fusiformen Gesichterareal (Kanwisher et al., 1997). Eine völlige Gleichheit der Verarbeitung von Expertenobjekten und Gesichtern im Gehirn konnte dennoch nicht gezeigt werden. Unterschiede bestanden zum Beispiel in der Lateralisierung der Verarbeitung im Gehirn, die für Expertenobjekte eher linkshemisphärisch lateralisiert war, für Gesichter dagegen eine Lateralisierung zur rechten Hemisphäre zeigte (Rossion et al., 2002a).

Die deutliche Präferenz bei der Gesichterverarbeitung für aufrecht dargebotene Gesichter bietet einen weiteren Hinweis darauf, daß Gesichterverarbeitung sich trotz der Ergebnisse zu gesichterähnlicher Verarbeitung bei Expertise von der Verarbeitung anderer Objekte unterscheidet. Beim gesichterspezifisch

auf tretenden Inversionseffekt, bei dem auf den Kopf gestellte Gesichter sehr viel schlechter als aufrecht gezeigte Gesichter erkannt werden, wird die konfigurale Verarbeitung von Gesichtern besonders unterbrochen, während die Verarbeitung einzelner Gesichtselemente nicht beeinträchtigt ist (Leder und Bruce, 1998). Robbins und McKone (2003) versuchten, Versuchspersonen Expertise für auf den Kopf gestellte Gesichter in einem Training erwerben zu lassen und so den Inversionseffekt zu eliminieren. Trotz dem Durchlaufen von 1100 Trainingsdurchgängen für jedes invertierte Gesicht erreichten die Versuchspersonen für die invertierten Gesichter keine der Verarbeitung von aufrechten Gesichtern äquivalente Verarbeitung, sondern erkannten sie vor allem aufgrund der Beachtung distinkter Einzelemente und aufgrund des Lernens spezifischer Fotoaufnahmen im Sinne des piktorialen Codes.

Im Gegensatz zu Modularitätsmodellen (Kanwisher et al., 1997) und Expertenmodellen (Gauthier et al., 1999) der Gesichterverarbeitung nehmen Haxby et al. (2001) an, daß es objektspezifische neuronale Aktivierungsmuster gibt, die weit über objektselektiv reagierenden temporalen Kortex verteilt sind. Dabei zeigen nicht nur Hirnareale mit einer maximalen Reaktion auf eine Objektkategorie eine dafür spezifische Aktivierung, sondern auch andere Hirnareale, die nicht durch diese Kategorie, sondern durch eine andere maximal erregt werden (Haxby et al., 2001). Eine solche Art der neuronalen Kodierung objektspezifischer Repräsentationen, auch Objektformtopologie (Ishai et al., 1999) genannt, ist im Gegensatz zu modularen Verarbeitungsmodellen in der Lage, eine umfassende Erklärung der Enkodierung aller Arten von Objekten zu geben, indem statt genauer Landkarten objektspezifischer Gehirnareale über weite Hirnareale verteilte Aktivierungsmuster angenommen werden, die je nach Form des Stimulus auf einem Aktivierungskontinuum variieren.

1.5 Das neuronale Netzwerk der Gesichterverarbeitung im occipitotemporalen Kortex

Gesichterspezifische neuronale Reaktionsmuster wurden im occipitalen und temporalen Kortex gefunden. Obwohl, wie in Kapitel 1.4 dargestellt wurde, nicht klar ist, ob diese Reaktionsmuster nicht Ausdruck besonderer visueller Expertise für die Gesichterverarbeitung sind und auch Areale, die nicht auf Gesichter, sondern auf andere Objekte stärker reagieren, an der Enkodierung wichtiger Gesichtsinformationen beteiligt sind, sollen im folgenden Ergebnisse zu kortikalen Arealen, die möglicherweise ein Netzwerk der Gesichterverarbeitung (Haxby et al., 2000; Haxby et al., 2002) bilden, vorgestellt werden.

1.5.1 Das fusiforme Gesichterareal (FFA)

Der erste Kandidat für ein auf die Gesichterverarbeitung spezialisiertes kortikales Areal war der mittlere Teil des Gyrus fusiformis im inferotemporalen Kortex, der für Gesichter von Menschen und Tieren im Vergleich zu anderen visuellen Objekten, Mustern und zu Gesichtern, bei denen die Einzelelemente vertauscht wurden (randomisierte Gesichter), eine verstärkte Aktivierung zeigte und 'fusiform face area' (FFA) genannt wurde (Kanwisher et al., 1997; Kanwisher, Stanley und Harris, 1999). Die gesichterspezifische Reaktionsweise des FFA ist am deutlichsten in der rechten Hemisphäre zu beobachten, wurde aber symmetrisch dazu auch in der linken Hemisphäre gefunden (z.B. Gauthier et al., 2000a; Puce, Allison, Gore und McCarthy, 1995; Puce, Allison, Asgari, Gore und McCarthy, 1996). Das gesichterspezifische Aktivierungsmuster im FFA ist nicht von basalen Eigenschaften der visuellen Stimuli wie ihren räumlichen Frequenzen abhängig (George et al., 1999), sondern unter anderem an die subjektive Wahrnehmung eines Gesichts gebunden, wie sich in der Aktivierungsverstärkung bei Erkennen des Gesichts in der Rubin'schen Vase zeigte; in der Rubin'schen Vase kann der derselbe Stimulus entweder als Vase oder als Gesicht wahrgenommen werden (Hasson, Hendler, Bashar und Malach, 2001). Ein Beispiel für eine Rubin'sche Vase ist in Abbildung 1.4 dargestellt.



Abbildung 1.4: Beispiel für eine Rubin'sche Vase

In der Frage, welchen genauen Schritt der Gesichterverarbeitung das fusiforme Gesichterareal denn nun leistet, vertraten Kanwisher, Downing, Epstein und Kourtzi (2001) die Auffassung, daß seine Rolle hauptsächlich in der Entdeckung von Gesichtern in Abgrenzung zu anderen visuellen Objekten läge. Weitere Studien zeigten jedoch, daß das FFA nicht nur an der Entdeckung von Gesichtern, sondern auch an ihrer individuellen Identifizierung beteiligt ist (Hoffman und Haxby, 2000; Grill-Spector et al., 2004). Die Reaktionsweise des FFA zeigt zudem eine Veränderung bei der Wiederholung von bekannten, visuell gelernten und unbekanntem Gesichtern nicht nur für dieselben (Leveroni et al., 2000; Rossion et al., 2003b; Gauthier et al., 2000a; Gauthier et al., 2000), sondern auch für unterschiedliche Aufnahmen desselben Gesichts (Winston, Henson, Fine-Goulden und Dolan, 2004) und weist damit auch auf eine Beteiligung

dieses Areals an Gedächtnisprozessen für Gesichter hin. Somit sind im Gyrus fusiformis nicht nur verschiedene Teilstufen der strukturellen Enkodierung im Sinne des Bruce und Young (1986)-Modells angesiedelt (siehe Kapitel 1.1), sondern er ist möglicherweise auch am Zugriff auf die Face Recognition Units beim Erkennen bekannter Gesichter und an der Gedächtnisverarbeitung für unbekannte Gesichter beteiligt. Abbildung 1.5 zeigt die Lage des fusiformen Gesichterareals anhand gesichterselektiver Aktivierungen im fMRT in zwei verschiedenen Kortexansichten. Die obere Ansicht zeigt eine dreidimensionale Kortexansicht, die untere Ansicht ist aus einer virtuellen Auffaltung des Kortex in den zweidimensionalen Raum entstanden. Die Abbildung ist Haxby et al. (2000) entnommen und zeigt gesichter- und objektselektive Aktivierungen im fMRT für eine Versuchsperson. Gelbe und rote Areale zeigen gesichterselektive Aktivierung, blaue Areale zeigen objektselektive Aktivierung.

1.5.2 Das occipitale Gesichterareal (OFA)

Neben dem Gyrus fusiformis sind auch andere Areale des occipitalen und temporalen Kortex an der visuellen Analyse von Gesichtern beteiligt (Gauthier et al., 2000a, Haxby et al., 2000, Rossion et al., 2003a). Dabei scheinen vor allem die Gyri occipitales inferiori, auch occipital face area (OFA) genannt (z.B. Gauthier et al., 2000a) und der Sulcus temporalis superior (STS; z.B. Winston et al., 2004) gemeinsam mit dem Gyrus fusiformis ein Netzwerk der Gesichterverarbeitung zu bilden (Haxby et al., 2000). Abbildung 1.5 zeigt die Positionen aller drei Areale.

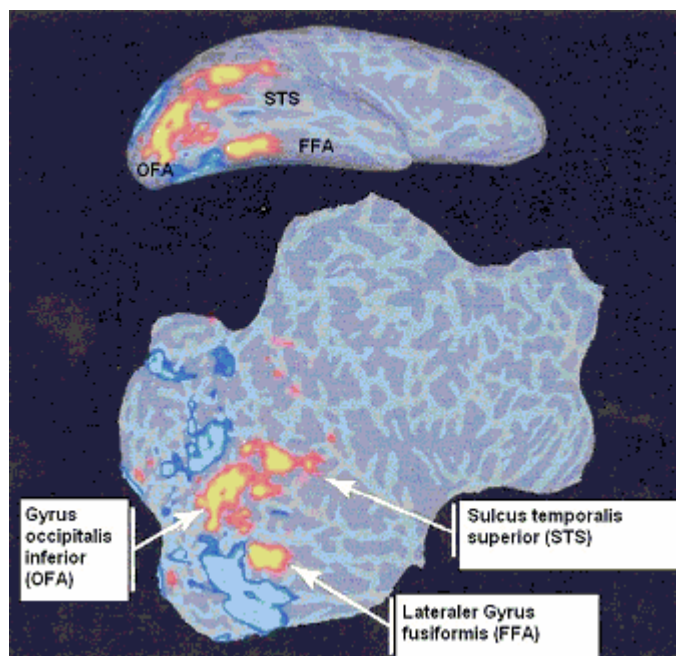


Abbildung 1.5: Kortikales Netzwerk der Gesichterverarbeitung im fMRT.

Das OFA wurde analog zum FFA über Aktivierungsunterschiede zwischen Gesichtern und anderen visuellen Objekten im fMRT bestimmt (z.B. Gauthier et al., 2000a; Rossion et al., 2003a). Es liegt rechts- und linkshemisphärisch im occipitalen Kortex und stellt im ventralen Objektverarbeitungsweg (siehe Kapitel 1.2) örtlich gesehen eine relativ frühe Station der Verarbeitung dar. Deshalb wurde zunächst nicht angenommen, daß das OFA schon an komplexen Prozessen der Gesichterverarbeitung wie etwa der Enkodierung ihrer individuellen Identität beteiligt ist (Haxby et al., 2000). Haxby et al. (2000) sehen die Rolle des OFA stattdessen in der Enkodierung der Einzelelemente von Gesichtern und als Bereiter neuronalen Inputs in die beiden weiter anterior gelegenen und damit möglicherweise nachgeschalteten Areale Gyrus fusiformis (FFA) und Sulcus temporalis superior (STS).

Diese Erklärung scheint allerdings zu kurz gegriffen und basiert nicht unbedingt auf empirischen Ergebnissen zum Aktivierungsmuster des occipitalen Gesichterareals. Dieses zeigt deutliche Ähnlichkeit mit dem des fusiformen Gesichterareals: es ist in derselben Reaktionsweise wie das FFA an der Entdeckung von Gesichtern, an der Feststellung von deren individueller Identität und an Gedächtnisprozessen für Gesichter beteiligt (z.B. Gauthier et al., 2000a; Grill-Spector et al., 2004). Grill-Spector et al. (2004) stellten deshalb die These auf, daß die Entdeckung von Gesichtern ohne ihre individuelle Identifikation ausreicht, um sowohl OFA als auch FFA zu aktivieren, die Identifizierung von Gesichtern jedoch eine noch stärkere Aktivierung in beiden Arealen auslöse und ihnen beiden damit eine wesentliche Rolle beim Erkennen individueller Gesichter zukomme.

1.5.3 Der Sulcus temporalis superior (STS)

Während occipitales und fusiformes Gesichterareal eher an der Verarbeitung invarianter Gesichtsaspekte beteiligt sind, wird der Region um den Sulcus temporalis superior die Rolle der Verarbeitung veränderbarer Aspekte von Gesichtern zugeschrieben (Haxby et al., 2002). Im Vergleich von Gesichtern mit anderen Objekten zeigt diese Region wie auch FFA und OFA eine stärkere Aktivierung für Gesichter, die auf einen gewissen Grad an Gesichterspezifität hindeutet, aber die Stärke der Reaktion zeigt weder einen Zusammenhang mit der Identifizierung von Gesichtern noch mit dem subjektiven Erkennen von Gesichtern aus einer Reihe von visuellen Objekten (Grill-Spector et al., 2004). Haxby et al. (2002) nahmen an, daß der STS generell an der Verarbeitung veränderbarer Gesichtsaspekte wie dem Gesichtsausdruck und am Lesen der Lippenbewegungen beim Sprechen beteiligt sei. Neueste Ergebnisse aus fMRT-Studien (Winston et al., 2004) bestätigten diese Annahme teilweise, indem sie demonstrierten, daß eine mittlere Region des STS eine reduzierte Reaktionsstärke bei wiederholtem Gesichtsausdruck unabhängig von der Wiederholung der Identität der Gesichter zeigt. Innerhalb des STS besteht aber eine funktionelle Differenzierung: eine posteriore Region des STS zeigte in derselben Studie (Winston et al., 2004) ebenso wie das fusiforme Gesichterareal eine reduzierte Aktivierung für die Wiederholung der Gesichtsideutlichkeit unabhängig vom Ausdruck der Gesichter und war damit auch an der Verarbeitung invarianter Gesichtsinformationen beteiligt.

Abgesehen vom sogenannten Kernsystem der Gesichtsverarbeitung, das die visuelle Analyse von Gesichtern vornimmt, leistet ein erweitertes System (Haxby et al., 2002), zu dem etwa Hippocampus und präfrontaler Kortex gehören (Leveroni et al., 2000), die Verarbeitung von Informationen, die für das Erkennen von Personen und soziale Interaktionsprozesse von Bedeutung sind. Insgesamt ist zu Theorien vom Netzwerk der Gesichtsverarbeitung jedoch anzumerken, daß weder die genaue Anzahl der an der Verarbeitung beteiligten Areale noch ihre funktionale Aufteilung bislang vollständig geklärt sind (Haxby et al., 2000).

1.6 Elektrophysiologische Korrelate der Gesichtsverarbeitung

fMRT- und PET-Studien können zwar die Orte, an denen Gesichtsverarbeitung im Gehirn abläuft, mit hoher Präzision bestimmen, aber die zeitliche Auflösung beider Methoden liegt im Bereich von Sekunden. Somit erlauben beide Methoden keine Aufschlüsselung der zeitlichen Dynamik der Gesichtsverarbeitung. Ein hämodynamisches Reaktionsmuster, das in einem Hirnareal mittels fMRT gefunden wird, spiegelt möglicherweise mehrere einzelne Verarbeitungsschritte wieder, die sukzessive in dem Hirnareal aufeinander folgen, mittels fMRT jedoch nicht voneinander getrennt werden können. Eine Möglichkeit, die zeitliche Dynamik der Gesichtsverarbeitung zu untersuchen, bieten elektrophysiologische Messungen. Diese messen elektrische Spannungsveränderungen im Gehirn (Messungen mit intracerebralen Elektroden) und an der Kopfoberfläche (Elektroenzephalogramm, EEG) oder Magnetfelder an der Kopfoberfläche (Magnetenzephalogramm, MEG), die alle durch elektrische Dipolfelder an aktiven kortikalen Neuronen generiert werden (zu den genauen Messanordnungen von MEG und EEG, wie sie in der vorliegenden Arbeit eingesetzt wurden, siehe Kapitel 3.6.1 und 3.6.2). Diese Verfahren besitzen eine zeitliche Auflösung im Bereich von Millisekunden und ermöglichen somit die Untersuchung einzelner Schritte der Gesichtsverarbeitung.

1.6.1 Messungen mit intracerebralen Elektroden

Elektrophysiologische Ableitungen mit intracerebralen Elektroden haben gegenüber Ableitungen von der Kopfoberfläche den Vorteil, daß die genauen Orte, an denen elektrophysiologische Korrelate kognitiver Aktivität entstehen, bei ihnen bekannt sind. Solche Ableitungen können aus ethischen Gründen nicht bei gesunden Personen durchgeführt werden, sondern werden vor allem bei Patienten mit Temporallappenepilepsie zur Lokalisierung anfallauslösender Neuronen eingesetzt. Zusätzlich zum klinisch-diagnostischen Einsatz entsteht hier die Möglichkeit, elektrophysiologische Korrelate kognitiver Verarbeitung direkt an ihren Entstehungsorten zu messen.

Die Forschergruppe um Allison, Puce und McCarthy hat in einer Serie von Studien mit intracerebralen Elektroden (Allison et al., 1994; Allison, Puce, Spencer und McCarthy, 1999; McCarthy, Puce, Belger und Allison, 1999; Puce, Allison und McCarthy, 1999; Allison, Puce und McCarthy, 2002) die Eigenschaften gesichtssensitiver ereigniskorrelierter Potentiale von der Oberfläche des occipitalen und temporalen Kortex im Vergleich zu anderen visuellen Stimuli untersucht. Die Autoren fanden zunächst ein gesichterspezifisches Potential im inferotemporalen Kortex bei 200 ms nach Stimulusdarbietung (N200; Allison et al., 1994), das überwiegend in rechts- und linkshemisphärischem Gyrus fusiformis, aber auch in rechtem und linkem Gyrus temporalis inferior generiert wurde (Allison et al., 1999). Die N200-Aktivierung erstreckte sich für die Patientengruppe über weite Teile des Gyrus fusiformis (Talairachkoordinaten anterior: $y = -24$ bis zu posterior: $y = -91$; Allison et al., 1999). Die Orte der N200-Aktivierung bei den einzelnen Patienten sind in Abbildung 1.6 links dargestellt. Die Abbildung ist aus Allison et al. (1999) entnommen und zeigt das Modell eines Kortex in Ansicht von unten und die Lage der N200-Orte für die Einzelpersonen anhand schwarzer Punkte. Die über die gesamte Patientengruppe gemittelten Orte der N200 sind in jeder der beiden Hemisphären anhand eines weißen Kreuzes dargestellt.

Die Amplitude der N200 war in rechter und linker Hemisphäre gleich groß, aber das Areal, in dem die gesichterspezifische N200 gemessen wurde, war in rechter Hemisphäre größer als in linker (Allison et al., 1999). Die N200 zeigte sich unabhängig von basalen Bildeigenschaften wie der Farbigkeit des Bildes. Sie war gesichterspezifisch für Menschen- und Tiergesichter, zeigte die stärkste Amplitude bei der Darbietung ganzer Gesichter in Frontal- und $3/4$ -Ansicht und eine kleinere Amplitude bei ihrer Profilansicht und bei Darbietung einzelner Gesichtselemente; sie wurde nicht durch die Bekanntheit der Gesichter (berühmte vs. unbekannte) und die Blickrichtung der Augen im dargebotenen Gesicht beeinflusst (McCarthy et al., 1999). Abbildung 2.6 zeigt rechts die Reaktionseigenschaften der N200 für verschiedene visuelle Stimuli. Die Abbildung ist aus McCarthy et al. (1999) entnommen. Die Wiederholung von Gesichtern und andere experimentelle Aufgaben, bei denen die Stimuli im Hinblick auf gespeicherte Repräsentationen verarbeitet wurden, hatten nur wenig Einfluss auf die N200-Amplitude (Puce et al., 1999).

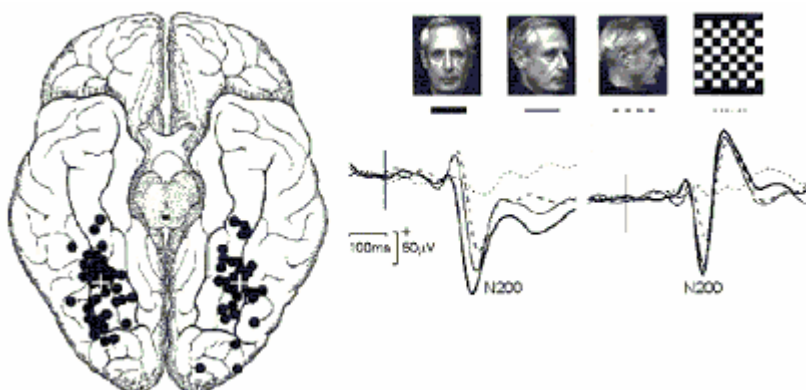


Abbildung 1.6: Orte und Reaktionseigenschaften intracerebraler gesichterspezifischer N200-Potentiale im Gyrus fusiformis.

Die N200 wurde aufgrund ihrer Reaktionseigenschaften als Korrelat struktureller Enkodierung von Gesichtern angesehen, wobei sie vor allem der Stufe konfiguraler Enkodierung von Gesichtsinformationen zugeordnet wurde (McCarthy et al., 1999). Eine spätere Verarbeitungsstufe wie die Speicherung von Langzeitgedächtnisinhalten für bekannte Gesichter sahen McCarthy et al. (1999) in diesem Potential nicht repräsentiert, da die N200 keinen Unterschied zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern zeigte.

Das N200-Potential war an gesichterspezifischen N200-Orten des Gyrus fusiformis in die folgende Potentialsequenz eingebettet (Puce et al., 1999): Positivierungen ohne Gesichterspezifität zeigten sich bei 150 ms (P150) und 288 ms (P290). Die P150 wurde durch die Farbe des Bildes beeinflusst, zeigte aber wie auch die N200 keine Effekte kognitiver Verarbeitung. Die P290 war das zeitlich erste Potential, das solchen Einflüssen klar unterlag. Eine zeitlich später auftretende, länger anhaltende Negativierung mit einer mittleren Latenz von 690 ms (N700) hatte einen frühen Anteil bei 450 ms und einen späten Anteil bei 750 ms und war an der Hälfte der Ableitungsorte im Gyrus fusiformis gesichterspezifisch (Allison et al., 1999). Die N700 zeigte eine Amplitudenabnahme bei Wiederholung desselben Gesichts, während sie in geringerem Maße durch Stimuluseigenschaften wie die Darbietungsform des Gesichts (Zeichnung oder Foto) beeinflusst wurde (McCarthy et al., 1999). Die Reaktionseigenschaften von N200, P290 und N700 bei Darbietung unterschiedlicher visueller Stimuli sind in Abbildung 1.7 gezeigt. Die Abbildung ist entnommen aus Allison et al. (1999).

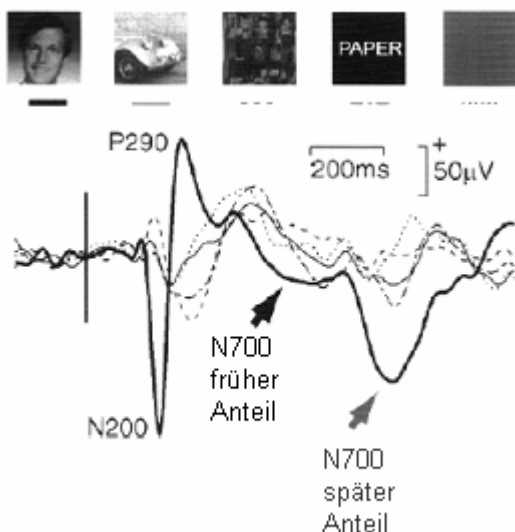


Abbildung 1.7: Potentialverlauf und gesichterspezifische Eigenschaften von intracerebraler N200, P290 und N700 an gesichterspezifischen Orten des Gyrus fusiformis.

An mittleren und anterioren Orten des Gyrus fusiformis, im lateralen Gesichterareal und im rechten anterioren ventralen Temporallappen wurde eine gesichterspezifische Positivierung bei circa 344 ms (P350) gefunden, die wie P290 und N700 durch kognitive Verarbeitung beeinflusst wurde (Allison et al., 1999), aber ebenfalls keine Unterschiede zwischen berühmten und unbekanntem Gesichtern zeigte. Insgesamt sind frühe intracerebrale ereigniskorrelierte Potentiale der Gesichterverarbeitung im Gyrus fusiformis bis etwa 250 ms eher durch Stimuluseigenschaften wie etwa die Farbe und die Ansichtsperspektive des Gesichts beeinflusst, während sie wahrscheinlich noch nicht durch höhere kognitive Verarbeitung wie Gedächtnisprozesse beeinflusst werden. Sie besitzen jedoch eine deutliche Gesichterspezifität (vor allem die N200). Innerhalb des Gyrus fusiformis scheint sich die gesichterspezifische Aktivierung im Laufe der Stimulusverarbeitung von Aktivierung im gesamten Gyrus fusiformis auf der Ebene der N200 tendenziell zu vorderen Arealen (Orte der P350) zu verlagern, obwohl auch zu späten Zeitpunkten (N700) Aktivierung im gesamten Gyrus fusiformis gemessen wird. Spätere gesichterspezifische Potentiale (P350 und N700) im Gyrus fusiformis werden überwiegend durch kognitive Prozesse beeinflusst und stellen somit möglicherweise elektrophysiologische Korrelate der Gedächtnisverarbeitung und der semantischen Verarbeitung von Gesichtern dar.

Halgren, Baudena, Heit, Clarke und Marinkovic (1994) führten ebenfalls intracerebrale Ableitungen bei Epilepsiepatienten durch. Die Ableitungsorte waren hier weiter über das Gehirn verteilt als bei den Studien der Arbeitsgruppe von Allison, Puce und McCarthy. Im Gyrus fusiformis wurden auch in dieser Studie gesichterspezifische Potentiale registriert. Ein frühes negatives Potential um 130 ms (N130) reflektierte nach Ansicht der Autoren (Halgren et al., 1994) die Enkodierung von Farb- und Kontourinformationen, während eine Positivierung bei 180 ms (P180) als Korrelat früher struktureller Enkodierung von Gesichtern im Sinne der Enkodierung einzelner Gesichtselemente angesehen wurde. Ein Potential bei 240 ms (N240) wurde als funktionelles Korrelat der Integration einzelner Gesichtselemente in ein räumliches Arrangement angesehen und stellt somit nach dem Gesichterverarbeitungsmodell von Bruce und Young (1986) einen späteren Teilprozeß struktureller Enkodierung dar, der jedoch bei Allison et al. (1994) schon auf dem Niveau der N200 angenommen wurde. Eine weitere Sequenz von Potentialen, die im Gyrus fusiformis Gesichterspezifität zeigten, waren spätere, länger anhaltende Potentialverschiebungen mit Peaks bei 310 ms (N310), 430 ms (N430) und 630 ms (P630). Diese Komponenten traten auch in anderen kortikalen Arealen wie etwa Amygdala und Hippocampus auf, waren dort aber nicht mehr gesichterspezifisch (Halgren et al., 1994). Sie indizieren möglicherweise spätere kognitive Verarbeitungsstufen wie semantische Gedächtnisprozesse.

Im Vergleich der Studien beider hier genannter Arbeitsgruppen (Allison, Puce, McCarthy usw. und Halgren, Clarke, Marinkovic usw.) zeigen sich Analogien in der Sequenz früher Potentiale im Gyrus fusiformis – P150 und N200 bei Allison et al. (1999) und N130 und P180 bei Halgren et al. (1994). Die umgekehrte Polarität und leicht verschobene Latenz der Potentiale zwischen beiden Studien ist vermutlich durch die unterschiedlichen Ableitungsorte zu erklären: während Allison et al. (1999) von der Oberfläche der Gyri (graue Substanz) ableiteten, wurden die Elektroden bei Halgren et al. (1994) in der weißen Substanz platziert. Die Reaktionseigenschaften der Potentiale waren in beiden Studien ähnlich: P150 und N130 reflektierten die Verarbeitung von Farbinformationen, während die strukturelle Enkodierung von Gesichtern um 180 bis zu 240 ms angenommen wurde. Dabei zeigten P180 (Halgren et al., 1994) und N200 (Allison et al., 1999) die

stärkste Gesichterspezifität. Spätere Komponenten (z.B. N430 und P350) wurden als Ausdruck höherer kognitiver Verarbeitungsprozesse wie der Enkodierung von Stimuluswiederholung interpretiert.

Die Ergebnisse dieser intracerebralen Studien erhellen die *zeitliche* Dynamik des in Kapitel 1.5 skizzierten neuronalen Netzwerks der Gesichtsverarbeitung im occipitotemporalen Kortex (Haxby et al., 2000), dessen Teile unter anderem im Gyrus fusiformis und im lateralen temporalen Kortex angenommen werden. Der Gyrus fusiformis wurde in fMRT-Studien mit der Verarbeitung unveränderlicher Aspekte von Gesichtern in Verbindung gebracht (z.B. Winston et al., 2004). Dabei scheint er nicht nur die perzeptuelle Enkodierung von Gesichtern im Sinne eines strukturellen Enkodierungsprozesses bei 200 ms nach Gesichtsdarbietung (N200) vorzunehmen, sondern auch an gesichterspezifischer höherer kognitiver Verarbeitung wie der Verarbeitung von Gesichtswiederholung bei 350 ms und 700 ms beteiligt zu sein.

1.6.2 Ereigniskorrelierte Potentiale der Gesichtsverarbeitung im EEG

Ereigniskorrelierte Potentiale (ERP) werden aus stimulusbezogenen Mittelungen des Oberflächen-EEG gebildet. Das kontinuierlich aufgezeichnete EEG wird zur Berechnung ereigniskorrelierter Potentiale in einzelne, auf den Stimulusbeginn bezogene Epochen geschnitten. Für jede Epoche wird aus dem Zeitraum vor Stimulusbeginn ein mittlerer Potentialwert berechnet, die Baseline, die vom Potentialverlauf während der Stimulusdarbietung für jeden EEG-Datenpunkt abgezogen wird. Für die ERP-Mittelung wird dann über alle einer experimentellen Bedingung zugehörigen Epochen gemittelt.

Während Potentiale in intracerebralen Ableitungen (siehe Kapitel 1.6.1) die Aktivierung einer umschriebenen Neuronenpopulation abbilden, reflektiert ein an der Kopfoberfläche gemessenes ERP meist das Zusammenspiel mehrerer zu einem Zeitpunkt aktiver neuronaler Generatoren. Der Grund dafür ist die elektrische Leitfähigkeit der zwischen neuronalen Generatoren und Elektroden liegenden Strukturen wie cerebrospinale Flüssigkeit, Schädelknochen und Kopfhaut, die an Neuronen generierte Ionenströme über weite Strecken weiterleiten und sie damit auch an weiter von der neuronalen Quelle entfernten Orten messbar werden lassen. Die Ursprungsorte einzelner Potentiale können bei Ableitungen des Oberflächen-EEG nicht genau bestimmt werden, da eine im EEG gemessene Aktivierung letztlich aus einer unendlichen Anzahl verschiedener neuronaler Quellkonfigurationen entstehen kann. Dennoch können die Hirnareale, durch deren Aktivität EEG-Felder generiert werden, in einer sogenannten Quelllokalisierung modelliert werden. Ergebnisse zur Quelllokalisierung von gesichtersensitiven Potentialen des EEG werden in Kapitel 1.7 dargestellt. Zunächst sollen jedoch funktionelle Eigenschaften ereigniskorrelierter Potentiale dargestellt werden. Solche Eigenschaften werden üblicherweise anhand der Untersuchung von Unterschieden in Amplituden und Latenzen ereigniskorrelierter Potentiale zwischen experimentellen Bedingungen ermittelt.

Für die Darbietung von Gesichtern als Stimuli zeigen sich im ERP charakteristische Potentialverläufe, die eine deutliche Ähnlichkeit zu den in Kapitel 1.6.1 vorgestellten intracerebralen Potentialverläufen aufweisen.

Dabei ist im ERP ist auf Gesichterarbeitung an über dem Hinterkopf platzierten EEG-Elektroden eine Potentialsequenz mit eindeutigen Peaks bei 100 ms (P100), 170 ms (N170) und 200 ms (P200) zu erkennen, die von späteren länger anhaltenden Negativierungen ab circa 250 ms gefolgt wird. Diese Potentialsequenz dreht ihre Polarität ab der Elektrode CZ nach weiter vorne am Kopf hin um und ist mit umgekehrtem Vorzeichen an frontalen Elektroden zu beobachten. Abbildung 1.8 zeigt ein Beispiel für die Potentialsequenz bei Gesichterarbeitung an der temporalen Elektrode T6.

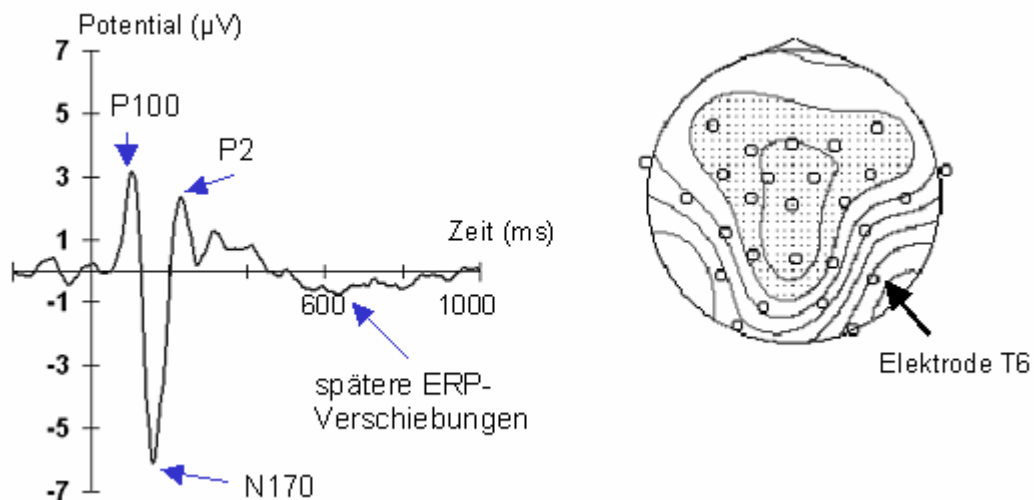


Abbildung 1.8: Potentialsequenz im ERP bei Gesichterarbeitung am Beispiel von Elektrode T6 und Position der Elektrode T6 in Kopfansicht von oben.

1.6.2.1 P100

Eine positive Verschiebung bei 100 ms (P100) ist die zeitlich erste deutliche ERP-Komponente, die nach der Darbietung von Gesichtern auftritt. Die P100 ist an rechts- und linkshemisphärischen occipitalen EEG-Elektroden (z.B. O1 und O2) am stärksten ausgeprägt. Üblicherweise wird angenommen, daß diese Komponente noch keine gesichterspezifische Verarbeitung reflektiert, sondern sowohl bei Objekt- als auch bei Gesichterarbeitung die Enkodierung von basalen Stimulusmerkmalen in frühen extrastriären Arealen des ventralen Verarbeitungsweges (siehe Kapitel 1.2) abbildet.

Jemel et al. (2003b) etwa zeigten, daß P100-Peaklatenz und -amplitude sich durch linear zunehmendes Bildrauschen, das über Gesichtsabbildungen gelegt wurde und die Gesichter schließlich unkenntlich machte, nicht veränderten und die P100 somit nicht zwischen Gesichtern und Bildrauschen unterschied. P100-Latenz und -Amplitude zeigen keine Unterschiede zwischen unbekanntem Gesichtern und Gesichtern berühmter Personen (z.B. Jemel, Calabria, Delvenne, Crommelinck und Bruyer, 2003) oder zwischen unbekanntem und persönlich bekannten Gesichtern (z.B. Herzmann, Schweinberger, Sommer und Jentsch, 2004) bei ihrer einmaligen Darbietung. Die *Wiederholung* von persönlich bekannten, berühmten oder unbekanntem

Gesichtern hatte ebenfalls in den meisten Studien keine Effekte auf die P100 (z.B. Schweinberger, Pickering, Jentsch, Burton und Kaufmann, 2002a).

1.6.2.2 N170

Die N170 zeigt sich im EEG um 170 ms nach Gesichtsdarbietungen als Negativierung an Elektroden über links- und rechtshemisphärischen hinteren Gehirnebenen. Sie ist besonders an occipitotemporalen Elektroden (T5, T6, PO9, PO10) ausgeprägt und tritt nicht nur auf Bildansichten, die Gesichter als alleinigen Stimulus enthalten, auf, sondern auch, wenn Gesichter inmitten natürlicher Bildkontexte wie Landschaften dargeboten werden (Rousselet, Macé und Fabre-Thorpe, 2004) und ist dann deutlich größer, als wenn die Bildkontexte kein Gesicht enthalten. Die N170 hat, obwohl sie über beiden Hemisphären auftritt, über der rechten Hemisphäre meist eine größere Amplitude als über der linken Hemisphäre (z.B. Jemel et al., 2003b) und zeigt damit die auch in fMRT-Studien (z.B. Kanwisher et al., 1997) öfter gefundene Tendenz zur Rechtslateralisierung der Gesichterverarbeitung im Gehirn.

Die N170 ist die zeitlich erste Verarbeitungsstufe im ERP, die im Vergleich zu anderen visuellen Stimuli konsistent über viele Studien eine klare Sensitivität für Gesichter von Menschen (z.B. Itier und Taylor, 2004b) und Tieren (Rousselet, Macé und Fabre-Thorpe, 2004; Carmel und Bentin, 2002; Jemel et al., 2003b) zeigte. Andere komplexe Objekte können ebenfalls eine N170 evozieren, aber deren Amplitude ist im Vergleich zur N170 auf Gesichterdarbietungen in den meisten Studien signifikant kleiner (z.B. Eimer, 1998; Rossion et al., 2003a; Bötzel, Schulze und Stodieck, 1995), obwohl einzelne Studien (z.B. Schweinberger, Huddy und Burton, 2004) keinen Unterschied zwischen Gesichtern und anderen visuellen Objekten auf der N170 fanden. Innerhalb der Darbietung von Gesichtern als Stimulusklasse unterscheidet die N170 nicht zwischen verschiedenen Arten von Gesichtern wie Fotos und Strichzeichnungen (Sagiv und Bentin, 2001).

Die Gesichtersensitivität der N170, die bei gesunden Personen zu erkennen ist, zeigt sich bei prosopagnostischen Patienten nicht (Kress und Daum, 2003). Sie haben für Gesichter und andere visuelle Objekte gleich große Potentialamplituden. Angesichts der Tatsache, daß die Prosopagnosie wahrscheinlich ein gesichterspezifisches Defizit darstellt, das nicht im bloßen Erkennen von Gesichtern in Abgrenzung zu anderen visuellen Objekten liegt, sondern im Erkennen ihrer individuellen Identität, spricht die fehlende Selektivität der N170 für Gesichter für eine Bedeutung dieser Komponente in der Feststellung individueller Identität von Gesichtern.

Die N170 reagiert bei gesunden Personen nicht nur sensitiv auf die Präsenz von Gesichtern im Vergleich zu anderen Objekten, sondern auch auf die Ansichtsperspektive von Gesichtern und Köpfen und die Anzahl und Art der gezeigten Gesichtselemente: die Potentialamplitude ist verringert, wenn der Kopf so gedreht ist, daß interne Gesichtselemente nicht mehr zu erkennen sind (Eimer, 1998), aus Frontalansichten von Gesichtern entfernt sind (Eimer, 2000a) oder wenn nur interne Gesichtselemente (Nase, Mund und Augen) gezeigt werden (Eimer, 2000a). Der Inversionseffekt zeigt sich im ERP auf der Stufe der N170: wenn menschliche

Gesichter um 180 Grad gedreht gezeigt werden, tritt die Komponente mit verzögerter Latenz (z.B. Rousselet et al., 2004; Rossion et al., 2003) und in einigen Studien auch mit größerer Amplitude auf (z.B. Rossion et al., 1999).

Insgesamt weisen die Reaktionseigenschaften der N170 – ihre Gesichterspezifität, ihre Sensitivität für Veränderungen in den Stimuluseigenschaften wie den Wechsel der Ansichtsperspektive von Gesichtern, und der Inversionseffekt – darauf hin, daß die N170 funktionelles Korrelat einer *visuell-perzeptuellen* Verarbeitungsstufe von Gesichtern ist. Diese Stufe ist vor abstraktere kognitive Verarbeitung wie etwa die Aktivierung semantischer Gedächtnisinhalte für die einem Gesicht zugehörige Person geschaltet. Ereigniskorrelierte Komponenten solcher kognitiven Verarbeitungsstufen liegen relativ spät im ERP und beginnen ab circa 300 ms nach Beginn der Stimulusdarbietung. Sie variieren nicht mehr mit Veränderungen in den Stimuluseigenschaften wie der Ansichtsperspektive oder unterschiedlichen Aufnahmen desselben Gesichts (z.B. Jemel et al., 2003b).

Die N170 wurde als extracerebrales Analogon von intracerebraler P180 (Halgren et al., 1994) und N200 (Allison et al., 1994) angesehen, da sie etwa im selben Zeitbereich wie die beiden Potentiale auftritt und ähnliche funktionale Eigenschaften zeigt. Ihre Eigenschaften lassen die N170 wie auch P180 und N200 als elektrophysiologischen Indikator struktureller Einkodierung von Gesichtern erscheinen (z.B. Bentin und Deouell, 2000; Eimer, 1998; Eimer, 2000), bei der die individuellen Charakteristika eines Gesichts verarbeitet und somit Gesichter auf individuellem Niveau erkannt werden (Caharel et al., 2002; Rossion und Gauthier, 2002). Im Modell der Gesichterverarbeitung von Bruce und Young (1986) ist die strukturelle Einkodierung aus mehreren Teilprozessen zusammengesetzt. Dazu gehören die Unterscheidung Gesicht – anderes Objekt, die Einkodierung einzelner Gesichtselemente und die Verarbeitung konfiguraler Gesichtsinformationen. Es wird angenommen, daß die N170 eher Korrelat später struktureller Einkodierung wie der konfiguralen Verarbeitung von Gesichtern oder der Einkodierung ihrer Einzelemente ist (Eimer, 2000a). Bislang wird noch diskutiert, ob die N170 einen der beiden Prozesse – konfigurale Einkodierung (Rossion et al., 1999a) oder Einkodierung der Einzelteile (Sagiv und Bentin, 2001) – oder sogar beide Prozesse gemeinsam reflektiert und somit eine aus mehreren Teilprozessen zusammengesetzte Komponente ist (Shibata et al., 2002).

Sehr wahrscheinlich reflektiert die N170 jedoch nicht die Verarbeitungsstufe, auf der ein Erkennen bekannter Gesichter im Sinne der Abgleichung eines gesehenen Gesichts mit den Face Recognition Units im Sinne von Bruce und Young (1986) abläuft. Die N170 unterscheidet nicht zwischen einmalig gezeigten bekannten und unbekanntem Gesichtern (Eimer, 2000; Jemel et al., 2003), und mehrere Studien fanden keinen Einfluß einer direkten Wiederholung bekannter oder unbekannter Gesichter (Eimer, 2000; Schweinberger et al., 2004) auf die N170. Unter bestimmten Bedingungen lassen sich jedoch Amplitudenveränderungen der N170 bei der Wiederholung unbekannter (Itier und Taylor, 2002) und persönlich bekannter oder berühmter Gesichter (Jemel, Pisani, Calabria, Crommelinck und Bruyer, 2003a; Herzmann et al., 2004) und des eigenen Gesichts (Caharel et al., 2002) finden. Diese Effekte überleben meist nur Zeiträume von einigen Sekunden zwischen Gesichtswiederholungen. Sie zeigen aber, daß die strukturelle Einkodierung von Gesichtern auf der N170 wahrscheinlich nicht in rein modularer Weise abläuft, sondern daß sie durch höhere kognitive Prozesse wie

Erwartungen und Hintergrundwissen beeinflusst werden kann. Die N170-Amplitude wird zum Beispiel auch durch die bewusste Erwartung, daß gesichtsähnliche Muster, etwa zwei Punkte mit einem Strich, ein Gesicht darstellen, beeinflusst. Sie ist dann in ihrer Amplitude im Vergleich zur Wahrnehmung derselben Muster ohne Gesichtserwartung vergrößert (Bentin und Golland, 2002; Bentin, Sagiv, Mecklinger, Friederici und von Cramon, 2002).

1.6.2.3 Vertex Positive Potential (VPP)

Das VPP (z.B. Itier und Taylor, 2004) ist eine Positivierung, die um 150 ms auftritt und maximal am Vertex (Elektrode CZ) ist. Dieses Potential wird vor allem beobachtet, wenn das EEG gegen eine Elektrode am Ohrfläppchen oder eine Mastoidelektrode referenziert wird. Das VPP hat eine ähnliche Latenz wie die N170 und besitzt sehr ähnliche Reaktionseigenschaften. Der auf der N170 beobachtbare Inversionseffekt zeigt sich beim VPP in gleicher Weise (Rossion et al., 1999a; Itier und Taylor, 2004). Das VPP wird von einigen Autoren (z.B. George, Evans, Fiori, Davidoff und Renault, 1996; Itier und Taylor, 2004) als positiver Gegenpart der N170 angesehen. Die N170 tritt vor allem auf, wenn gegen eine Nasenelektrode referenziert wird. Joyce und Rossion (2004) untersuchten N170 und VPP systematisch für verschiedene Referenzelektroden und postulierten, daß beide Potentiale dieselbe neuronale Generatorstruktur haben und somit zwei Seiten desselben Phänomens darstellen, die hauptsächlich durch die unterschiedliche Referenzierung evoziert werden. Campanella, Quinet, Bruyer, Crommelinck und Guérit (2000) erklärten teilweise bestehende Unterschiede in den Reaktionseigenschaften zwischen VPP und N170 mit unterschiedlicher Entfernung der Potentiale von ihrem neuronalen Generator: das VPP, das sich an zentralen Elektroden zeigt, liegt dabei weiter entfernt von der Quelle im occipitotemporalen Kortex (siehe dazu Kapitel 2.7.1) als die N170 an temporalen Elektroden und spiegelt dann möglicherweise experimentelle Effekte nicht in derselben Deutlichkeit wider wie die mit an der Quelle liegende Elektroden gemessene N170.

1.6.2.4 P2

Die P2 ist das auf die N170 folgende Potential, das als Positivierung an posterioren Elektroden und als Negativierung an frontalen und zentralen Elektroden auftritt. Die Latenz dieses Potentials liegt bei etwa 200 ms bis 250 ms. Erstaunlicherweise ist die P2 sehr viel weniger erforscht worden als die N170, obwohl sie in den meisten Studien (z.B. Horovitz, Rossion, Skudlarski und Gore, 2004) einen klaren positiven Peak darstellt und nicht einfach als eine Rückkehr der N170 zur EEG-Baseline angesehen werden kann. Das geringe Interesse für die P2 erstaunt umso mehr, als daß sich in den Abbildungen der ERP-Kurven in einigen Studien, zum Beispiel bei Eimer (2000a) auf der Ebene der P2 ebenso klare Unterschiede zwischen verschiedenen Gesichterdarbietungsbedingungen oder zwischen Gesichtern und anderen Objekten zeigen wie

auf der N170. Ob diese signifikant sind, wird allerdings von den Autoren meist nicht berichtet, da sie dieses Potential wahrscheinlich keiner statistischen Testung zwischen experimentellen Bedingungen unterziehen.

Einzelne Studien haben aber versucht, die funktionale Bedeutung der P2 zu ergründen. Caharel et al. (2002) fanden einen Unterschied in der Potentialamplitude der P2 zwischen Gesichtern unterschiedlicher Bekanntheitsgrade und nannten diesen Effekt „degree of familiarity-effect“: die Amplitude der P2 war an rechten und linken occipitotemporalen Elektroden und an zentralen Elektroden (FZ, PZ und CZ) am geringsten bei mehrmaliger Darbietung eines Bildes des eigenen Gesichts, signifikant größer bei Wahrnehmung eines berühmten Gesichts und am größten bei einem unbekanntem Gesicht. Dieser Effekt könnte den Zugriff auf gespeicherte perzeptuelle Langzeitrepräsentationen von Gesichtern reflektieren (Caharel et al., 2002), die am stärksten für das eigene Gesicht sein sollten.

Jemel et al. (2003) fanden eine Zunahme der P2-Amplitude von Erst- zu Zweidarbietung bei Gesichterwiederholung für unbekannte, nicht aber für berühmte Gesichter. Dieser Effekt bestand nur für dieselbe Aufnahme und nicht für unterschiedliche Aufnahmen eines Gesichts, so daß sich in dieser Studie im Gegensatz zu Caharel et al. (2002) kein Hinweis auf eine Aktivierung von Langzeitrepräsentationen auf dieser Komponente finden lässt, sondern ein Wiederholungseffekt für spezifische perzeptuelle Repräsentationen eines Gesichts beobachtet wird, der piktorielle oder strukturelle Enkodierungsprozesse reflektieren könnte. Rossion et al. (1999) untersuchten ein von ihnen N2 genanntes Potential, das eine an CZ maximale Negativierung bezeichnet, die nach der N170 bzw. dem VPP bei circa 220 ms auftritt und das negative Äquivalent zur P2 ist. Die N2 war in dieser Studie nicht spezifisch für die Wahrnehmung von Gesichtern, jedoch bei Gesichterwahrnehmung von der experimentellen Aufgabe wie dem Wiedererkennen von Gesichtern im Gegensatz zu einer Geschlechtsentscheidung beeinflusst. Trenner, Schweinberger, Jentzsch und Sommer (2004) fanden sowohl in einer Wiederholungsaufgabe ohne Gedächtnisinstruktion als auch in einer expliziten Gedächtnisaufgabe einen Effekt der Wiederholung an occipitalen und parietooccipitalen Elektroden im Sinne einer verminderten Amplitude bei wiederholten im Vergleich zu neuen Gesichtern, der für die Gedächtnisaufgabe stärker ausgeprägt war. Zusammenfassend sprechen die wenigen Ergebnisse zur P2 / N2 eher für eine nicht gesichterspezifische Komponente, die allerdings durch visuelle Gedächtnisprozesse wie das Wiedererkennen von Stimuli und die Art der kognitiven Aufgabe in einem Experiment beeinflusst wird.

1.6.2.5 N250r

Die N250r ist eine ERP-Komponente, die bislang überwiegend von den Arbeitsgruppen um Sommer und Schweinberger (z.B. Pfützte, Sommer und Schweinberger, 2002; Schweinberger et al., 2002; Schweinberger et al., 2004; Herzmann et al., 2004) berichtet wurde. Bei direkter Wiederholung von Gesichtern konnten sie eine temporal rechtshemisphärisch (deshalb die Bezeichnung N250r) und zentrofrontal ausgeprägte stärkere Negativierung im ERP zwischen 230 ms und 300 ms für berühmte und persönlich bekannte Gesichter (Herzmann et al., 2004), aber auch für unbekannte Gesichter beobachten, die bei zwei bis vier zwischen den

Gesichtswiederholungen intervenierenden Gesichtern nur noch für bekannte Gesichter bestand (Pfützte et al., 2002). Dieser Effekt wurde „früher Wiederholungseffekt“ (Early repetition effect, ERE; z.B. Martin-Loeches, Sommer und Hinojosa, 2005) genannt und für Gesichter mit der Aktivierung der Face Recognition Units (Bruce und Young, 1986) in Verbindung gebracht, in denen Langzeitgedächtnisrepräsentationen bekannter Gesichter gespeichert sind.

Zunächst wurde angenommen, daß der frühe Wiederholungseffekt gesichterspezifisch ist (z.B. Schweinberger et al., 2002). Inzwischen gibt es jedoch Ergebnisse, die einen solchen Effekt auch für die Wiederholung berühmter Gebäude zeigen (Engst, Sommer und Martin-Loeches, 2004). Dieser trat zwar mit geringerer Stärke und späterer Latenz für Gebäude als für Gesichter auf, zeigte aber für beide Stimulusarten dieselbe Topographie. Der ERE zeigt an frontozentralen Elektroden einen Unterschied zwischen verschiedenen Bekanntheitsgraden von Gesichtern. Er ist am stärksten für persönlich bekannte und schwächer für berühmte Gesichter; dieser Unterschied zeigt sich aber nicht an temporalen Elektroden (Herzmann et al., 2004).

Der frühe Wiederholungseffekt verschwindet bei längeren Zeitintervallen von Minuten zwischen Gesichterwiederholungen auch für bekannte Gesichter (Schweinberger et al., 2002a). Er kann damit nicht als Korrelat der Aktivierung reiner Bekanntheit von Gesichtern ohne einen kurzfristigen Gedächtniseffekt aufgrund vorheriger Darbietung angesehen werden, könnte aber dennoch zumindest teilweise die perzeptuelle Langzeitspeicherung von Gesichtern im Sinne eines Zugriffs auf Face Recognition Units (Bruce und Young, 1986) reflektieren, da er für bekannte Gesichter am deutlichsten auftritt und dort auch über längere Zeitintervalle zwischen Wiederholungen besteht als für unbekannte Gesichter. Die Tatsache, daß eine Modulation der N250r auch bei der Wiederholung unbekannter Gesichter abläuft, für die nach Bruce und Young (1986) noch keine Face Recognition Units vorhanden sind, zeigt allerdings, daß sich entweder auch der *Aufbau* von Langzeitrepräsentationen durch die wiederholte Wahrnehmung von Gesichtern in diesem Zeitbereich widerspiegelt, oder zusätzlich zur Aktivierung von Langzeitrepräsentationen auch kurzfristige Stimuluswiederholungen kodiert werden. Möglicherweise hat der ERE für unbekannte Gesichter aber einen anderen neuronalen Generator als der Effekt für unbekannte Gesichter und ist damit ein qualitativ anderer Effekt (Herzmann et al., 2004).

Ein dem N250r im Zeitbereich ähnlicher Wiederholungseffekt wurde von Begleiter, Porjesz und Wang (1993) und Hertz, Porjesz, Begleiter und Chorlian (1994) gefunden. Beide Studien fanden ein positives Potential an posterioren Elektroden bei etwa 240 ms (C240), das sie visuelles Gedächtnispotential (Visual Memory Potential) nannten. Es trat für Gesichter und andere Arten visueller Stimuli gleichartig auf und indizierte keine gesichterspezifische Verarbeitung (Begleiter et al., 1993). Allerdings war die Potentialamplitude sensitiv für die Wiederholung von Gesichtern. Eine Wiedererkennungsaufgabe und die reine Wiederholung unbekannter Gesichter erzeugten gleichartige Amplitudenabnahmen der C240 (Hertz et al., 1994).

1.6.2.6 ERP-Verschiebungen ab 300 ms

Nach der N250r sind bei Gesichterdarbietung im ERP wie auch in späten Zeitbereichen intracerebraler Potentiale meist keine deutlichen Peaks mehr zu erkennen. Es zeigen sich stattdessen länger andauernde positive oder negative Potentialverschiebungen. In diesen späten Zeitbereichen nach Stimulusbeginn werden in Verhaltensmaßen wie Reaktionszeiten bewusste Erkennens- und Entscheidungsprozesse für Gesichter gemessen (z.B. Herzmann et al., 2004). Die Zeitbereiche reflektieren somit in Relation zum Stimulusanfang späte Prozesse der Gesichtsverarbeitung, die auch höhere Prozesse kognitiver Verarbeitung wie etwa das Erkennen von Personen widerspiegeln.

Wie auch die N170 unterscheiden ereigniskorrelierte Potentiale ab 300 ms deutlich zwischen Gesichtern und anderen visuellen Stimuli. Für unbekannte und berühmte Gesichter zeigen sich im Vergleich zu randomisierten Gesichtern stärkere Negativierungen an posterioren Elektroden und stärkere Positivierungen an frontalen Elektroden im Zeitbereich von 400 ms bis 800 ms (Henson et al., 2003). Im Unterschied zu früheren ERP-Komponenten, für die bei einmaliger experimenteller Gesichterdarbietung keine Unterschiede zwischen bekannten im Vergleich zu unbekanntem Gesichtern gefunden werden, die den direkten Zugriff auf Langzeitrepräsentationen von Gesichtern unabhängig von Effekten der Gesichterwiederholung indizieren würden, lassen sich in ERP-Verschiebungen ab 300 ms auch bei einmaliger Darbietung der Gesichter deutliche Unterschiede zwischen unbekanntem im Vergleich zu berühmtem, persönlich bekanntem oder allein anhand visueller Darbietung im Experiment gelerntem Gesichtern erkennen. Diese Unterschiede werden Bekanntheitseffekt (familiarity effect; z.B. Jemel et al., 2003a) genannt.

Eimer (2000) zum Beispiel beobachtete zwischen 300 ms und 400 ms nach Stimulusbeginn für berühmte im Vergleich zu unbekanntem Gesichtern eine stärkere Positivierung an Elektroden der Mittellinie (PZ und CZ) und an posterioren Elektroden (T5, T6, O1, O2) und nannte diesen Unterschied den N400 familiarity (N400f)-Effekt. Zwischen 500 ms und 700 ms dagegen bestand an denselben Elektroden eine stärkere Negativierung für die berühmten als für die unbekanntem Gesichter (P600 familiarity-Effekt; Eimer, 2000). Jemel et al. (2003a) fanden einen dem N400f-Effekt von Eimer (2000) ähnlichen Bekanntheitseffekt, der sich in der Polarität jedoch von Eimers (2000) Effekt unterschied: zwischen 350 ms und 450 ms zeigte sich an posterioren Elektroden eine negativere Amplitude für berühmte als für unbekanntem Gesichter, die sich an frontalen Elektroden in eine stärkere Positivierung umkehrte. Bentin und Deouell (2000) fanden den Bekanntheitseffekt vor allem an frontozentralen Elektroden.

Bei Henson et al. (2003) zeigten sich Unterschiede zwischen unbekanntem und berühmtem Gesichtern nur im späten Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms im Sinne einer größeren Positivierung für berühmte im Vergleich zu unbekanntem Gesichtern an frontopolaren Elektroden (z.B. FP1 und FP2). Schweinberger et al. (2002) zeigten den Bekanntheitseffekt für berühmte Gesichter dagegen für einen sehr langen Zeitbereich von 300 ms bis 1200 ms mit einer stärkeren Positivierung für berühmte als für unbekanntem Gesichter an frontalen, zentralen und parietalen Elektroden und einer stärkeren Negativierung an posterioren Elektroden.

Beim Vergleich unbekannter Gesichter mit Gesichtern von persönlich bekanntem oder berühmtem Personen bestehen Unterschiede zwischen den Stimuli nicht nur in ihrer visuellen Vertrautheit, sondern es bestehen auch Unterschiede in den semantischen Informationen, die für die zu den Gesichtern gehörigen Personen

vorhanden sind. Für unbekannte Gesichter liegen solche Informationen nur in visuell erkennbaren Merkmalen wie etwa der Attraktivität vor, für persönlich bekannte oder berühmte Gesichter besitzen die Versuchspersonen dagegen auch semantische Informationen aus anderen Quellen wie etwa Wissen über den Beruf der Person.

Die Untersuchung rein visueller Vertrautheit mit bekannten Gesichtern unabhängig von semantischen Informationen kann nur vorgenommen werden, wenn zunächst unbekannte Gesichter rein visuell im Experiment gelernt werden und die gelernten Gesichter mit unbekanntem Gesichtern verglichen werden. Der zusätzliche Einfluß verbal vermittelter semantischer Informationen für bekannte Gesichter kann ebenfalls experimentell kontrolliert untersucht werden, wenn zunächst unbekannte Gesichter zusammen mit semantischen Informationen über die Personen gelernt werden.

Paller, Gonsalves, Grabowecky, Bozic und Yamada (2000) führten genau diese experimentelle Manipulation durch und ließen Versuchspersonen unbekannte Gesichter ohne weitere Informationen lernen oder boten unbekannte Gesichter mit einer Stimme dar, die den Namen der Person und eine kurze biographische Information nannte. In einer Wiedererkennungsaufgabe wurden die gelernten Gesichter dann zusammen mit neuen Gesichtern gezeigt. Für beide Arten gelernter Gesichter (mit oder ohne verbale Informationen) zeigte sich die visuelle Vertrautheit im Vergleich zu den unbekanntem Gesichtern in einer stärkeren Positivierung im Zeitbereich von 300 ms bis 600 ms, die an posterioren und parietalen Elektroden bestand. Hingegen zeigte sich nur für Gesichter, die mit verbalen Personeninformationen gelernt wurden, ein Unterschied zu den unbekanntem Gesichtern an frontalen Elektroden im Bereich von 400 ms bis 600 ms, so daß der Abruf biographischer Informationen sich mit etwas späterer Latenz als die visuelle Bekanntheit an frontalen Elektroden reflektierte.

ERP ab 300 ms unterscheiden nicht nur zwischen einmal gezeigten bekannten und unbekanntem Gesichtern, sondern in diesen Potentialverschiebungen zeigen sich auch deutliche Effekte der Gesichterwiederholung. Der wohl bekannteste dieser Effekte ist der Wiederholungseffekt (ERP repetition effect; z.B. Guillem, Bicu und Debrulle, 2001; Schweinberger et al., 2002a), auch Alt-Neu-Effekt genannt (old-new effect; z.B. Itier und Taylor, 2002). Dieser Effekt tritt in einem Zeitbereich von etwa 300 ms bis 600 ms nach Stimulusbeginn vor allem an parietozentralen Elektroden auf und besteht in einer stärkeren Positivierung beziehungsweise weniger starken Negativierung für wiederholte im Vergleich zu neu gezeigten Gesichtern (z.B. Guillem et al., 2001).

Der Wiederholungseffekt wurde vor allem für die Wiederholung bekannter Gesichter und seltener für unbekanntem Gesichter gezeigt. Schweinberger et al. (2002a) fanden den Wiederholungseffekt am deutlichsten im Zeitbereich von 500 ms und 600 ms. Hier zeigte sich gleichzeitig zur verringerten Negativierung an parietozentralen Elektroden eine Zunahme der Negativierung an präfrontalen Elektroden. Beide Effekte bestanden nur für berühmte und nicht für unbekanntem Gesichter. Dabei waren sie für die Darbietung unterschiedlicher Aufnahmen desselben Gesichts genauso stark wie für die Wiederholung derselben Aufnahme und überlebten einen Zeitraum von 15 Minuten zwischen Erstdarbietung der Gesichter und ihrer Wiederholung. Bei Henson et al. (2003) hatte der Wiederholungseffekt für berühmte Gesichter seine

maximale Ausprägung an parietalen und rechtsfrontalen Elektroden von 400 ms bis 600 ms. Jemel et al. (2003) fanden eine Verringerung der negativen Amplitude zwischen 400 und 600 ms für die zweimalige Darbietung von Fotos berühmter Gesichter vor allem an posterioren Elektroden.

Für unbekannte Gesichter zeigen sich sowohl in Topographie als auch in den Zeitbereichen andere Wiederholungseffekte als für bekannte Gesichter: während die Wiederholung der berühmten Gesichter bei Schweinberger et al. (2002a) keine signifikanten Unterschiede mehr in Zeitbereichen von 600 ms bis 700 ms erzeugte, war für unbekannte Gesichter in diesem Zeitbereich nur bei der Wiederholung derselben Gesichtsaufnahme und nicht für zwei verschiedene Aufnahmen an rechten occipitotemporalen Elektroden eine verstärkte Negativierung zu beobachten. Henson et al. (2003) zeigten im Bereich von 400 ms bis 600 ms einen Wiederholungseffekt für dieselben Aufnahmen unbekannter Gesichter über Elektroden der Mittellinie, während berühmte Gesichter im selben Zeitbereich, aber an anderen Elektroden (parietal und rechtsfrontal) einen Wiederholungseffekt erzeugten.

Die in diesem Kapitel aufgeführten Ergebnisse zu Effekten der Bekanntheit von Gesichtern zeigen, daß diese Effekte möglicherweise in zwei verschiedenen Zeitbereichen ablaufen. Der erste Effekt liegt im Zeitbereich von etwa 400 ms bis 600 ms und besteht an occipitotemporalen und parietalen EEG-Elektroden (z.B. Eimer, 2000), aber auch an frontalen Elektroden (z.B. Schweinberger et al., 2002a) in Amplitudendifferenzen zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern. Effekte *visueller* Langzeitrepräsentationen von Gesichtern scheinen generell eher an posterioren Elektroden lokalisiert zu sein, während der Abruf zusätzlicher semantischer Informationen für die Personen eher an frontalen Elektroden zu erkennen ist (Paller et al., 2000) und möglicherweise ein elektrophysiologisches Korrelat der Person Identity Node (PIN)-Aktivierung oder der Namenscodeaktivierung darstellt, die im Modell von Bruce und Young (1986, siehe Kapitel 1.1.) zu einem Erkennen von Personen aus dem wahrgenommenen Gesicht führen.

Der Effekt visueller Bekanntheit an posterioren Elektroden könnte Korrelat der Aktivierung von Face Recognition Units nach dem Modell von Bruce und Young (1986) sein, da sich hier im Gegensatz zu früheren Effekten, z.B. auf der N250r, deutliche Unterschiede zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern auch bei ihrer einmaligen Darbietung zeigen und so das Kriterium von Langzeitgedächtnisrepräsentationen erfüllen, die schon beim ersten Sehen eines bekannten Gesichts aktiviert werden sollten. Herzmann et al. (2004) zeigen, daß diese Repräsentationen an posterioren Elektroden für berühmte und persönlich bekannte Gesichter gleichartig vorliegen. Ein späterer Effekt der Bekanntheit wurde für berühmte Gesichter von Eimer (2000) und Henson et al. (2003) im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms gezeigt. Dieser wurde an frontalen Elektroden (Henson et al., 2003), aber auch an posterioren Elektroden (Eimer, 2000) gefunden.

Untersuchungen zu *Wiederholungseffekten* zeigen sowohl in den Zeitbereichen, in denen Unterschiede zwischen erstmalig im Experiment gezeigten und wiederholten Gesichtern im ERP bestehen, als auch in den Topographien Parallelen zu den *Bekanntheitseffekten*. Die Wiederholung berühmter Gesichter löst an posterioren und parietalen Elektroden, aber auch an frontopolaren Elektroden und frontozentralen Elektroden vor allem im Bereich von 400 ms bis 600 ms Amplitudenveränderungen aus. Dabei bestehen diese Effekte

auch bei unterschiedlichen Aufnahmen zwischen Wiederholungen (z.B. Jemel et al., 2003) und sogar für Gesichter, die lediglich in einer semantischen Beziehung zueinander stehen wie diejenigen der beiden russischen Politiker Gorbatschow und Jelzin (Schweinberger, 1996). Schweinberger et al. (2002a) nahmen deshalb an, daß diese Wiederholungseffekte auf postperzeptuellen Verarbeitungsstufen liegen und den Zugriff auf personbezogene semantische Informationen reflektieren. Einen der Verarbeitung von berühmten Gesichtern ähnlichen Wiederholungseffekt konnten Schweinberger et al. (2002a) auch für Namen berühmter Personen zeigen.

1.6.3 Unterschiede zwischen EEG- und MEG-Messungen

Das Magnetenzephalogramm (MEG) misst Magnetfelder an der Kopfoberfläche, die durch elektrische Dipole im Gehirn aufgrund neuronaler Aktivierung entstehen. Ereigniskorrelierte Felder werden aus stimulusbezogenen Mittelungen des kontinuierlich aufgezeichneten MEG gebildet und in derselben Art wie ereigniskorrelierte Potentiale des EEG in Abweichung zu einer vor Stimulusbeginn erhobenen Baseline berechnet. Das MEG ist, unter anderem begründet durch den Platzaufwand und die hohen Kosten für ein MEG-Gerätes, als Messverfahren weniger verbreitet als das EEG. Eine Literaturrecherche in der Datenbank PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>) ergab nach inhaltlicher Durchsicht der Studienthemen für die Suchwörter 'MEG and faces' und 'MEG and face perception' insgesamt 23 MEG-Studien zur Gesichterverarbeitung für den Zeitraum von 1986 bis Januar 2005. Dieser geringen Anzahl an MEG-Studien stehen mindestens hundert Studien zur Gesichterverarbeitung im EEG gegenüber. Die PubMed-Recherche mit den Stichwörtern 'EEG and face perception' ergab 177 Einträge, für 'ERP and face perception' wurden 103 Einträge gefunden (hier wurde keine Durchsicht der Studienthemen vorgenommen, der Vergleich ist aber dennoch ein Hinweis auf die unterschiedliche Erforschung von Gesichterwahrnehmung in MEG und EEG).

Obwohl die neuronalen Prozesse, die MEG und EEG messen, prinzipiell dieselben sind, unterscheiden Magnet- und Elektroenzephalogramm sich in mehrerer Hinsicht voneinander (Hämäläinen et al., 1993). Das EEG misst elektrische Potentialveränderungen, die durch Ionenströme an aktiven kortikalen Neuronen entstehen. Es bildet dabei extrazelluläre neuronale Ionenströme, den sogenannten „volume current“ ab. Die das EEG generierenden Ionenströme sind aufgrund der Leitfähigkeit von zwischen Neuronen und EEG-Elektroden liegenden Strukturen wie etwa die cerebrospinale Flüssigkeit, die das Gehirn umgibt, auch an weit von der neuronalen Quelle entfernten Orten messbar. Ereigniskorrelierte Potentiale spiegeln deshalb oft eine Aktivität mehrerer neuronaler Quellen, die an verschiedenen Orten des Gehirns entstehen, wider, und die einzelnen Anteile neuronaler Quellen am Oberflächen-ERP sind schwer voneinander zu trennen. Das EEG bildet dabei sowohl neuronale Quellen, die nah an der Kopfoberfläche liegen, als auch tiefer im Gehirn gelegene Quellen ab.

Die mit dem MEG gemessenen Magnetfelder werden durch intrazelluläre und ganz nah am Neuron zu messende Ionenströme generiert, die auch „primary current“ genannt werden (Hari, 1996). Diese Felder werden nicht durch die Leitfähigkeit der zwischen Gehirn und MEG-Sensoren liegenden Strukturen beeinflusst, so daß ein ereigniskorreliertes Feld im Gegensatz zum ereigniskorrelierten Potential eine an *wenigen* Meßsensoren zu erkennende, räumlich begrenzte neuronale Aktivierung widerspiegelt und verschiedene Quellen im MEG als unterschiedliche, auch im visuellen Eindruck voneinander trennbare Magnetfelder zu erkennen sind. Aus diesem Grund hat das MEG eine sehr gute fokale Messfähigkeit. Unter optimalen Umständen kann es Quellen, die 2 mm voneinander entfernt sind, als unterschiedliche ereigniskorrelierte Felder abbilden (Hari und Lounasma, 1989). Allerdings nimmt das Magnetfeld mit zunehmender Entfernung von der generierenden neuronalen Quelle sehr stark ab, so daß das MEG eher oberflächliche Quellen abbildet und tiefe Quellen, die in der Mitte des Kopfes liegen, nicht erkennt (Hari und Lounasma, 1989).

Die Strukturen des Kortex sind gefaltet, so daß verschiedene Gehirnareale eine unterschiedliche räumliche Orientierung in Relation zur Kopfoberfläche haben. Kortexgebiete, die an der Oberfläche des Gehirns liegen, die Gyri, haben eine andere Orientierung zur Kopfoberfläche als die Sulci oder Fissuren, die eingefaltet sind. Das EEG misst Aktivierung aller Orientierungen kortikaler Strukturen im Vergleich zur Kopfoberfläche, hat aber eine leichte Verzerrung in Richtung der Abbildung von Aktivierung radialer Strukturen (Watanabe, Kakigi und Puce, 2003), während das MEG nur Quellen misst, die eine tangentielle Orientierung zur Kopfoberfläche haben und Strukturen mit rein radialer Orientierung nicht erkennt (Watanabe et al., 2003). So kann es passieren, daß MEG und EEG in derselben Messung unterschiedliche elektrophysiologische Korrelate der Gesichterverarbeitung abbilden. Diese Unterschiede zwischen MEG und EEG können Hinweise auf die Orientierung und Lage der neuronalen Generatoren einzelner Komponenten geben.

Die bisher genannten Unterschiede zwischen beiden Messverfahren machen eine simultane Ableitung von EEG und MEG auch für die Untersuchung der Gesichterverarbeitung interessant. Ein Amplitudeneffekt bei Gesichterwiederholung, der im EEG, nicht aber in ähnlicher Weise im MEG zu erkennen ist, könnte etwa die Aktivierung einer radialen Neuronenpopulation widerspiegeln, die eine bestimmte Stufe der Stimulusverarbeitung kodiert, vom MEG aber aufgrund der Selektivität des Messverfahrens für tangentielle Quellen nicht gemessen wird.

Trotz der bisher genannten Unterschiede zwischen beiden Meßverfahren zeigen ereigniskorrelierte Potentiale und Felder bei Gesichterdarbietung ähnliche Zeitverläufe. Die Latenzen, zu denen bestimmte Komponenten auftreten, sind allerdings aufgrund der Fokalität des Messverfahrens zwischen den einzelnen Versuchspersonen im MEG variabler als im EEG und die Sensoren, an denen ein ereigniskorreliertes Feld gemessen wird, unterscheiden sich stärker zwischen einzelnen Versuchspersonen. Für die Auswertung ereigniskorrelierter Felder bedeutet dies, daß für jede einzelne Versuchsperson die MEG-Sensoren mit dem größten Signal im interessierenden Zeitbereich nach Beginn der Stimulusdarbietung ausgewählt werden (z.B. Liu, Harris und Kanwisher, 2002) und die Untersuchung von Amplituden- oder Latenzeffekten zwischen unterschiedlichen experimentellen Bedingungen meist nur für die ausgewählten Kanäle durchgeführt wird. Einzelne ereigniskorrelierte Felder werden wie auch ereigniskorrelierte Potentiale anhand ihrer Latenz im

Vergleich zu Stimulusbeginn benannt, tragen jedoch meist ein M für magnetisches Feld vor ihrem Latenzwert, so daß ein der P100 aus dem ERP analoges ereigniskorreliertes Feld im MEG M100 heißt.

1.6.4 Ereigniskorrelierte Felder der Gesichterverarbeitung im MEG

Die 23 in der Literatursuche für die vorliegende Arbeit gefundenen Studien zur Gesichterverarbeitung untersuchten hauptsächlich ereigniskorrelierte Felder der Gesichterverarbeitung in frühen und mittleren Zeitbereichen ab Stimulusbeginn (von etwa 30 ms bis 250 ms), während spätere Aktivierungen nach Ergebnissen der Literaturrecherche im MEG nur in einer Studie (Lu et al., 1991) untersucht wurden. Der Vorteil der Untersuchung früher Komponenten ist sowohl im EEG als auch im MEG, daß Aktivierung in frühen Zeitbereichen wahrscheinlich noch nicht so stark wie spätere Aktivierung in verschiedenen Hirnarealen gleichzeitig generiert wird und die Interpretation experimenteller Effekte so für frühere Zeitbereiche einfacher und eindeutiger durchgeführt werden kann. Das MEG hat zwar eine ausreichend fokale Meßfähigkeit, um Aktivierung verschiedener, simultan auftretender Generatoren voneinander zu trennen. Problematisch bleibt dennoch die Trennung unterschiedlicher kognitiver Teilprozesse, die von einer experimentellen Aufgabe vor allem in späten Zeitbereichen der Stimulusverarbeitung evoziert werden und schwer voneinander abzugrenzen sind.

Deutliche Unterschiede zwischen Gesichtern und anderen visuellen Objekten zeigen sich im MEG ab etwa 100 ms nach Stimulusbeginn. Liu et al. (2002) fanden an rechten und linken occipitotemporalen MEG-Sensoren ein ereigniskorreliertes Feld mit einer mittleren Latenz von 105 ms, das sie M100 nannten und das für unbekannte Gesichter im Vergleich zu anderen Objekten wie Kühen, Händen und Häusern eine signifikant größere Amplitude zeigte. Die Autoren (Liu et al., 2002) untersuchten neben der Gesichterspezifität auch, an welcher kognitiven Stufe der Gesichterverarbeitung die M100 beteiligt war. Sie fanden einen Einfluss von Objektkategorisierungsprozessen auf die Amplitude der M100. Diese unterschied an gesichtersensitiven MEG-Sensoren zwischen der richtigen und falschen *Kategorisierung* von Gesichtern, aber nicht von Häusern. Für die *Identifizierung* von Gesichtern wurde dagegen kein Effekt der Korrektheit auf die Amplitude der M100 gefunden. Die Autoren (Liu et al., 2002) nahmen deshalb an, daß die M100 das Erkennen eines Gesichts in Abgrenzung zu anderen visuellen Stimuli unabhängig von seiner individuellen Identität abbilde und somit eine frühe Stufe gesichtersensitiver Verarbeitung dort angesiedelt sei.

Linkenkaer-Hansen et al. (1998) fanden bei Darbietung aufrecht gezeigter und invertierter Gesichter ein ereigniskorreliertes Feld bei 120 ms (P120) über occipitotemporalen Sensoren. Auf der P120 zeigte sich im MEG der Inversionseffekt, der üblicherweise als Hinweis auf eine gesichterspezifische Verarbeitung genommen wird. Er wurde in dieser Studie (Linkenkaer-Hansen et al., 1998) auch im simultan erfassten EEG zum selben Zeitpunkt beobachtet. Die P120 könnte dieselbe Komponente wie die M100 bei Liu et al. (2002) darstellen, da sie sich in den Potentialverläufen und Magnetfeldern bei Linkenkaer-Hansen et al. (1998) zwar

mit verspäteter Latenz im Vergleich zur M100 zeigte, aber ebenso wie die M100 die erste nach Stimulusbeginn auftretende ereigniskorrelierte Komponente war.

Halgren et al. (2000) verglichen die Reaktionseigenschaften ereigniskorrelierter Felder für verschiedene unbekannte Gesichterstimuli, z.B. farbige, schwarz-weiße und randomisierte Gesichter, mit anderen visuellen Objekten. Das Vorgehen in dieser Studie bestand nicht wie bei Liu et al. (2002) in der direkten Untersuchung der Stärke ereigniskorrelierter Felder, sondern die neuronalen Quellen der einzelnen ERF wurden als elektrische Dipole in einer Dipollokalisierung modelliert (zur Prozedur der Dipollokalisierung siehe Kapitel 1.7) und die Stärke des Dipolstroms wurde als Korrelat der Aktivierungsstärke über die verschiedenen Stimulusarten verglichen. Halgren et al. (2000) fanden ein erstes ereigniskorreliertes Feld bei etwa 100 ms (mittlere Latenz 110 ms; MO110 genannt) und lokalisierten dieses im occipitalen Kortex. Die Dipolstärke der MO110 unterschied zwischen Gesichtern und anderen visuellen Stimuli, aber im Sinne einer signifikant größeren Aktivierung für randomisierte als für normale Gesichter, so daß die Autoren (Halgren et al., 2000) die M110 noch nicht als Korrelat komplexer Gesichtsverarbeitungsprozesse interpretierten.

Im MEG wurden die elektrophysiologischen Komponenten mit der stärksten Gesichterspezifität in Zeitbereichen von 130 ms bis etwa 200 ms nach Stimulusbeginn mit einem Schwerpunkt bei etwa 150 ms (z.B. Sams, HiEta²nen, Ilmoniemi und Lounasmaa, 1997) gemessen. Für diesen Zeitbereich wurden mehrere Komponenten berichtet – M170 (z.B. Liu et al., 2002; Liu, Higuchi, Marantz und Kanwisher, 2000; Lueschow et al., 2004; Downing, Liu und Kanwisher, 2001), OT (occipitotemporal)165 (Halgren et al., 2000), 1M (Watanabe et al., 2003; Hoshiyama, Kakigi, Watanabe, Miki und Takeshima, 2003) und auch 2M (Watanabe, Kakigi, Koyama und Kirino, 1999) genannt. Ob diese Komponenten verschiedene Beschreibungen desselben ereigniskorrelierten Feldes darstellen oder unterschiedliche ereigniskorrelierte Felder abbilden, ist schwierig zu beurteilen, da in jeder der Studien andere experimentelle Paradigmen und Stimuli eingesetzt wurden. Allen Studien gemeinsam ist jedoch, daß die zwischen 130 ms und 200 ms gemessenen Komponenten sowohl in Studien, in denen MEG-Sensoren nur über der hinteren Kopfoberfläche platziert wurden (z.B. Watanabe et al., 2003), als auch in MEG-Studien, in denen von der ganzen Kopfoberfläche abgeleitet wurde (z.B. Liu et al., 2000), immer über hinteren (occipitotemporalen) Kopfarealen registriert wurden.

Watanabe et al. (2003) berichteten nicht nur eine, sondern zwei MEG-Komponenten im Zeitbereich von 160 ms bis 200 ms. Hier zeigte sich nach der 2M, die ihr Maximum im Mittel bei 165 ms hatte, eine 3M genannte Komponente, die ihre Latenz bei etwa 185 ms hatte. Beide Komponenten zeigten im Vergleich zu Objekten (Schmetterlingen) eine Gesichtersensitivität, die bei der 2M in einer Aktivierung an einem anderen Ort für Objekte im Vergleich zu Gesichtern bestand und bei Objektdarbietung überhaupt nur für eine Versuchsperson bestimmt werden konnte. Bei der 3M bestand die Gesichterspezifität in Form einer signifikant größeren Amplitude für Gesichter als für Objekte in der linken Hemisphäre. Watanabe et al. (1999) fanden ein im Vergleich zur 2M derselben Arbeitsgruppe (Watanabe et al., 2003) zusätzliches, zeitlich noch früheres Feld mit einer mittleren Latenz von 132 ms, die 1M, die bei einigen Personen eine zeitliche Überlappung mit der 2M, die in dieser Studie (Watanabe et al., 1999) im Mittel bei 179 ms lag, zeigte. Das Feldmuster der 1M zeigte keine Gesichtersensitivität, während die 2M nur für die Darbietung von Gesichtern mit offenen und

geschlossenen Augen und nicht für andere Stimuli wie Hände ein deutliches Feldmuster zeigte. Die 2M wird nicht nur für Gesichterpräsentationen, die bei den Versuchspersonen eine bewusste Gesichterwahrnehmung auslösen, registriert, sondern auch bei Darbietung von Gesichtern unterhalb der bewussten Wahrnehmungsschwelle (Hoshiyama et al., 2003) ausgelöst und scheint damit einen relativ automatisch durch Gesichterstimuli evozierten neuronalen Generator abzubilden, dessen Aktivierung nicht notwendigerweise mit einer bewussten Gesichterwahrnehmung einhergehen muss.

Sato et al. (1999) fanden unterschiedlich ereigniskorrelierte Felder, je nachdem ob ein Gesicht oder eine Szene (z.B. ein Haus in einer Strasse) präsentiert wurden. Während sich die Hauptaktivierung in der Verarbeitung von Gesichtern zwischen 150 ms und 200 ms zeigte, erzeugte die Darbietung der Szenenfotos erst bei 200 ms bis 300 ms deutliche ereigniskorrelierte Felder. Die Gesichteraktivierung wurde zwischen 150 ms und 186 ms in Arealen des occipitotemporalen Kortex lokalisiert, die Aktivierung bei Szenen dagegen im parietalen Kortex und im Gyrus parahippocampalis, so daß sich hier Hinweise auf unterschiedliche neuronale Quellen von Gesichterverarbeitung im Gegensatz zur Verarbeitung anderer visueller Stimuli zeigten. Lu et al. (1991) verglichen Gesichterabbildungen mit den Bildern von Vögeln und fanden das einzige gesichterspezifische ereigniskorrelierte Feld bei 150 ms nach Stimulusbeginn über rechten und linken posterioren MEG-Sensoren. Diese Aktivierung lag weiter anterior als eine zeitlich frühere Aktivierung bei 100 ms über dem occipitalen Kortex. Die Aktivierung bei 100 ms und zwei spätere Aktivierungen an hinteren Meßsensoren (bei 260 ms und 500 ms) besaßen keine Gesichterspezifität.

Swithenby et al. (1998) verglichen Gesichterstimuli mit anderen Stimuli wie Tassen und Motorrädern. Im Gegensatz zu einer späteren Studie derselben Arbeitsgruppe (Bräutigam, Bailey und Swithenby, 2001) fanden sich bei Swithenby et al. (1998) keine Unterschiede in Amplituden oder Latenzen ereigniskorrelierter Felder zwischen Gesichterdarbietung und anderen Stimuli. Ein Maß der Signalstärke über mehrere Kanäle (zu dessen Berechnung siehe Swithenby et al., 1998, p.504) ergab jedoch signifikante Unterschiede von Gesichtern im Vergleich zu allen anderen visuellen Stimuli bei 140 ms über rechten occipitotemporalen Sensoren. Die Zeitbereiche von 110 ms bis 170 ms wurden, obwohl sie gesichtersensitiv waren, weder vom emotionalen Ausdruck noch von der Wiederholung der Gesichter beeinflusst.

Die M170 war bei Liu et al. (2000 und 2002) in ihrer Amplitude nicht nur für Gesichter von Menschen, sondern auch für Tiergesichter und Linienzeichnungen von Gesichtern selektiv, und sie war für menschliche Gesichter in Frontalansicht signifikant größer als für Profilansichten von Gesichtern. Bei Halgren et al. (2000) war die Aktivierung der OT165-Komponente sensitiv für die Vertauschung von Einzelelementen in Gesichtern.

Die genannten Studien zur Gesichterverarbeitung im MEG zeigen, daß ereigniskorrelierte Felder vor allem bei 150 ms bis 170 ms Gesichterspezifität besitzen und ähnlich wie die N170 im EEG von der Veränderung konfiguraler Information in Gesichtern durch Inversion (siehe Liu et al., 2002) und durch die Vertauschung der Einzelelemente von Gesichtern (Halgren et al., 2000) beeinflusst werden. Sie spiegeln möglicherweise sogar die Identifizierung individueller Gesichter wider (Liu et al., 2002). Das MEG bildet in den Zeitbereichen um 150 ms somit nicht nur grobe Kategorisierungsprozesse von Gesichtern, sondern komplexe

Gesichterverarbeitungsprozesse ab. Halgren et al. (2000) etwa platzieren ihr OT165-Feld innerhalb eines kognitiven Modells der Gesichterverarbeitung zwischen frühe Prozesse der Gesichterverarbeitung bei 100 ms und Gedächtnisprozesse für Gesichter, die sie in späteren Zeitbereichen ab circa 300 ms annehmen und als Ausdruck relativ stimulusunspezifischer Verarbeitung ansehen. Lu et al. (1991) fanden in ihrer Untersuchung so auch keine Gesichterspezifität eines ereigniskorrelierten Feldes bei 500 ms nach Stimulusbeginn.

In den bislang fast noch gar nicht untersuchten späteren Zeitbereichen ab etwa 300 ms sollten sich in Anlehnung an Ergebnisse aus intracerebralen Potentialableitungen und ERP-Studien auch im MEG ereigniskorrelierte Felder finden, die zum Beispiel durch die Wiederholung und die Bekanntheit von Gesichtern beeinflusst werden. Eine genauere Untersuchung dieser Zeitbereiche für die Gesichterverarbeitung mittels MEG steht noch aus, wird aber gerade im Vergleich zu solchen Effekten in ERP interessante Ergebnisse zur Bestimmung der funktionalen Eigenschaften elektrophysiologischer Korrelate der Gesichterverarbeitung liefern.

1.7 Neuronale Generatoren elektrophysiologischer Korrelate der Gesichterverarbeitung

Wie in den Kapiteln zu ereigniskorrelierten Potentialen und Feldern der Gesichterverarbeitung bereits erwähnt wurde, können die neuronalen Ursprungsorte von MEG- und EEG-Messungen in Dipollokalisierungen modelliert werden. Bei einer Dipol- oder Quelllokalisierung werden neuronale Generatoren von ERP oder ERF als Dipole modelliert, die einen zu bestimmenden Ort im Kortex haben und in ihrer Stärke (in Nanoamperemeter (nAm) ausgedrückt) über die Zeit variieren. Die Dipollokalisierung wird mit einem Lokalisationsprogramm durchgeführt. Dieses Programm bestimmt für eine vorher festgelegte Anzahl von dipolaren Quellen, die als Generatoren einer Komponente angenommen werden, die Orte im Gehirn, die die gegebene Datenkonstellation in ERP oder ERF mit der besten Erklärung der Datenvarianz erklären.

Bei der Modellierung intracerebraler Generatoren aus Oberflächenmessungen tritt das inverse Problem auf: die Berechnung der Quellorte besitzt sowohl für ereigniskorrelierte Felder als auch für ereigniskorrelierte Potentiale keine eindeutige Lösung, da es eine theoretisch unbegrenzte Anzahl von Quellkonfigurationen geben kann, die eine gegebene Oberflächenverteilung im EEG oder MEG erzeugen. Deshalb ist bei der Interpretation von Lokalisierungsergebnissen wichtig zu berücksichtigen, daß die Dipollokalisierung lediglich eine Modellanwendung darstellt und keine Aussage darüber erlaubt, ob die ermittelten Orte neuronaler Generatorstrukturen die *wirklichen* Orte sind, an denen EEG- und MEG-Aktivierung entstanden sind.

1.7.1 Neuronale Generatoren ereigniskorrelierter Potentiale der Gesichterverarbeitung in Lokalisationsstudien

Das Hauptaugenmerk von Lokalisationsstudien zu gesichterspezifischen ereigniskorrelierten Potentialen liegt auf der N170 und späteren Komponenten, da sie eine deutlichere Gesichtersensitivität als die P100 besitzen und aufgrund ihrer späteren Latenz eher als Korrelate komplexer Gesichterverarbeitungsprozesse angenommen wurden als die P100. Die neuronalen Generatoren der N170 wurden in mehreren Studien lokalisiert (Schweinberger et al., 2002a; Shibata et al., 2002; Rossion et al., 2003; Horowitz, Rossion et al., 2004; Itier und Taylor, 2004a). Rossion et al. (2003) zeigten Gesichterstimuli, aber auch Autos und visuell dargebotene Wörter und boten alle Stimuli sowohl in aufrechter als auch invertierter Form dar. Sie nahmen in rechter und linker Hemisphäre jeweils einen dipolaren Generator der N170 an und legten zusätzlich fest, daß beide Dipole symmetrisch zueinander in beiden Hemisphären liegen sollten. Die N170 wurde getrennt für alle Stimulusarten und für die Gruppenmitteldaten der ereigniskorrelierten Potentiale lokalisiert. Für aufrecht dargebotene Gesichter lag der Ort der N170 in den medialen posterioren Gyri fusiformes. Für alle anderen Stimulusarten wurde die N170 mit höchstens einem Zentimeter Abweichung zum Ort der Gesichteraktivierung jedoch ebenfalls in den Gyri fusiformes lokalisiert. Unterschiede zwischen den Stimulusklassen bestanden allerdings in der Dipolstärke der N170. Diese war für aufrechte und invertierte Gesichter am größten und für die anderen Stimuli deutlich kleiner. Sie zeigte für die Gesichter eine Rechtslateralisierung, für Autos dagegen keine Hemisphärenunterschiede und für Wörter eine Linkslateralisierung. Dipollokalisierungen wurden bei Rossion et al. (2003) auch für die Differenzpotentiale der N170 von Gesichtern minus (-) Autos, Gesichtern - Wörtern und Wörtern - Autos durchgeführt. Für die Differenz Gesichter - Autos zeigte sich der identische Ort wie für die Lokalisation der N170 auf alleinige Gesichterpräsentation in beiden Hemisphären. In der Dipolstärke war eine deutliche rechtshemisphärische Lateralisierung zu beobachten, die für eine stärkere Beteiligung der rechten Hemisphäre an Gesichterverarbeitung im Vergleich zu anderen visuellen Objekten spricht. Für die Vergleiche Gesichter - Wörter und Wörter - Autos reichte ein Dipol zur Lokalisierung der Aktivität aus. Dieser lag für beide Differenzen im Gyrus fusiformis und war für die Differenz Wörter - Autos linkshemisphärisch, für die Differenz Gesichter - Wörter dagegen in der rechten Hemisphäre lokalisiert.

Das Interessante an den Ergebnissen der Lokalisationsstudie von Rossion et al. (2003) ist zunächst die Tatsache, daß in dieser Studie keine Unterschiede in den neuronalen Generatoren der N170 zwischen Gesichtern und anderen Objekten gezeigt werden konnten. Dieses Ergebnis spricht gegen eine Modularität der Gesichterverarbeitung zumindest auf der Stufe der N170. Es spricht eher für ein gemeinsames System von Objekt- und Gesichterverarbeitung, das Unterschiede in den Stimuli anhand verschiedener neuronaler Aktivierungsstärken und anhand von Lateralisierungsunterschieden kodiert. In einer späteren Studie widersprachen Rossion et al. (2004) aufgrund von ERP- und fMRT-Untersuchungen an zwei Patienten mit erworbenen Läsionen gesichterspezifischer Areale jedoch der zuvor von ihnen aufgestellten Hypothese eines neuronalen Generators der N170 im Gyrus fusiformis und nahmen stattdessen an, daß der Gyrus fusiformis

einen zu vernachlässigenden Beitrag in der Entstehung der N170 habe und stattdessen das occipitale Gesichterareal (OFA) einer der N170-Generatoren sei. Diese Interpretation steht allerdings im Widerspruch zu Ergebnissen aus intracerebralen Potentialableitungen. In diesen wurde gesichterspezifische Aktivierung bei 180 ms (P180, Halgren et al., 1994) und 200 ms (N200, Allison et al., 1999) im Gyrus fusiformis gefunden, und es ist zumindest bei der P180 sehr gut möglich, daß diese das intracerebrale Pendant der N170 ist.

Eine weitere Studie der Forschungsgruppe um Rossion (Horowitz et al., 2004) brachte wieder Argumente für neuronale Generatoren der N170 in den Gyri fusiformes. In dieser Studie wurden an denselben Versuchspersonen sowohl EEG als auch fMRT gemessen und als experimentelle Manipulation zunehmendes Bildrauschen über Gesichter gelegt, das diese unkenntlich machte. Diese Manipulation erzeugt eine Verkleinerung der N170-Amplitude und eine Latenzverschiebung des Potentialpeaks nach hinten (Jemel et al., 2003b). Die Stärke der ERP für die Veränderung des Bildrauschens wurde mit der Veränderung des fMRT-Signals bei derselben experimentellen Manipulation verglichen. Hier fanden sich die deutlichsten Zusammenhänge zwischen beiden Signalen in der N170 und dem Gyrus fusiformis in beiden Hemisphären.

Itier und Taylor (2004a) fanden im Gegensatz zu Rossion et al. (2003) Unterschiede in den Orten neuronaler Quellen der N170 zwischen Gesichtern und verschiedenen Arten anderer Objekte wie Pilzen, Blumen und Häusern. Sie führten ihre Quelllokalisierung sowohl für Daten von Einzelpersonen als auch für Gruppenmittelkurven der N170 durch und benutzten einen Lokalisationsalgorithmus, bei dem die Anzahl der Quellen nicht vorher festgelegt werden musste. Mehrere occipitale und occipitotemporale Hirnregionen in beiden Hemisphären waren für alle Arten von Objekten auf der Ebene der N170 aktiv: die inferioren und mittleren occipitalen Gyri (OFA), die Region um die Sulci temporales superiori (STS) und die Gyri linguales. In den occipitalen Regionen und in den Gyri linguales wurden keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Stimulusarten gefunden, ein Unterschied zeigte sich aber in Regionen um den posterioren Sulcus temporalis superior. Hier fanden Itier und Taylor (2004a) eine viel stärkere Quelle für Gesichter als für andere Objekte, die eine Rechtslateralisierung zeigte. Diese Quelle war für invertierte Gesichter noch stärker als für aufrecht gezeigte Gesichter aktiviert, so daß die Autoren den Inversionseffekt auf der N170 durch eine stärkere Aktivierung von gesichtersensitiven Neuronen im STS erklären.

Shibata et al. (2002) untersuchten die N170 in der rechten Hemisphäre für allein dargebotene Augen und ganze Gesichter unbekannter Personen. Sie fanden für die N170 bei Gesichterdarbietung zwei unterschiedliche neuronale Generatoren, von denen einer zu frühen Zeitpunkten und zur Peakphase der N170 aktiv war, während der andere in der späten Phase der N170 aktiviert war. Dabei lag der Generator der frühen Anteile und der Peakaktivierung der N170 im rechten posterioren inferotemporalen Gyrus und der Generator der späteren Anteile im Gyrus fusiformis oder im medial angrenzenden Gyrus lingualis. Bei alleiniger Präsentation von Augen wurde der N170-Generator für alle Zeitpunkte (frühe Aktivität, Peak und späte Aktivität) im posterioren inferotemporalen Gyrus lokalisiert. Shibata et al. (2002) schlossen daraus, daß die N170 für ganze Gesichter eine aus zwei Teilprozessen zusammengesetzte Komponente sei, von denen die eine die Enkodierung von Augen im inferotemporalen Gyrus und die andere die strukturelle Enkodierung von Gesichtern im Gyrus fusiformis reflektiere.

Schweinberger et al. (2002a) lokalisierten den Generator der N170 für berühmte Gesichter in einer Dipollokalisierung für das Gruppenmittel ereigniskorrelierter Potentiale. Sie nahmen in jeder Hemisphäre einen neuronalen Generator der N170 an und setzten beide Generatoren symmetrisch zueinander. Die Quelle der N170 lag in dieser Studie im lateralen occipitotemporalen Kortex. Mnatsakanian und Tarkka (2004) untersuchten ereigniskorrelierte Potentiale bei Darbietung persönlich bekannter Gesichter. Sie fanden in Übereinstimmung zu Shibata et al. (2002) ebenfalls zwei verschiedene neuronale Generatoren der Gesichteraktivität im Zeitbereich um etwa 170 ms. Dipole im linken und rechten Gyrus lingualis erklärten Aktivität um 120 ms und 180 ms, während Dipole im anterioren Gyrus fusiformis EEG-Aktivität um 150 ms und 160 ms erklärten. In dieser Studie hatte das EEG eine sehr gute örtliche Auflösung im Vergleich zu anderen ERP-Studien, da Mnatsakanian und Tarkka (2004) ein 128-Elektroden-EEG ableiteten, während die üblichen EEG-Messungen mit etwa 30 Elektroden durchgeführt werden (z.B. Schweinberger et al., 2002a). Dies mag auch erklären, warum die Autoren (Mnatsakanian und Tarkka, 2004) keine Symmetriebeschränkung zur Modellierung der Dipole benötigten, die in anderen EEG-Studien (z.B. Rossion et al., 2003; Schweinberger et al., 2002a) eine notwendige Modellbeschränkung darstellte. Mnatsakanian und Tarkka (2004) fanden jedoch sowohl für die Dipole in den Gyri fusiformes als auch für die Dipole in den Gyri linguales eine ungefähre Symmetrie in beiden Hemisphären. Sie untersuchten Unterschiede in der Stärke der Dipole zwischen wiederholten und neuen persönlich bekannten Gesichtern und fanden für den Dipol im Gyrus fusiformis Unterschiede in den Quellstärken im Zeitbereich von 400 ms bis 600 ms. Der Dipol hatte eine größere Stärke bei Darbietung eines neuen bekannten Gesichts im Vergleich zu einem wiederholten bekannten Gesicht, so daß sich in diesem Zeitbereich eine Beteiligung des Gyrus fusiformis an der Speicherung von Langzeitrepräsentationen für Gesichter zeigte. Messungen intracerebraler Potentiale fanden ebenfalls im Gyrus fusiformis bei 350 ms gesichterspezifische Aktivierung (P350; Allison et al., 1999), die durch die Wiederholung von Gesichtern beeinflusst wurde.

Insgesamt variieren die Ergebnisse zu neuronalen Generatoren der N170 zwischen verschiedenen Studien sowohl in der Anzahl der Dipole, die als Generatoren der N170 angenommen werden, als auch in den Orten der Dipole. Die Generatoren der N170 - Gyrus fusiformis (Rossion et al., 2003; Shibata et al., 2002 für den späten Anteil der N170; Mnatsakanian und Tarkka, 2004), Sulcus temporalis superior (Itier und Taylor, 2004a) und occipitales Gesichterareal (Rossion et al., 2004) - wurden in fMRT-Studien jedoch alle als Teile eines neuronalen Netzwerkes der Gesichterverarbeitung identifiziert (Haxby et al., 2000, siehe Kapitel 2.1.5), so daß jeder der gefundenen N170-Generatoren eine physiologische Plausibilität hat. Die Variabilität der Lokalisationsergebnisse könnte unter anderem dadurch entstanden sein, daß alle der lokalisierten Gehirnnareale gleichzeitig oder in zeitlich sehr kurzen Abständen bei der Gesichterverarbeitung im Zeitbereich um 170 ms aktiviert sind und somit die gesamte N170 eine in mehreren Hirnnarealen entstandene Komponente ist. Unterschiede in den Quellorten zwischen den verschiedenen Studien könnten dadurch entstanden sein, daß die Stärke des Beitrages der einzelnen neuronalen Generatoren je nach Aufgabe der Gesichterverarbeitung und Bekanntheit der Gesichter variierte und somit jede Studie die in der speziellen experimentellen Aufgabe am *stärksten* aktiven neuronalen Generatoren der N170 fand.

Bislang haben sich zwei Studien mit der Modellierung neuronaler Quellen in späteren Zeitbereichen des EEG beschäftigt. Schweinberger et al. (2002a) lokalisierten eine Differenzkurve für die Wiederholung berühmter Gesichter (neu dargebotene berühmte Gesichter minus wiederholte berühmte Gesichter) bei 250 ms (N250r, siehe Kapitel 1.6.2.5) durch zwei symmetrisch zueinanderliegende Dipole und lokalisierten den neuronalen Generator, den sie als Korrelat der Aktivierung von Langzeitrepräsentationen für bekannte Gesichter interpretierten, im anterioren Gyrus fusiformis. Mnatsakanian und Tarkka (2004) lokalisierten Aktivierung für persönlich bekannte Gesichter in späteren Zeitbereichen von etwa 300 ms bis 600 ms. Hier fanden sie links- und rechtshemisphärisch jeweils einen Dipol. Der erste Dipol lag im linken anterioren Gyrus cingulus im limbischen System. Dieser Dipol zeigte Unterschiede zwischen der Wiederholung desselben bekannten Gesichts und der Darbietung eines anderen bekannten Gesichts und hatte seine maximale Stärke zwischen 400 ms bis 600 ms nach Stimulusbeginn. Der zweite Dipol lag im Nucleus caudatus und unterschied im Zeitbereich ab 300 ms bis etwa 400 ms zwischen wiederholten und neuen Gesichtern. Die Autoren (Mnatsakanian und Tarkka, 2004) nahmen an, daß beide Unterschiede in den Dipolstärken auf eine veränderte emotionale Erregung bei Wiederholung von Gesichtern zurückzuführen seien.

1.7.2 Neuronale Generatoren ereigniskorrelierter Felder der Gesichterverarbeitung in Lokalisationsstudien

Die neuronalen Generatoren der Gesichterverarbeitung wurden häufiger für ereigniskorrelierte Felder als für ereigniskorrelierte Potentiale modelliert. Die meisten Studien, die Gesichterverarbeitung im MEG untersuchten, führten auch eine Quelllokalisierung der Gesichteraktivität durch. Lu et al. (1991) veröffentlichten die ersten Ergebnisse einer Dipollokalisierung für ereigniskorrelierte Felder der Gesichterdarbietung. Sie maßen MEG-Aktivität bei Gesichterdarbietung im Vergleich zur Darbietung von Vögeln und anderen visuellen Objekten. Das MEG wurde mit einem 24-Kanal-System gemessen, dessen Sensoren über linken oder über rechten occipitotemporalen Kortexarealen platziert wurden. Lokalisiert wurden für die einzelnen Versuchspersonen ereigniskorrelierte Felder bei 150 ms, 260 ms und 500 ms nach Stimulusbeginn. Trotz interindividueller Varianz in den genauen Orten der Dipole zeigte sich über die Versuchspersonen ein konsistentes Verhältnis *zwischen* den Orten der drei Dipole (150 ms, 260 ms, 500 ms). Die spätere Aktivität bei 500 ms lag weiter frontal und die Aktivität bei 260 ms wurde weiter superior lokalisiert als die Quelle des Feldes bei 150 ms. Die Quelle der Aktivierung bei 150 ms wurde im Mittel an der inferioren Grenze zwischen occipitalem und temporalem Kortex lokalisiert und stellte die einzige von den drei Quellen dar, die gesichterspezifisch reagierte. Die nicht gesichterspezifische Aktivierung wurde bei 260 ms im parietalen Kortex und bei 500 ms im temporalen Kortex lokalisiert. Genauere Angaben zu den neuroanatomischen Orten der Quellen wurden von Lu et al. (1991) nicht gemacht. Eine weitere MEG-Studie derselben Forschungsgruppe (Sams et al., 1997) erfasste ereigniskorrelierte Felder in einer 122-Kanal-Ganzkopf-MEG-Messung und fand gesichterspezifische Felder vor allem im Bereich von 160 ms nach Stimulusbeginn. Diese Felder wurden bei einigen Personen im Gyrus fusiformis lokalisiert, es gab jedoch

auch in dieser Studie (Sams et al., 1997) Unterschiede zwischen den Versuchspersonen in den Orten der Dipole. Diese Unterschiede wurden von Sams et al. (1997) sowohl auf interindividuelle Differenzen in der Lage gesichterspezifischer Hirnareale als auch auf eine möglicherweise simultane Aktivierung mehrerer Kortexareale im selben Zeitbereich zurückgeführt, von denen der in einer Lokalisation gefundene Ort meist nur die stärkste Aktivierung wiedergebe, die interindividuell variieren könne.

Watanabe et al. (1999) untersuchten ereigniskorrelierte Felder über occipitalen und temporalen Kortexarealen. Den Versuchspersonen wurden Gesichter mit offenen und geschlossenen Augen sowie randomisierte Gesichter, Hände und Augen dargeboten. Ereigniskorrelierte Felder wurden in Zeitbereichen um 130 ms (1M) und 180 ms (2M) beobachtet. Die 1M-Komponente wurde bei allen Arten von Stimuli gemessen, die 2M-Komponente zeigte sich dagegen nur bei Gesichtern mit offenen oder geschlossenen Augen und bei Händen, dort jedoch mit verzögerter Latenz. Bei der Dipollokalisierung wurden Dipole in vorbestimmte kortikale Areale gesetzt und die Passung des gewählten Dipolmodells an die Daten bestimmt. Hier zeigte sich, daß ein Modell mit zwei symmetrisch zueinandergesetzten Dipolen im primären visuellen Kortex für die 1M-Komponente und mit Dipolen im inferotemporalen Kortex nahe dem Gyrus fusiformis für die 2M-Komponente das am besten geeignete Modell war.

Halgren et al. (2000) lokalisierten Dipole für MEG-Differenzkurven zwischen randomisierten Gesichtern und Gesichtern an posterioren Sensoren. In diesen Differenzkurven zeigten sich zwei klare Felder. Das erste Feld hatte im Gruppenmittel seine maximale Stärke bei 127 ms (MO110) und konnte durch einen Dipol im posterioren inferioren occipitalen Kortex fast genau auf der Mittellinie zwischen beiden Hemisphären lokalisiert werden. Der zweite Peak der Aktivierung im Differenzfeld zwischen Gesichtern und randomisierten Gesichtern lag bei Halgren et al. (2000) zwischen 150 ms und 185 ms (OT165) und wurde anhand zweier Dipole modelliert, die ungefähr symmetrisch zueinander im rechten und linken Gyrus fusiformis bzw. dem Gyrus fusiformis angrenzenden Strukturen lagen. Die Dipolstärken dieses Generators hatten bei 164 ms ihr Maximum und zeigten eine Linkslateralisierung. Die beiden Dipole in den Gyri fusiformes erklärten jedoch nicht nur Aktivierung um 150 ms, sondern zeigten einen zweiten Höhepunkt der Dipolstärke bei 256 ms, so daß ähnlich wie bei Mnatsakanian und Tarkka (2004) im EEG möglicherweise auch im MEG Aktivität des Gyrus fusiformis zu späteren Zeitpunkten um etwa 300 ms gemessen wird.

Eine Quelle von Gesichtsverarbeitung im Zeitbereich um 150 ms bis 180 ms konnten Linkenkaer-Hansen et al. (1998) für Gesichter ebenfalls im Gyrus fusiformis lokalisieren, eine frühere gesichterspezifische Quelle bei 120 ms (P120) wurde in dieser Studie im occipitalen Kortex außerhalb des primären visuellen Kortex lokalisiert. Möglicherweise entspricht die Quelle der P120 dem im fMRT gefundenen sogenannten occipitalen Gesichterareal. Die genauen neuroanatomischen Orte der P120 sind bei Linkenkaer-Hansen et al. (1998) jedoch nicht angegeben. Eine dipolare Quelle ereigniskorrelierter Felder bei etwa 190 ms wurde im Gyrus fusiformis und direkt angrenzenden Arealen sogar für die sehr kurze Darbietung von Gesichtern, die unter der bewussten Wahrnehmungsschwelle lag, lokalisiert (Hoshiyama et al., 2003). Lewis et al. (2003) zeigten einen Einfluss des emotionalen Ausdrucks von Gesichtern auf die Stärke einer dipolaren Quelle im Gyrus fusiformis, die sie bei etwa 150 ms dort lokalisierten. Die Stärke des Dipols war bei neutralem Gesichtsausdruck am kleinsten und größer bei Präsentation lächelnder Gesichter. Sato et al. (1999)

lokalisierten gesichterspezifische Aktivierung im Bereich von 150 ms bis 200 ms im Gyrus fusiformis und im medial dem Gyrus fusiformis angrenzenden Gyrus lingualis.

Swithenby et al. (1998) fanden ebenfalls eine Quelle gesichterspezifischer Aktivierung im Gyrus fusiformis mit einem Maximum bei 140 ms. Watanabe et al. (2003) fanden für Aktivierung um 150 ms bis 200 ms bei Darbietung aufrechter und invertierter Gesichter nicht nur im Gyrus fusiformis, sondern auch nahe dem Sulcus temporalis superior (STS) eine neuronale Quelle. Die Orte der beiden Quellen waren für aufrecht gezeigte und invertierte Gesichter dieselben, so daß in dieser Studie zwei Generatoren der Gesichterverarbeitung um 150 ms in jeder Hemisphäre angenommen wurden. Spätere ereigniskorrelierte Potentiale um 250 ms nach Stimulusbeginn waren bei Tarkiainen, Helenius und Salmelin (2003) nicht mehr gesichterspezifisch und wurden in dieser Studie analog zu Lu et al. (1991, siehe oben) im parietotemporalen Kortex lokalisiert.

Während in Lokalisationsstudien ereigniskorrelierter Potentiale der Gesichterverarbeitung für dieselben Zeitbereiche, vor allem die N170, ganz verschiedene neuronale Generatoren modelliert wurden fanden *alle* Lokalisationsstudien der Gesichterverarbeitung im MEG eine Quelle gesichterspezifischer Verarbeitung zwischen 140 ms bis 190 ms im Gyrus fusiformis und lokalisierten damit die Quellen der Aktivierung in einer der anhand von fMRT-Studien als Kernareal der Gesichterverarbeitung angenommenen Gehirnstruktur (siehe Kapitel 1.5). Die Latenzen der maximalen Aktivierung dieser Quelle variieren zwischen den verschiedenen Studien um bis zu 40 ms. Daher überrascht die klare Konsistenz des Quellortes über die verschiedenen Studien. Es könnte jedoch möglich sein, daß je nach dem in einer Studie eingesetzten Gesichterparadigma die Latenz ereigniskorrelierter Felder variiert, diese Felder aber letztendlich im selben Hirnareal generiert werden.

Die gute Lokalisierbarkeit der neuronalen Quellen gesichterspezifischer Aktivierung im Gyrus fusiformis im MEG, die sich in der Konsistenz der Quellorte zwischen verschiedenen Studien widerspiegelt, entsteht möglicherweise aus der tangentialen Lage dieses Areals in Relation zur Kopfoberfläche (Hoshiyama et al., 2003). Dipollokalisierungen gesichterspezifischer ERF um 150 ms bis 200 ms fanden mit Ausnahme einer Studie (Watanabe et al., 2003) eine einzige Quelle in jeder Hemisphäre als angenommenen Generator der Oberflächenaktivität angemessen, so daß angesichts der hohen Trennfähigkeit unterschiedlicher neuronaler Quellaktivierungen des MEG mit hoher Wahrscheinlichkeit plausibel angenommen werden kann, daß es wirklich einen hauptsächlichen neuronalen Generator in jeder Hemisphäre gibt.

Im EEG ist nicht nur die Anzahl der Quellen der N170 viel unklarer als im MEG, sondern auch die Quellorte variieren stärker. Das EEG erkennt im Gegensatz zum MEG nicht nur tangentiale, sondern auch radiale neuronale Quellen und misst somit möglicherweise zusätzlich zu der Quelle im Gyrus fusiformis auch Quellen mit eher radialer Orientierung in anderen Gehirnarealen, die gleichzeitig oder zu leicht verschobenen Zeitbereichen aktiv sind. Insofern ergänzen sich MEG und EEG in der Messung der Quellen gesichterspezifischer Verarbeitung.

1.8 Priming

Der Begriff Priming bezeichnet ein in experimentellen Manipulationen evoziertes Gedächtnisphänomen, das in Abwesenheit von bewusster, intentionaler Gedächtnisverarbeitung und in Abwesenheit einer bewussten Erinnerung an eine Lernepisode stattfinden kann (z.B. Schacter und Buckner, 1998). Primingprozesse unterscheiden sich damit von Gedächtnisprozessen, die in experimentellen Paradigmen durch die Erzeugung von bewusster Gedächtniskodierung und bewusstem Abruf ausgelöst werden. Bei einer Primingaufgabe werden Stimuli zwar wiederholt, die Stimuli müssen jedoch nicht intentional im Gedächtnis gehalten oder abgerufen werden, sondern sie werden im Hinblick auf andere Aspekte kognitiv verarbeitet. Eine Primingaufgabe kann für Gesichter als Stimuli zum Beispiel in einer Geschlechtsentscheidung für die Gesichter bei Erstdarbietung und Wiederholung bestehen. In einer bewussten Gedächtnisaufgabe müssten die Gesichter dagegen beispielsweise gelernt und dann aus einer ganzen Reihe von Gesichtern, die sowohl die gelernten als auch neue Gesichter enthält, wiedererkannt werden.

1.8.1 Maße von Priming

Primingeffekte werden anhand von Reaktionsveränderungen zwischen Erst- und Folgedarbietung(en) der Stimuli gemessen. Sie werden in Verhaltensmassen oft anhand von Reaktionszeitveränderungen erfasst. Die Stimuluswiederholung bewirkt meist eine Erleichterung der Verarbeitung und damit eine Reaktionszeitverkürzung. Weitere Verhaltensmaße sind zum Beispiel die Fehlerrate oder Präferenzurteile bei Entscheidungen über die Stimuli. In der oben genannten Geschlechtsentscheidungsaufgabe für Gesichter würde sich der Primingeffekt in einer Reaktionszeitverkürzung für die Geschlechtsentscheidung bei Wiederholung der Gesichter zeigen. Verhaltensreaktionen scheinen sehr sensibel für die Erfassung von Priming. Bei einer Verhaltensreaktion ist jedoch oftmals nicht klar, welche genaue kognitive Verarbeitungsstufe eines Primingprozesses sie abbildet. Zu Verhaltensreaktionen, die eine Latenz von mehreren hundert Millisekunden nach Stimulusbeginn haben, tragen mehrere kognitive Verarbeitungsstufen bei, die allein anhand von Reaktionszeiten oftmals nicht genau voneinander getrennt werden können (Henson et al., 2003).

Eine deutlichere Differenzierung der Stufen, auf denen Primingprozesse ablaufen, kann mit der Messung neurophysiologischer Parameter vorgenommen werden. Die Veränderung einer oder mehrerer Zeitstufen in ERP oder ERF kann anzeigen, auf welcher genauen Stufe der kognitiven Verarbeitung ein Primingprozess abläuft und welche Verarbeitungsstufe dagegen nicht durch Priming beeinflusst wird. Im fMRT werden Primingeffekte anhand von Aktivierungsveränderungen in bestimmten Hirnarealen bei Stimuluswiederholung untersucht. Mittels fMRT kann aufgrund der relativ geringen zeitlichen Auflösung zwar die genaue zeitliche Stufe im kognitiven Verarbeitungsprozess, auf der der Primingprozess stattfindet, nicht genau untersucht werden (Henson und Rugg, 2003). Es kann aber festgestellt werden, welche Hirnareale an Primingprozessen

beteiligt sind und mit welcher Art der hämodynamischen Aktivierungsveränderung (Verstärkung oder Abschwächung) Primingeffekte einhergehen.

1.8.2 Taxonomie von Primingphänomenen

Die Möglichkeit, daß neben bewussten Vorgängen der Gedächtnisverarbeitung weitere Gedächtnisphänomene existieren, wurde erst aufgrund der Ergebnisse von Patientenstudien, in denen sich Dissoziationen zwischen verschiedenen Gedächtnisaufgaben zeigten, in Betracht gezogen. Patienten mit einer sogenannten Amnesie, einer Gedächtnisstörung, die nach Läsionen des Hippocampus auftritt, können in extremen Fällen neue Gedächtnisinhalte gar nicht mehr bewusst enkodieren und abrufen (Gabrieli, 1998). Umso mehr erstaunten die ersten Studien, die demonstrierten, daß auch diese Patienten neue Informationen im Gedächtnis behalten können (eine Übersicht findet sich bei Richardson-Klavehn und Bjork, 1988). Bei ihnen zeigten sich trotz der Abwesenheit bewusster Erinnerung an Stimuli in expliziten Gedächtnisaufgaben Anzeichen für die Gedächtnisspeicherung von Informationen in Primingaufgaben. Unterschiede zwischen der Performanz in expliziten Gedächtnisaufgaben und in Primingaufgaben wurden nicht nur bei Patienten mit Amnesie, sondern auch bei gesunden Personen gefunden (z.B. Jacoby, 1983). Dort zeigten sich in experimentellen Manipulationen, die eine explizite Enkodierung der Stimuli unterbanden, weil sie etwa die Stimuli unterhalb der bewussten Wahrnehmungsschwelle darboten, dennoch Anzeichen einer Gedächtnisenkodierung.

Die Beobachtung eines Gedächtnismechanismus, der die Bewusstheit von Enkodierung und Abruf nicht benötigt, führte einige Gedächtnisforscher dazu, die Existenz mehrerer, parallel zueinander bestehender Gedächtnissysteme anzunehmen. Eine der wesentlichen Unterscheidungen zwischen verschiedenen Gedächtnissystemen nahm eine Einteilung in explizites und implizites Gedächtnis vor (Graf und Schacter, 1985). Bei expliziten Gedächtnisprozessen werden Stimuli bewusst eingepreßt und erinnert, während bei impliziten Gedächtnisprozessen unbewusste, nicht intentional gesteuerte Gedächtnisprozesse ablaufen (Schacter, Chiu und Ochsner, 1993). Explizite Gedächtnisprozesse sind von der Enkodierungstiefe der Informationen abhängig. Sie sind stärker, wenn die Stimuli tief enkodiert, z.B. im Hinblick auf ihren Sinn (semantisch) verarbeitet werden, als wenn sie nur oberflächlich, etwa rein aufgrund äußerlicher Erscheinung, enkodiert werden, während implizite Gedächtnisprozesse von dieser Manipulation weniger oder überhaupt nicht beeinflusst werden, dafür aber stärker als explizite Gedächtnisprozesse durch eine Veränderung der Darbietungsmodalität (z.B. visuell vs. verbal) beeinflusst werden (Roediger und McDermott, 1993). Priming ist nur eine Form impliziten Gedächtnisses. Es wird dabei von einigen Autoren (z.B. Gabrieli, 1998) als Gedächtnismechanismus angesehen, der schon nach einer Exposition mit dem Stimulus ablaufen und eine Speicherung der Gedächtnisinformationen über lange Zeiträume bewirken kann, dafür aber üblicherweise relativ spezifisch für einen Stimulus oder Prozess ist und nicht einfach auf andere Stimuli generalisiert; damit wurde Priming von einer weiteren Form des impliziten Gedächtnisses, dem Lernen von Fertigkeiten (Skill learning), abgegrenzt. Unter Skill Learning wird das Lernen vor allem motorischer, aber auch kognitiver und sensorischer Fertigkeiten verstanden, das mehrere Lernepisoden braucht, dafür aber sehr robust gegen

Löschung ist und auch auf andere Prozesse generalisieren kann; eine weitere Form impliziten Gedächtnisses wird in Konditionierungsphänomenen gesehen (Gabrieli, 1998).

Die Annahme, daß implizite und explizite Gedächtnisprozesse wirklich Ausdruck zweier qualitativ verschiedener Gedächtnissysteme mit unterschiedlicher neuroanatomischer Verortung sind, wurde jedoch kontrovers diskutiert. Blaxton (1989) etwa sah eine mögliche Unterscheidung zwischen implizitem und explizitem Gedächtnis nur in der Bezeichnung von Unterschieden zwischen Gedächtnisaufgaben. In dieser Sichtweise wurde stattdessen postuliert, daß impliziten und expliziten Gedächtnisphänomenen parallel ablaufende kognitive Prozesse unterliegen, die unterschiedliche Aspekte derselben Stimuli verarbeiten (z.B. Roediger, 1990). Explizites Gedächtnis lässt sich vom impliziten Gedächtnis demnach zum Beispiel durch die zusätzliche Abspeicherung der bewussten Erinnerung an die Lernepisode unterscheiden. Der sogenannte 'transfer-appropriate processing'-Ansatz (Morris, Bransford und Franks, 1977) interpretierte Gedächtniseffekte unabhängig von der Bewusstheit der zugrundeliegenden Prozesse, stattdessen aber im Hinblick auf die bei Enkodierung und Abruf bzw. Erstdarbietung und Stimuluswiederholung notwendigen kognitiven Operationen.

Ostergaard (1998) als Vertreter dieses Ansatzes etwa zeigte, daß Primingeffekte Resultat einer Interaktion der Verfügbarkeit von Stimulusinformation und den Verarbeitungserfordernissen der momentanen Primingaufgabe sein können. Er fand für eine Wortbenennungsaufgabe, in der visuell präsentierte Wörter entweder langsam eingeblendet wurden oder sofort erschienen, Unterschiede in der Stärke der Wiederholungsprimingeffekte. Bei einem sofortigen Erscheinen, das dazu führte, daß die Personen die Wörter leicht identifizieren konnten, waren die Primingeffekte kleiner als bei einer langsamen Einblendung. Ostergaard (1998) nahm an, daß bei einer langsamen Einblendung der Stimuli die Darbietung innerhalb der Primingaufgabe einen viel größeren Einfluss hatte und damit einen stärkeren Primingeffekt erzeugte als bei schnellem Erscheinen, weil aufgrund der schweren Identifizierbarkeit weniger Stimulusinformationen an sich vorhanden waren, und so der Primingeffekt mehr von der Wiederholung innerhalb der Aufgabe profitierte. Unter dieser Bedingung zeigte sich auch ein Einfluß des Zeitabstands zwischen Wiederholungen in Form einer Abschwächung des Primingeffektes bei langem Zeitabstand. Dieser Einfluß des Zeitabstandes war bei einer leichten Identifizierbarkeit der Stimuli nicht vorhanden. Ergebnisse dieser Art zeigen, daß Primingeffekte nicht einfach als ein reines Resultat von Stimuluswiederholung angesehen werden können, sondern daß sie aus einem komplexen Zusammenspiel von Stimuluseigenschaften und Aufgabenanforderungen entstehen und je nach Aufgabe und experimentellen Manipulationen ganz unterschiedliche Primingeffekte für dieselben Stimuli bestehen können.

Die Existenz zweier Gedächtnismechanismen für implizite und explizite Gedächtnismanipulationen wurde in Studien mit ereigniskorrelierten Potentialen untersucht. Rugg et al. (1998) etwa untersuchten die Verarbeitung visuell dargebotener Wörter. Sie variierten den Enkodierungsmechanismus für Wörter in oberflächliche und tiefe Verarbeitung (tiefe Verarbeitung führt in expliziten Gedächtnisaufgaben zu einer besseren Erinnerung von Stimuli, während sie in impliziten Gedächtnisaufgaben nahezu keinen Einfluß hat) und ließen dann eine Wiedererkennenaufgabe durchführen. Aus den Ergebnissen der Wiedererkennenaufgabe wurden dann ERP auf neu dargebotene Wörter, korrekt wiedererkannte Wörter und

fälschlich nicht wiedererkannte Wörter miteinander verglichen. Es zeigte sich bei 300 bis 500 ms ein parietaler Amplitudeneffekt, der Priming indizierte und auf eine reine Stimuluswiederholung unabhängig vom Wiedererkennen der Wörter und unabhängig von der Enkodierungstiefe reagierte. Im selben Zeitbereich gab es einen Amplitudeneffekt an frontalen Elektroden, der nur dann vorhanden war, wenn die Wörter bewusst erinnert wurden. Dieser Effekt wurde mit einer Vertrautheit für Wörter in Verbindung gebracht und unterschied sich nicht in Abhängigkeit von einer bewussten Erinnerung an die Enkodierungsepisode oder einem allgemeinen Gefühl von Vertrautheit mit den Wörtern.

Boehm, Sommer und Lueschow (2005) variierten den Zielstatus für wiederholte Gesichter und Wörter – ein Teil der Stimuli wurde als Ziel, welches bei Wiederholung explizit wiedererkannt werden musste, ein anderer Teil wurde wiederholt, ohne Ziel zu sein und hatte somit einen Status als Primingstimuli. Hier zeigten sich Unterschiede in den Topographien der Wiederholungseffekte für Zielgesichter und Nichtzielgesichter, aber auch für Wörter. Für Gesichter konnte ein Unterschied in der Topographie der Wiederholungseffekte bei etwa 350 ms bis 650 ms nach Stimulusbeginn zwischen Zielgesichtern und Nichtzielgesichtern gezeigt werden. Für die Nichtzielgesichter (Indikator von Priming) bestand an rechts- und linkshemisphärischen frontolateralen Elektroden ein Wiederholungseffekt, während für Zielgesichter etwa im selben Zeitbereich Wiederholungseffekte zunächst an frontalen Elektroden und später an parietalen Elektroden zu beobachten waren. Die Autoren konnten somit Hinweise darauf erbringen, daß bestimmte Effekte in impliziten Gedächtnisaufgaben wirklich andere Prozesse widerspiegeln als in bewussten Gedächtnisaufgaben.

Unter Berücksichtigung der Kontroverse im Bezug auf die Abgrenzung impliziter und expliziter Gedächtnisprozesse als Ausdruck zweier Gedächtnissysteme wird in der vorliegenden Arbeit die durchgeführte Primingmanipulation nicht als Auslöser unbewusst ablaufender Gedächtnisprozesse interpretiert, sondern die Bezeichnung Priming bezieht sich vor allem auf die experimentelle Gedächtnismanipulation. Dabei ist dann sehr wohl möglich, daß die Gesichterwiederholungen auch eine bewusste Gedächtnisspur erzeugen.

In der Einordnung von Primingphänomenen in Modelle der Gedächtnisverarbeitung wurde eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Arten von Priming getroffen. Diese unterscheiden sich sowohl in Abhängigkeit von den verarbeiteten Stimuli als auch von kognitiven Aufgaben und reflektieren Primingprozesse auf verschiedenen Ebenen der Stimulusverarbeitung. Roediger und McDermott (1993) unterschieden perzeptuelles von konzeptuellem Priming. Perzeptuelle Primingeffekte werden durch Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften der Stimuli beeinflusst und sind am stärksten, wenn derselbe Stimulus identisch wiederholt wird, wie zum Beispiel im Wiederholungspriming realisiert wird (Henson, 2003). Wiederholungspriming ist spezifisch für den präsentierten Stimulus und überträgt sich nicht auf andere Stimuli. Bei reinem Wiederholungspriming für Gesichter würde zum Beispiel kein Priming stattfinden, wenn ich das Gesicht von Hillary Clinton und danach das Gesicht ihres Ehemannes Bill Clinton sähe.

Konzeptuelle Primingeffekte werden dagegen durch die semantische, also sinnhafte Verarbeitung der Stimuli generiert. Eine Form konzeptuellen Primings ist das assoziative Priming. Beim assoziativen Priming besteht

eine Wiederholung der Stimuli nicht im Sinne ihrer Wiederholung in perzeptuell identischer Form, sondern in einer Wiederholung von Teilen ihrer semantischen Bedeutung. Bei einem assoziativen Primingeffekt würde Priming stattfinden, wenn zunächst das Gesicht von Hillary Clinton und danach das Gesicht ihres Ehemannes Bill gezeigt wird. Hier stehen die Darbietungen der Gesichter von Hillary Clinton und ihrem Mann Bill in einem semantischen Zusammenhang, da beide Personen verheiratet sind. Assoziative Primingprozesse überleben im Gegensatz zum Wiederholungspriming verschiedene Stimulusmodalitäten. So kann assoziatives Priming nicht nur ausgelöst werden, wenn die Gesichter der beiden Personen präsentiert werden, sondern auch, wenn zunächst das Gesicht von Hillary Clinton gezeigt und danach der Name Bill Clinton verbal dargeboten wird.

1.8.3 Neuroanatomische Verortung von Primingphänomenen

Die zunächst bei Patienten mit Amnesie gemachte Beobachtung von intaktem Priming bei gestörtem explizitem Gedächtnis bot Hinweise darauf, wie sich die neuronale Verortung von Priming von derer expliziter Gedächtnisprozesse unterscheiden könnte. Personen mit Amnesie haben Läsionen vor allem im Hippocampus, während Areale des Neokortex meist intakt sind. Aus diesem Grund wurde angenommen, daß Primingprozesse überwiegend in neokortikalen Arealen verortet seien, die sich je nach Stimulusmodalität und Primingprozess, z.B. perzeptuellem und semantischem Priming, voneinander unterscheiden (z.B. Gabrieli, 1998). Buckner et al. (1998) sahen Primingeffekte für visuelle Objekte in den Arealen lokalisiert, die für die Verarbeitung der Stimuli spezialisiert sind.

Koutstaal et al. (2001) untersuchten perzeptuelle Primingeffekte für visuelle Objekte wie z.B. Regenschirme im fMRT. Dabei stellten sie zwei Wiederholungsbedingungen her: in der ersten Bedingung wurden die Objekte identisch wiederholt, in der zweiten Bedingung wurde dieselbe Art von Objekt, aber in Form eines anderen Exemplars gezeigt. Es zeigten sich im Gegensatz zur Annahme von Buckner et al. (1998), die eine relativ spezifische Beteiligung weniger Hirnareale an visuellen Primingprozessen annahmen, multiple kortikale Areale (insgesamt etwa 29), die sowohl in posteriorem als auch in frontalem Kortex lagen, in Form einer verringerten Aktivierung bei Stimuluswiederholung am Priming beteiligt. Mehrere frontale, occipitotemporale und parietale Areale zeigten eine verstärkte Aktivierungsabnahme bei Wiederholung der Objekte in identischer Form im Vergleich zu ihrer Wiederholung in Form anderer Exemplare. Im Gyrus fusiformis zeigte sich dabei eine hemisphärische Interaktion. Er zeigte in der rechten Hemisphäre einen schwächeren Primingeffekt für unterschiedliche Exemplare als in der linken Hemisphäre.

Die Studie zeigt einerseits, daß möglicherweise doch ein ganzes Netzwerk kortikaler Areale eine Beteiligung an perzeptuellen Primingeffekten zeigen kann. Sie zeigt andererseits, daß dem Gyrus fusiformis in der rechten Hemisphäre wahrscheinlich eine besondere Rolle in der Gedächtnisverarbeitung stimuluspezifischer Information bei Priming zukommt. Die Orte, an denen Primingeffekte für Gesichter in fMRT-Studien lokalisiert worden sind, werden in den Kapiteln 1.8.4.1 bis 1.8.4.3 dargestellt.

Bei der neuroanatomischen Verortung von Primingphänomenen interessiert nicht nur die Beantwortung der Frage, in welchen Arealen des Kortex sie ablaufen. Es wird auch versucht, Zusammenhänge zwischen neuronalen Prozessen bei Priming, wie sie mittels direkter Ableitungen etwa in intracerebralen Potentialstudien (z.B. Allison et al., 1999) oder in der Untersuchung der Feuerungsrate von Neuronen, wie sie an Affen durchgeführt wurde (z.B. Li, Miller und Desimone, 1996), gemessen werden können, und Primingeffekten in elektrophysiologischen Korrelaten neuronaler Aktivität und in fMRT-Parametern herzustellen. Dabei werden gelegentlich die intracerebral gemessenen neuronalen Primingmechanismen direkt auf die an der Kopfoberfläche gemessenen Primingkorrelate bezogen. Wiggs und Martin (1998) etwa sahen den neuronalen Mechanismus von Primingprozessen in einer Optimierung von Stimulusrepräsentationen in neuronalen Netzwerken, die den Stimulus verarbeiten. Dabei sahen sie (Wiggs und Martin, 1998) den neuronalen Optimierungsmechanismus in einem Wegfall von Neuronenverbindungen, die redundante Stimulusmerkmale kodieren, während die Verbindungen zwischen Neuronen, die wesentliche Stimuluseigenschaften kodieren, durch die wiederholten Darbietungen gestärkt würden. Die Abschwächung hämodynamischer Aktivierung im fMRT, die oft in Primingstudien gefunden wird, sahen sie als Ausdruck dieses neuronalen Prozesses an.

Henson und Rugg (2003) zeigten Unschlüssigkeiten in solch simplifizierenden Modellen und postulierten, daß Zusammenhänge in dieser Form nicht einfach hergestellt werden können. Dabei stellt nicht nur die zeitliche Überlappung kognitiver Operationen, die in kortikalen Arealen mittels fMRT gemessen werden, ein Problem dar, sondern auch die Tatsache, daß Primingeffekte im fMRT nicht nur in einer Aktivierungsabschwächung, sondern auch in einer Aktivierungsverstärkung bestehen können, für die die Theorie von Wiggs und Martin (1998) keine Erklärung liefert (Ergebnisse zu Aktivierungsverstärkung und -abschwächung bei Gesichterpriming im fMRT werden in den Kapiteln 1.8.4.1 bis 1.8.4.3 dargestellt). Primingeffekte hängen zudem nicht nur von der reinen Stimuluswiederholung ab, sondern variieren auch mit der experimentellen Aufgabe. Dieser Effekt wurde nicht nur in Studien bei der Erfassung von Verhaltensmaßen des Priming (z.B. Ostergaard, 1998), sondern auch in fMRT-Studien gefunden (z.B. Henson, Shallice, Gorno-Tempini und Dolan, 2002). Eine eindeutige Interpretation von Primingeffekten in an der Kopfoberfläche gemessenen Parametern neuronaler Aktivität im Hinblick auf ihnen zugrundeliegende basale neuronale Mechanismen sollte deshalb nicht unbedingt vorgenommen werden.

1.8.4 Bedingungen von Effekten des Wiederholungspriming für Gesichter

In der vorliegenden Arbeit werden Gesichter in einer Wiederholungsprimingaufgabe gezeigt. Deshalb soll in den folgenden Kapiteln eine Einführung zu Effekten des Wiederholungspriming vor allem für Gesichter, aber auch anhand ausgewählter Studien für andere Stimuli gegeben werden. Die Untersuchung von Primingeffekten für Gesichter erscheint gut geeignet, um deren Gedächtnisverarbeitung zu untersuchen, da Priming die natürlichen Bedingungen, unter denen Gesichter gesehen werden, gut widerspiegelt. Gesichter

werden in natürlichen Situationen auch meist im „Vorbeigehen“ gesehen, ohne daß man sich vornimmt, sie bewusst einzuprägen, wie explizite Gedächtnisaufgaben es von den Versuchspersonen verlangen.

Wiederholungsprimingeffekte für Gesichter hängen nicht nur von der einfachen Stimuluswiederholung ab, sondern sie werden unter anderem von der Bekanntheit der Gesichter, dem zeitlichen Abstand zwischen den Gesichterwiederholungen und der Wiederholungshäufigkeit beeinflusst (z.B. Henson, Shallice und Dolan, 2000).

1.8.4.1 Bekanntheit der Gesichter

Primingeffekte für unbekannte Gesichter wurden lange Zeit als nicht existent angenommen. Man ging davon aus, daß Priming für Gesichter auf dem Niveau der Personenerkennung ablaufe (z.B. Ellis, Young und Flude, 1990). Eine solche Personenerkennung ist nach Ellis et al. (1990) nur bei bekannten Gesichtern und auch dort nur für Aufgaben, die eine Identifizierung der individuellen Personen erfordern, möglich. Eine solche Aufgabe war bei Ellis et al. (1990) eine Klassifizierung des Berufes bei Erstdarbietung und eine Bekanntheitsentscheidung bei Wiederholung, die einen Primingeffekt erzeugten. Die Autoren fanden für Geschlechtsentscheidungen und Entscheidungen über den Gesichtsausdruck kein Priming für die bekannten Gesichter. Andere Studien fanden jedoch sogar für unbekannte Gesichter Effekte des Wiederholungspriming in einer Geschlechtsentscheidungsaufgabe (z.B. Goshen-Gottstein und Ganel, 2000). Um einen solchen Effekt für unbekannte Gesichter zu evozieren, war bei Goshen-Gottstein und Ganel (2000) jedoch die holistische Verarbeitung eines Gesichts entscheidend. Wenn eine Stimulusentscheidung getroffen werden konnte, indem eine Geschlechtsentscheidung allein aufgrund der Frisur getroffen werden konnte, dann wurde kein Primingeffekt beobachtet.

Effekte des Wiederholungspriming für völlig unbekannte Gesichter werden vor allem für dieselben Aufnahmen eines Gesichts bei Erstdarbietung und Wiederholung beobachtet. Ein Primingeffekt beruht hier auf der Reaktivierung rein perzeptueller und möglicherweise auch visuell extrahierbarer semantischer Gesichtsmerkmale wie dem Geschlecht und basiert wahrscheinlich auf hoch stimulusspezifischen visuellen Repräsentationen des Gesichts (z.B. Schweinberger et al., 2002a), die auch im Sinne eines piktorialen Gedächtniseffekts, den Bruce und Young (1986) für die Wiederholung derselben Gesichtsaufnahmen annahmen, interpretiert werden können.

Primingeffekte sind für bekannte Gesichter meist stärker als für unbekannte Gesichter. Während Primingeffekte für unbekannte Gesichter in Reaktionszeiten (z.B. Henson et al., 2002) und ereigniskorrelierten Potentialen (z.B. Begleiter et al., 1995) meist nur für kurze Zeitabstände von einigen Sekunden oder wenige intervenierende Gesichter zwischen den Wiederholungen gefunden wurden und nach längeren Zeitabständen verschwanden, waren Primingeffekte für bekannte Gesichter auch für Zeitabstände von mehreren Minuten – z.B. bei Henson et al. (2002) drei Minuten – zwischen Wiederholungen zu beobachten. Primingeffekte für unbekannte Gesichter werden um 400 ms bis 600 ms an Elektroden der

Mittellinie und posterioren Elektroden, für bekannte Gesichter dagegen eher an parietalen und rechtsfrontalen Elektroden (Henson et al., 2003), aber auch an parietalen und zentralen Elektroden (Schweinberger, 1995) beobachtet. Die Primingeffekte für unbekannte Gesichter reflektieren wahrscheinlich die wiederholte Verarbeitung visuell extrahierbarer semantischer Informationen wie etwa des Geschlechts (Schweinberger, Pfützte und Sommer, 1995) und die Aktivierung kurzfristig gespeicherter Stimulusrepräsentationen, sie sollten aber auch die Verarbeitung visuell-perzeptueller Gesichtsinformation reflektieren, die benötigt werden, um Repräsentationen der Stimuli im Langzeitgedächtnis aufzubauen.

Für bekannte Gesichter reflektieren Primingeffekte nicht nur den Zugriff auf kurzfristig gespeicherte Repräsentationen aufgrund der zeitnahen Stimuluswiederholung, sondern finden auch auf der Ebene der Aktivierung von Langzeitrepräsentationen eines Gesichts statt (Henson et al., 2000) und können für persönlich bekannte oder berühmte Gesichter auch die Aktivierung *verbal* vermittelter semantischer Informationen über die Person enthalten (Henson et al., 2003). Auch bei bekannten Gesichtern werden Primingeffekte aber von der Stärke der Gedächtnisspur aufgrund der zeitnahen Wiederholung beeinflusst. Schweinberger et al. (2002) fanden für berühmte Gesichter einen Primingeffekt auf der von ihnen N250r genannten Komponente (siehe auch Kapitel 1.6.2.5), der jedoch für Wiederholungen mit einem Abstand von mehreren Minuten nicht mehr bestand. Dieser Effekt wurde an frontozentralen Elektroden vom Grad der Vertrautheit bekannter Gesichter beeinflusst (Herzmann et al., 2004) und war für persönlich bekannte Gesichter am stärksten ausgeprägt (eine ausführliche Darstellung von Wiederholungseffekten für Gesichter in Primingaufgaben in ERP ab 300 ms findet sich in Kapitel 1.6.2.6).

Die Unterschiede in Primingeffekten für bekannte und unbekannte Gesichter in ERP-Studien sind möglicherweise Ausdruck unterschiedlicher neuronaler Mechanismen des Priming für die beiden Arten von Gesichtern. Solche Unterschiede wurden in fMRT-Studien beobachtet, in denen die Art der Aktivierungsveränderung bei Primingeffekten für berühmte und unbekannte Gesichter unterschiedlich war. Henson et al. (2000) fanden bei der Wiederholung berühmter Gesichter in einer Primingaufgabe eine Abnahme der Reaktionsstärke im Gyrus fusiformis, während sie bei der Wiederholung unbekannter Gesichter eine Zunahme der Aktivierung fanden. Dieser Prozess lief in nahegelegenen Teilen des Gyrus fusiformis in gleicher Weise auch für den Vergleich bekannter mit unbekanntem Symbolen ab. Der Effekt differentieller Aktivierungsveränderung in Abhängigkeit von der Bekanntheit der Gesichter wurde in einem Gebiet des rechtshemisphärischen Gyrus fusiformis beobachtet, das eine stärkere Aktivierung für bekannte als für unbekannte Gesichter gezeigt hatte (Henson et al., 2000). In einer weiteren fMRT-Studie fand die Arbeitsgruppe um Henson (Henson, Shallice, Gorno-Tempini und Dolan, 2002) die Reaktionsabnahme im rechten Gyrus fusiformis für berühmte Gesichter nur in einer Primingaufgabe, während die Reaktionsabnahme für eine explizite Gedächtnisaufgabe nicht vorhanden war. In der Gyri occipitales inferiori der linken Hemisphäre konnten Henson et al. (2002) ebenfalls nur in der Primingaufgabe eine Reaktionsabnahme für berühmte und unbekannte Gesichter zeigen. Henson et al. (2003) fanden einen Primingeffekt für berühmte Gesichter als Verringerung der Aktivierung in *zwei* Gebieten des linkshemisphärischen Gyrus fusiformis, von denen das eine weiter posterior bei etwa -75 mm in der y-Talairachkoordinate (zum Talairachsystem siehe Kapitel 3.8.3), das andere dagegen weiter anterior bei etwa -

48 mm lag. Primingeffekte wurden in dieser Studie (Henson et al., 2003) auch im rechten occipitalen Gesichterareal und im rechten Sulcus mediofrontalis gefunden, sie bestanden allerdings gleichartig für bekannte und unbekannte Gesichter.

Die oben genannten fMRT-Studien zeigen, daß Primingeffekte für Gesichter in den Arealen des Gesichterverarbeitungsnetzwerkes (siehe Kapitel 1.5) sich in Abhängigkeit von der Bekanntheit der Gesichter unterscheiden und aufgaben- und stimuluspezifische neuronale Aktivierungsveränderungen mit variierender Lateralisierungstendenz widerspiegeln. Sie bieten aber auch einen Hinweis darauf, daß in Übereinstimmung mit der Annahme von Buckner et al. (1998) Primingeffekte für Gesichter in den Arealen ablaufen, die für die Verarbeitung eine Präferenz zeigen, da sie vor allem in Arealen, die zum neuronalen Netzwerk der Gesichterverarbeitung (siehe Kapitel 1.5.1) liegen, gezeigt wurden. Henson et al. (2000) interpretierten die Aktivierungsverstärkung für unbekannte Gesichter als Ausdruck der Bildung von Gedächtnisrepräsentationen neuer Stimuli in Arealen, in denen die Erkennung von Gesichtern abläuft. Die Aktivierungsabschwächung für bekannte und unbekannte Gesichter im occipitalen Gesichterareal interpretierten sie als Hinweis darauf, daß dort Prozesse ablaufen, die für die Verarbeitung bekannter und unbekannter Gesichter in gleicher Weise passieren und somit keine besondere Beteiligung an der Bildung von Gedächtnisrepräsentationen für Gesichter zeigen.

1.8.4.2 Zeitintervall zwischen Gesichterwiederholungen

Eine Reaktionsveränderung wird nicht durch die Bekanntheit, sondern auch durch den Zeitabstand beziehungsweise die Zahl der zwischen Wiederholungen intervenierenden Items beeinflusst (z.B. Ostergaard, 1998 für Wortpriming). Bei längerem Abstand ist eine Verkleinerung von Primingeffekten für Gesichter zu erkennen (z.B. Bentin und Moscovitch (1988) für Reaktionszeiten; Henson et al. (2000) für fMRT). Bentin und Moscovitch (1988) fanden Wiederholungspriming in einer Aufgabe, in der eine Gesicht- / Nichtgesichtsentscheidung getroffen werden musste, nur für eine unmittelbare Wiederholung der Gesichter. Ein Primingeffekt bestand allerdings auch über mehrere zwischen Wiederholungen intervenierende Gesichter, wenn die Gesichter eines oder mehrere Male vor der Primingaufgabe gesehen worden waren und die Primingaufgabe in einer Bekanntheitsentscheidung (Bezug zur präexperimentellen Gesichterdarbietung) für die Gesichter bestand. Somit zeigt sich hier eine Interaktion von Bekanntheit und Zeitintervall.

In fMRT-Studien fanden sich Primingeffekte für unbekannte Gesichter auch für längere Zeitintervalle zwischen den Präsentationen. Henson et al. (2000) untersuchten den Einfluss der Variation des Zeitintervalls bei Gesichterpriming auf die Aktivierungsveränderung im fMRT. Das Zeitintervall zwischen den Wiederholungen variierte von einem bis zu 147 Items bzw. von 8 Sekunden bis 20 Minuten. Bei Wiederholung der Gesichter zeigte sich eine Verstärkung der Reaktion für unbekannte und eine Abschwächung der Reaktion für bekannte Gesichter im rechten Gyrus fusiformis (siehe dazu auch Kapitel 1.8.4.1). Gleichzeitig wurde eine Region im fusiformen Areal beobachtet, in der sich eine Wechselwirkung zwischen dem Zeitintervall zwischen Wiederholungen und der Bekanntheit ergab: die

Aktivierungsveränderung auf bekannte Gesichter wurde bei längerem Zeitabstand stärker, die für unbekannte Gesichter hingegen nahm ab. Primingeffekte für unterschiedliche Zeitintervalle indizieren somit möglicherweise unterschiedliche neuronale Prozesse, die auch mit der Bekanntheit der Stimuli interagieren.

Im ERP wird die Komplexität der neuronalen Primingmechanismen und ihrer Abhängigkeit von Zeitintervallen weniger genau als im fMRT abgebildet. Hier zeigten sich Primingeffekte in Abhängigkeit vom Zeitintervall vor allem in einer Veränderung der quantitativen Stärke der Effekte. Henson, Rylands, Ross, Vuilleumier und Rugg (2004) untersuchten den Einfluß des Zeitabstandes zwischen Wiederholungen auf Primingeffekte für visuelle Objekte (Gesichter waren nicht unter den Stimuli). Sie variierten den Abstand zwischen den Wiederholungen in 96 Sekunden bzw. 40 intervenierende Stimuli, zwei Sekunden und vier Sekunden zwischen Wiederholungen. Sie fanden vor allem quantitative Effekte der zeitlichen Variation auf ERP, aber auch auf fMRT-Parameter. Die Aktivierungsveränderungen im fMRT und die Primingeffekte im ERP wurden mit dem größeren Abstand kleiner.

1.8.4.3 Anzahl der Gesichterwiederholungen

Primingprozesse wurden von Hauptmann und Karni (2002) vom Lernen spezifischer Fertigkeiten (Skill learning) dadurch abgegrenzt, daß sie schon bei einer Wiederholung auftreten können, während das sogenannte Skill learning (siehe Kapitel 1.8.2) mehrere Wiederholungen braucht, um Effekte zu zeigen. Die mehrmalige Wiederholung der Stimuli hat dennoch auch auf Primingeffekte unter bestimmten Bedingungen einen Einfluß. Sie führt zu einer Verstärkung von Primingeffekten. Suguira et al. (2001) fanden zum Beispiel für Gesichter von persönlich bekannten Menschen eine kontinuierliche Abnahme der Reaktivität über mehrere Darbietungen desselben Stimulus im fMRT. Henson et al. (2000) konnten im fMRT denselben Effekt für die Gesichter berühmter Personen zeigen. Dabei zeigte sich der Unterschied zwischen den Primingmechanismen für bekannte und unbekannte Gesichter (Aktivierungsabnahme für bekannte, Aktivierungsverstärkung für unbekannte Gesichter, siehe Kapitel 1.8.4.1) über fünf Wiederholungen der Gesichter. Für Symbole zeigte sich bei Henson et al. (2000) bei fünfmaliger Wiederholung eine Interaktion mit dem Lag: die differentielle Sensitivität des Lags im Sinne stärkerer Primingeffekte für kurze als lange Lags nahm mit steigender Anzahl der Wiederholungen ab.

Hauptmann und Karni (2002) untersuchten für eine visuelle Buchstabenerkennungsaufgabe Primingprozesse in Abhängigkeit von der Wiederholungshäufigkeit. Sie wiederholten die Stimuli zehnmal und führten zwei Primingsitzungen an aufeinanderfolgenden Tagen durch. Sie fanden schon in der ersten Sitzung nach sechsmaliger Wiederholung eine Sättigung von Primingeffekten im Sinne keiner weiteren Verstärkung des Primingeffektes trotz weiterer Wiederholungen. Gleichzeitig zeigte sich diese Sättigung jedoch als Bedingung für die Induktion von längerfristigen Gedächtniseffekten. Ein solcher Gedächtniseffekt zeigte sich in dieser Studie anhand einer generellen Reaktionszeitverkürzung von der ersten zur zweiten, identischen Primingsitzung. Bei einer dreimaligen Wiederholung der Primingstimuli in der ersten Primingsitzung fand dagegen noch keine Sättigung des Primingeffektes, aber auch keine generelle Reaktionszeitverkürzung zur

zweiten Sitzung statt. Die Autoren (Hauptmann und Karni, 2002) interpretierten das Saturierungsphänomen als einen initiierenden Faktor für die Entstehung von Langzeitgedächtnisspuren.

In intracerebralen Potentialstudien wurden in Primingaufgaben für Gesichter die größten Primingeffekte von erster zu zweiter Stimulusdarbietung in Potentialableitungen vom Gyrus fusiformis gesehen. Abbildung 1.9 zeigt den Effekt der achtmaligen identischen Wiederholung unbekannter Gesichter auf die Amplituden intracerebraler Potentiale im Gyrus fusiformis (Puce et al., 1999; zur genauen Messanordnung der intracerebralen Potentialstudien und zu den jeweiligen Komponenten siehe Kapitel 1.6.1).

Die Gesichter wurden bei Puce et al. (1999) im Abstand von zwei Sekunden ohne intervenierende Stimuli wiederholt. Für die N200-Amplitude (gesichterspezifisch, Indikator struktureller Enkodierung) zeigte sich vor allem von erster zu zweiter Darbietung ein Primingeffekt. Wenn dieser Unterschied aus der ANOVA über alle acht Gesichterwiederholungen entfernt wurde, so zeigte sich keine Veränderung der N200 über die Wiederholungen. Die P290 (nicht gesichterspezifisch) zeigte klare Wiederholungseffekte, aber eine Saturierung des Primingeffektes schon nach der zweiten Darbietung. Bei N700 und P350 (beide gesichterspezifisch) im anterioren Gyrus fusiformis (AP350) und im mittleren bis posterioren Gyrus fusiformis (VP350) zeigten sich zwar die deutlichsten Abnahmen ebenfalls von erster zu zweiter Darbietung, es wurde aber eine progressive Veränderung der Amplitude über die acht Darbietungen beobachtet.

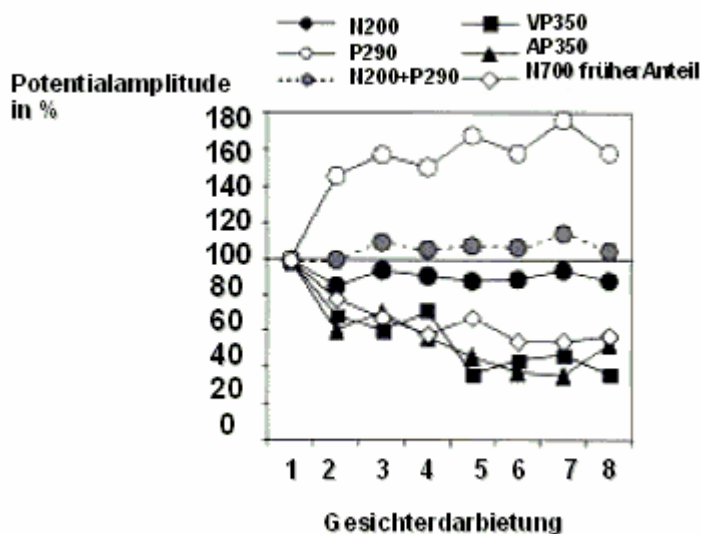


Abbildung 1.9: Einfluß von Wiederholungspriming für unbekannte Gesichter auf intracerebrale Potentiale im Gyrus fusiformis bei Menschen bei achtmaliger Gesichterwiederholung.

Die mehrmalige Wiederholung von Gesichtern erzeugte somit in intracerebralen Potentialstudien auf verschiedenen Stufen der Gesichterverarbeitung unterschiedliche Grade an Saturierung; alle Potentiale zeigten aber die deutlichste Abnahme von erster zu zweiter Darbietung. Eine Verstärkung der Primingeffekte wurde vor allem auf den späten gesichterspezifischen Verarbeitungsstufen (P350 und N700), die mit höheren kognitiven Verarbeitungsprozessen – im Gegensatz zur deutlich perzeptuell bezogenen Verarbeitung auf der

Ebene der N200 (Allison et al., 1999) – gefunden. Die in Kapitel 1.8.4.3 aufgeführten Ergebnisse lassen vermuten, daß eine häufige Wiederholung von Gesichtern nicht unbedingt in allen Primingparametern einer Studie eine kontinuierliche Verstärkung von Primingeffekten erzeugt, sondern sich differentiell auf die Veränderung der einzelnen Parameter (z.B. Reaktionszeiten, verschiedene ERP-Komponenten) auswirkt.

2 Fragestellungen und Operationalisierung

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Fragestellungen und ihre Operationalisierungen lassen sich in zwei Bereiche aufteilen. Der erste Bereich (Kapitel 2.1 und 2.2) benennt die Fragen nach Effekten der Wiederholung und der Vertrautheit von Gesichtern auf Reaktionszeiten, Fehler, ereigniskorrelierte Potentiale im EEG und ereigniskorrelierte Felder im MEG und die Operationalisierung der Untersuchung dieser Fragen. Der zweite Bereich bezieht sich auf die Dipollokalisierungen elektrophysiologischer Korrelate der Gesichterverarbeitung, die in der vorliegenden Arbeit für zeitliche frühe und spätere Komponenten in EEG und MEG durchgeführt werden sollen, und wird in den Kapiteln 2.3 und 2.4 dargestellt.

2.1 Untersuchung von Effekten der Gesichterwiederholung auf Verhaltensmaße und Parameter elektrophysiologischer Aktivität

Der Einfluß reiner Stimuluswiederholung ohne Gedächtnisinstruktion wird in Primingexperimenten untersucht. Eine Art von Primingparadigma stellt das Wiederholungspriming dar, bei dem Stimuli einmal oder mehrmals identisch wiederholt werden. Wiederholungspriming für *unbekannte* Gesichter bewirkt eine Gedächtnisverarbeitung der Gesichter auf visuell-perzeptueller Ebene und auf der Ebene der Verarbeitung von semantischen Informationen wie etwa dem Geschlecht einer Person, die aus Gesichtern anhand der rein visuellen Information extrahiert werden können. Die Untersuchung von Wiederholungspriming für zunächst völlig *unbekannte* Gesichter ermöglicht somit die Erforschung von perzeptuellen Gedächtnisprozessen für Gesichter, die ohne den zusätzlichen Beitrag verbal vermittelter semantischer Informationen evoziert werden können, wie er bei Präsentation berühmter oder persönlich bekannter Gesichter vorhanden wäre.

Effekte des Wiederholungspriming bei unbekanntem Gesichtern sind deutlich von der Wiederholung des identischen Stimulus abhängig und spiegeln stimullspezifische Effekte der Speicherung visueller Informationen wider, wie sie auch für andere Objekte gezeigt wurden (z.B. Koutstaal et al., 2001). fMRT-Studien (Henson et al., 2000; Henson et al., 2002; Henson et al., 2003; siehe Kapitel 1.8.4.1) zeigten, daß die Wiederholung von unbekanntem Gesichtern jedoch auch in Arealen wie dem Gyrus fusiformis und dem Gyrus occipitalis inferior, die als Mitglieder eines kortikalen Netzwerkes der Gesichterverarbeitung identifiziert wurden (siehe Kapitel 1.5), in Paradigmen des Wiederholungsprimings Prozesse der Aktivierungsveränderung auslöst und somit implizite Gedächtnisprozesse für Gesichter in gesichterspezifischen Arealen ablaufen. Für die Wiederholung unbekannter Gesichter wurde eine Aktivierungsverstärkung im fMRT gefunden, die mit einem graduellen Aufbau von

Langzeitgedächtnisrepräsentationen in Verbindung gebracht wurde (Henson et al., 2000). Intracerebrale Potentialstudien zeigten für die Wiederholung unbekannter Gesichter eine Veränderung von gesichterspezifischen Potentialamplituden im Gyrus fusiformis bei 350 ms und dem frühen Anteil einer N700 genannten Komponente, der zwischen etwa 500 bis 650 ms nach Beginn der Gesichterdarbietungen lag, im Sinne einer Abnahme der Negativierung bei Gesichterwiederholung (Puce et al., 1999; zu Effekten des Wiederholungspriming auf elektrophysiologische Parameter und Verhaltensmaße siehe nächster Abschnitt).

In der vorliegenden Arbeit sollen Effekte des Wiederholungspriming für zunächst unbekannte Gesichter in Reaktionszeiten, der Art der Stimulusentscheidung in der Primingaufgabe, ereigniskorrelierten Potentialen (ERP) des EEG und ereigniskorrelierten Feldern (ERF) des MEG untersucht werden.

Dabei wird zunächst die grundsätzliche Frage gestellt:

Frage 1). Hat die Wiederholung von unbekanntem Gesichtern einen Einfluß auf Reaktionszeiten, die Art der Stimulusentscheidung und bestimmte Zeitstufen von ERP und ERF?

Effekte des Wiederholungspriming für unbekannte Gesichter können in Reaktionszeiten bei Aufgaben, die eine holistische Enkodierung der Gesichter bewirken (Goshen-Gottstein und Ganel, 2000), evoziert werden. Sie bestehen in einer Reaktionszeitverkürzung bei Stimuluswiederholung im Vergleich zur erstmaligen Stimulusdarbietung. In ereigniskorrelierten Potentialen hat Wiederholungspriming bei unbekanntem Gesichtern vor allem auf Komponenten ab 300 ms einen Einfluß. Der am häufigsten replizierte Primingeffekt ist der sogenannte Wiederholungseffekt, der für unbekannte Gesichter in Form einer verstärkten Positivierung über Elektroden der Mittellinie bei Gesichterwiederholung im Zeitbereich von etwa 400 ms bis 600 ms (z.B. Henson et al., 2003) und einer verstärkten Negativierung an rechten occipitotemporalen Elektroden bei etwa 600 ms bis 700 ms gefunden wurde (Schweinberger et al., 2002a). Für ereigniskorrelierte Felder sind wahrscheinlich bislang keine Effekte der Gesichterwiederholung auf späte ereigniskorrelierte Felder publiziert.

Die folgenden Effekte der Gesichterwiederholung werden in der vorliegenden Arbeit für die einzelnen Parameter erwartet: 1a). Die Gesichterwiederholung sollte eine Verkürzung von Reaktionszeiten bewirken.

1b). In Primingaufgaben müssen Stimulusentscheidungen im Hinblick auf einen Aspekt, der nicht mit der Gesichterwiederholung assoziiert ist, getroffen werden. Deshalb sollte die Gesichterwiederholung keinen Effekt auf die Art der Stimulusentscheidung haben.

1c). Ein Wiederholungseffekt sollte sich in ereigniskorrelierten Potentialen im Sinne von Amplitudenunterschieden zwischen erstmalig dargebotenen und wiederholten Gesichtern im Bereich von 400 ms bis 600 ms und möglicherweise auch von 600 ms bis 700 ms zeigen.

1d). Das MEG misst prinzipiell Aktivität derselben neuronalen Quellen wie das EEG. Deshalb sollte sich auch im MEG in späten Zeitbereichen um etwa 400 ms bis 700 ms ein Wiederholungseffekt im Sinne einer Veränderung der Feldstärke bei Gesichterwiederholung zeigen.

In der vorliegenden Arbeit soll der Einfluß mehrerer Faktoren auf die Ausprägung von Primingeffekten in den gemessenen Parametern untersucht werden. Zunächst soll der *Einfluß des zeitlichen Abstandes zwischen Wiederholungen auf die Stärke der Primingeffekte* untersucht werden. Wiederholungsprimingeffekte werden vom Abstand zwischen Gesichterwiederholungen beeinflusst und sind bei kurzen Abständen größer als bei langen Abständen. Für lange Zeitabstände zwischen Wiederholungen von mehreren Minuten sind sie für unbekannte Gesichter bislang weniger häufig als für bekannte Gesichter gezeigt worden (z.B. Henson et al., 2003). In ereigniskorrelierten Potentialen bewirkt die Veränderung des Zeitabstandes vor allem eine quantitative Abschwächung der Stärke der Primingeffekte (Henson et al., 2004). Der Zeitabstand zwischen Wiederholungen soll in der vorliegenden Arbeit in zwei Ausprägungen variiert werden. Ein Teil der Gesichter soll nach kurzem Zeitabstand von mehreren Sekunden wiederholt werden. Ein anderer Teil der Gesichter soll nach einem längeren Zeitabstand von mehreren Minuten wiederholt werden. Daher ergibt sich die folgende Frage:

Frage 2). Wie wirkt der Einfluß des Zeitabstandes zwischen Gesichterwiederholungen auf die Stärke von Primingeffekten in Reaktionszeiten, Art der Stimulusentscheidung, ERP und ERF?

Folgende Effekte des Zeitabstandes werden für die einzelnen Primingparameter erwartet:

2a). In Reaktionszeiten zeigt sich eine Abschwächung der Primingeffekte für längere Zeitabstände zwischen Wiederholungen. Der Abstand zwischen Wiederholungen sollte somit einen differentiellen Effekt auf die Stärke des Primings haben. Für die Wiederholung im Abstand von mehreren Sekunden sollten sich klare Reaktionszeitverkürzungen als Primingeffekt zeigen. Für die Wiederholungen im Abstand von mehreren Minuten sollten sich dagegen schwächere Primingeffekte als für den kurzen Zeitabstand zeigen.

2b). Der Abstand zwischen den Wiederholungen sollte auf die Art der Stimulusentscheidung keinen Einfluß haben, da keine Primingeffekte für diesen Parameter erwartet werden.

2c). In ereigniskorrelierten Potentialen sollten sich für den kurzen Zeitabstand klare Effekte der Gesichterwiederholung im Sinne von Amplitudenveränderungen in späten ereigniskorrelierten Potentialen (siehe auch Frage 1) zeigen, während sich für den langen Zeitabstand in denselben Zeitbereichen schwächere Amplitudenveränderungen zeigen sollten.

2d). Ähnliche Effekte der Wiederholung, wie sie auf die Amplitude ereigniskorrelierter Potentiale erwartet werden, werden auch auf die Stärke ereigniskorrelierter Felder erwartet. Hier sollte sich ebenfalls eine Abschwächung von Unterschieden in der Feldstärke zwischen Gesichterwiederholungen bei langen Zeitabständen im Vergleich zu kurzen Zeitabständen ergeben.

Die Stärke und der Verlauf der Primingeffekte bei mehrmaliger Gesichterwiederholung sollen ebenfalls untersucht werden. Die häufige Wiederholung von Stimuli bewirkt in einigen Studien eine Saturierung der Primingeffekte. Intracerebrale Studien etwa fanden den stärksten Primingeffekt für Gesichter auf die Amplitudenveränderungen intracerebraler Potentiale von erster zu zweiter Darbietung (Puce et al., 1999), und in Studien mit Verhaltensmaßen zeigten sich für Buchstabenstimuli ebenfalls Effekte der Saturierung (Hauptmann und Karni, 2002), jedoch erst nach sechsmaliger Wiederholung. In Studien zum

Gesichterpriming im fMRT wurde aber auch – allerdings für bekannte Gesichter – eine kontinuierliche Verstärkung von Primingeffekten über Wiederholungen gezeigt (Henson et al., 2000). Es bleibt also offen, wie sich die mehrmalige Wiederholung auf den Verlauf der Primingeffekte in den einzelnen Primingparametern auswirkt. Zudem ist es möglich, daß sich *eine Wechselwirkung zwischen Wiederholungshäufigkeit und Zeitabstand der Wiederholungen* ergibt. Dieser Effekt wurde im fMRT für visuelle Symbole als Stimuli im Sinne eines abnehmenden Einflusses des Zeitabstandes zwischen Wiederholungen auf die Stärke der Primingeffekte für zunehmende Male der Stimuluswiederholung gezeigt (Henson et al., 2000).

In der vorliegenden Arbeit sollen dieselben Gesichter jeweils viermal wiederholt werden. Dabei soll die folgende Frage beantwortet werden:

Frage 3). Wie ist der Verlauf der Primingeffekte über die mehrmalige Wiederholung derselben Gesichter? Zeigt sich eine Verstärkung der Primingeffekte über die Darbietungen?

Frage 3) soll für alle erfassten Primingparameter untersucht werden, indem die Reaktionen auf die einzelnen Darbietungen miteinander verglichen werden. Wenn sich der Primingeffekt verstärkt, sollten sich signifikante Unterschiede zwischen den Reaktionen auf sukzessive Präsentationen ergeben, die nicht nur von erster zu zweiter Darbietung, sondern etwa auch von zweiter zu dritter Darbietung bestehen. Eine Saturierung des Primingeffektes sollte sich bei *bestehendem* Primingeffekt in keiner Tendenz zur Verstärkung trotz weiterer Wiederholungen zeigen.

Die generelle Vertrautheit mit Stimuli (Hauptmann und Karni, 2002) und die verbesserte Identifizierbarkeit von Stimuli (Ostergaard, 1998) können zu einer Abschwächung von Primingeffekten im Vergleich zu Primingeffekten für neue Stimuli oder schwer identifizierbare Stimuli führen. Sie kann jedoch auch zu einer Verstärkung von Primingeffekten im Vergleich zu unbekanntem Stimuli führen (z.B. Henson et al., 2003). Primingeffekte für bekannte und unbekannte Stimuli können zudem neuronale Prozesse unterschiedlicher Art auslösen (Aktivierungsverstärkung im fMRT für unbekannte, Aktivierungsverringern für bekannte Gesichter bei Henson et al., 2002).

In der vorliegenden Arbeit sollen Primingeffekte für zunächst unbekannte Gesichter mit den Primingeffekten für dieselben Gesichter, wenn sie visuell vertraut geworden sind, verglichen werden. Dafür soll das Primingparadigma zweimal identisch wiederholt werden. Eine visuelle Vertrautheit mit den Gesichtern soll nicht nur durch ihre Wiederholung während des Primingexperiments, sondern auch durch die Durchführung von separaten Lernsitzungen für die Gesichter hergestellt werden. Diese Lernsitzungen sollen zwischen die beiden Durchführungen des Primingparadigmas geschaltet werden, so daß die Primingeffekte bei der ersten Durchführung des Primingexperiments für völlig unbekannte Gesichter und bei der zweiten Durchführung für dieselben Gesichterstimuli, wenn sie visuell vertraut geworden sind, untersucht werden können und ein Vergleich beider Primingmessungen vorgenommen werden kann. Aufgrund der oben genannten differierenden Ergebnisse empirischer Studien zur Ausprägung von Primingeffekten in Abhängigkeit der Häufigkeit von Stimuluswiederholungen und der Bekanntheit von Stimuli werden keine festen Annahmen für die Unterschiede in Primingeffekten zwischen visuell vertrauten und neuen Gesichtern formuliert. Es ist

sowohl möglich, daß sich eine Verstärkung der Primingeffekte für die vertrauten Gesichter ergibt, es könnte aber auch eine Abschwächung der Primingeffekte bei Vertrautheit entstehen. Der Einfluß des Zeitabstandes zwischen Wiederholungen (siehe Frage 2) könnte bei wachsender Vertrautheit mit den Gesichtern verschwinden, es könnte sich jedoch auch ein gleich starker Einfluß des Zeitabstandes für unbekannte und vertraute Gesichter ergeben.

So wird die Frage nach Abhängigkeit der Primingeffekte von der Vertrautheit der Gesichter offen gestellt:

Frage 4). Unterscheiden sich die Ausprägungen der Primingeffekte in ihrer Abhängigkeit vom Zeitabstand zwischen Wiederholungen und von der Wiederholungshäufigkeit, je nachdem ob die Gesichter völlig unbekannt oder visuell vertraut sind?

Diese Frage soll für alle erfassten Primingparameter untersucht werden.

Es ist möglich, daß die differierende visuelle Vertrautheit der Gesichterstimuli nicht nur Unterschiede in den Primingeffekten erzeugt, sondern daß ein Unterschied zwischen vertrauten und unbekanntem Gesichtern sich auch schon bei den jeweils ersten Darbietungen, die unabhängig von der Wiederholung in der Primingaufgabe sind, ergibt. Ein solcher Effekt würde ein längerfristig bestehendes Korrelat visueller Vertrautheit von Gesichtern darstellen, das unabhängig von Gesichterwiederholungen innerhalb von Sekunden oder Minuten wäre.

Frage 5). Ergeben sich Unterschiede zwischen den Reaktionen auf die Gesichterdarbietungen in Messung 1, in der die Gesichter völlig unbekannt sind, und den Reaktionen auf die Darbietungen in Messung 2, in der die Gesichter visuell vertraut sind?

Diese Frage soll anhand des Vergleichs der jeweils ersten Gesichterdarbietungen, die noch nicht von der Gesichterwiederholung im Experiment beeinflusst sind, beider Durchführungen des Primingparadigmas untersucht werden.

5a). In Reaktionszeiten sollte sich der Vertrautheitseffekt in einer generellen Verkürzung der Reaktionszeiten zeigen.

5b). Für die Art der Stimulusentscheidung könnte sich ein Effekt der generellen Vertrautheit ergeben, es könnte aber auch sein, daß die Vertrautheit mit den Gesichtern keinen Einfluß auf die Art der Stimulusentscheidung hat. Die Annahmen im Bezug auf den Effekt der Vertrautheit auf die Art der Stimulusentscheidung werden somit offen gelassen.

5c). Für ereigniskorrelierte Potentiale sollte sich die Vertrautheit möglicherweise in einer Veränderung der Amplituden in späten ereigniskorrelierten Potentialen ab 300 ms zeigen. Dort wurden Unterschiede zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern gefunden. Die visuelle Bekanntheit von Gesichtern schien vor allem an posterioren Elektroden Amplitudenveränderungen im Vergleich zu unbekanntem Gesichtern zu evozieren (z.B. Paller et al., 2000). So werden diese Effekte in den ERP der vorliegenden Arbeit ebenfalls an posterioren Elektroden erwartet.

5d). Ähnliche Effekte der visuellen Vertrautheit, wie sie auf die Amplituden ereigniskorrelierter Potentiale erwartet werden, werden auch auf die Stärke ereigniskorrelierter Felder an posterioren MEG-Sensoren erwartet.

2.2 Operationalisierung der Fragestellungen zu Effekten der Gesichterwiederholung

Den Versuchspersonen werden zunächst völlig unbekannte Gesichter gezeigt. Diese Gesichter werden in einem Primingparadigma dargeboten. Die Versuchspersonen bekommen die Aufgabe, für jedes der Gesichter zu entscheiden, ob es ein Erwachsenengesicht oder ein Kindergesicht ist. Mit dieser Aufgabe soll eine holistische Enkodierung der Gesichter bewirkt werden. Dafür werden sowohl Gesichter von jungen Erwachsenen als auch Gesichter von etwa achtjährigen Kindern mehrmals wiederholt gezeigt.

Die Fragen nach dem Effekt des Zeitabstandes zwischen den Wiederholungen auf die Stärke des Primingeffektes werden untersucht, indem 50% der Gesichter nach durchschnittlich drei anderen Gesichtern wiederholt werden, was einem kurzen Zeitabstand von sechs Sekunden entspricht; die anderen 50% der Gesichter werden erst nach einem langen zeitlichen Abstand von 89 anderen Gesichtern oder 3 Minuten wiederholt.

Die Frage nach der Verstärkung von Primingeffekten durch eine häufigere Wiederholung der Gesichter und nach dem Verlauf des Primingeffektes über mehrere Wiederholungen wird untersucht, indem alle Gesichter insgesamt viermal identisch wiederholt gezeigt werden und die Reaktionen auf die einzelnen Wiederholungen miteinander verglichen werden.

Die Fragen nach der Abhängigkeit der Primingeffekte von der Vertrautheit mit den Gesichtern und nach dem Effekt der Vertrautheit unabhängig von kurzfristigen Primingwiederholungen werden untersucht, indem für die Gesichter aus dem Primingparadigma einige Zeit nach dessen Messung ein Lerntraining durchgeführt wird. Bei dem Lerntraining sollen die Gesichter möglichst intensiv verarbeitet werden, indem sie zum Beispiel im Hinblick auf ihre Attraktivität beurteilt, aber auch in Gedächtnisaufgaben bewusst erinnert werden sollen. Nach dem Ende des Lerntrainings wird das Primingparadigma nochmals völlig identisch wiederholt. Dabei bleiben sowohl die Gesichterstimuli als auch die Reihenfolge der Gesichterwiederholungen dieselben. Die Primingeffekte aus beiden Messungen – der Messung mit den völlig unbekanntem Gesichtern und der nachfolgenden Messung mit denselben Gesichtern, die vertraut sein sollten – werden miteinander verglichen.

Alle zu untersuchenden Effekte werden anhand folgender Parameter gemessen. Die Verhaltensreaktionen der Versuchspersonen bei Bearbeitung der Primingaufgabe werden anhand von Reaktionszeiten und Fehlern bei der Entscheidung der Zugehörigkeit einzelner Gesichter zur Stimulusklasse Erwachsener oder Kind

gemessen. Bei Gesichterdarbietung werden simultan EEG und MEG gemessen, aus denen ereigniskorrelierte Potentiale bzw. ereigniskorrelierte Felder gebildet werden. Im ERP und ERF werden bestimmte, aus der Literatur bekannte Komponenten und Zeitbereiche herausgesucht – P100 / M100, N170 / M170, P2 / M200 und spätere Zeitbereiche ab 300 ms bis 900 ms nach Beginn der Gesichterdarbietung – und im Bezug auf Effekte der Gesichterwiederholung auf die Amplitudenstärke untersucht. Alle Meßparameter – Reaktionszeiten und Fehler, ERP und ERF – werden auf ihre Abhängigkeit vom Zeitabstand zwischen den Gesichterwiederholungen, von der Häufigkeit der Gesichterwiederholungen und von der Vertrautheit mit den Gesichtern sowie auf Wechselwirkungen der drei Faktoren untersucht.

2.3 Fragestellungen zur Dipollokalisierung

Die N170 markiert in ereigniskorrelierten Potentialen des EEG einen zeitlich frühen, wesentlichen Verarbeitungsschritt der Gesichterwahrnehmung. Auf dieser Ebene erfolgt wahrscheinlich die strukturelle Enkodierung von Gesichtern, bei der die Einzelelemente von Gesichtern und ihre räumliche Konfiguration zueinander verarbeitet werden (z.B. Bentin und Deouell, 2002; Eimer, 2000). Die neuronalen Quellen der N170 bei Gesichterwahrnehmung wurden in mehreren Studien mittels Dipollokalisierung modelliert. Die Ergebnisse der Quellmodellierungen der N170 variierten zwischen verschiedenen Studien und reichten von der Annahme von N170-Generatoren bei Gesichterverarbeitung im Gyrus fusiformis (Rossion et al., 2003; Horowitz et al., 2004), im Gyrus temporalis inferior (Schweinberger et al., 2002), Sulcus temporalis superior (Itier und Taylor, 2004a) bis zum Gyrus occipitalis inferior (Rossion et al., 2004).

In MEG-Messungen wurde ein der N170 analoges ereigniskorreliertes Feld, in der vorliegenden Arbeit M170 genannt, an hinteren MEG-Sensoren gefunden. Die M170 wurde mit dem Erkennen von Gesichtern auf dem Niveau individueller Identität (Liu et al., 2002) und mit der konfiguralen Enkodierung von Gesichtern in Verbindung gebracht (Halgren et al., 2000). Die neuronalen Generatoren der M170 wurden konsistent über viele Lokalisationsstudien im Gyrus fusiformis beider Hemisphären lokalisiert (z.B. Sams et al., 1997; Linkenkaer-Hansen et al., 1998; Halgren et al., 2000; Hoshiyama et al., 2003). Die kombinierte Evidenz von MEG- und EEG-Studien weist daraufhin, daß eine der wesentlichen Quellen von N170 und M170 möglicherweise im Gyrus fusiformis liegt. Andere Quellorte sind ebenfalls möglich, sollten jedoch am ehesten in Arealen des Gesichteretzwerkes (Haxby et al., 2002) liegen. Ein direkter Vergleich der Quellen von M170 und N170 kann Anhaltspunkte dafür liefern, ob MEG und EEG bei 170 ms die Aktivierung derselben kortikalen Quellen oder unterschiedlicher Quellen messen. Er bietet zudem die Möglichkeit, die Plausibilität der Lokalisationsergebnisse von MEG und EEG zu untersuchen.

Einige Autoren nahmen an, daß das MEG besser geeignet sei als das EEG, die Quellen von Gyrus fusiformis-Aktivierung um 170 ms zu messen und zu lokalisieren, weil die Quellen in diesem Areal hauptsächlich tangential zur Kopfoberfläche liegen (Watanabe et al., 1999). Außerdem ermöglicht das MEG im Vergleich

zum EEG eine fokussiertere Abbildung der gemessenen Aktivierung, da die Übertragung des Magnetfeldes nur durch die Geometrie des Kopfes und nicht wie beim EEG zusätzlich durch die verschiedenen Leitfähigkeiten der das Gehirn umgebenden Medien beeinflusst wird (Hoshiyama et al., 2003). Die Frage nach der besseren Lokalisierbarkeit einer der beiden Komponenten kann jedoch mittels separater Messungen von MEG und EEG schwer beantwortet werden, da nicht ausgeschlossen werden kann, daß Unterschiede im experimentellen Design für die Unterschiede zwischen der Lokalisierbarkeit von M170 und N170 verantwortlich sind. Eine simultane Messung beider Komponenten und die anschließende Lokalisation kann jedoch einen direkten Vergleich zwischen den Lokalisationsergebnissen von N170 und M170 ermöglichen.

Für die vorliegende Arbeit ergeben sich zunächst die folgenden Fragen zur Lokalisation von N170 und M170:

Frage 6.1). An welchen neuroanatomischen Orten werden die Quellen simultan gemessener N170 und M170 für Gesichter lokalisiert?

Frage 6.2). Unterscheiden sich die Orte von N170 und M170 voneinander oder werden die Quellorte beider Komponenten im selben kortikalen Areal lokalisiert?

Zusätzlich zur Frage nach den neuronalen Quellorten von N170 und M170 sollen mehrere Fragen der Genauigkeit und Qualität einer Dipollokalisierung in MEG und EEG untersucht werden, die Punkte im methodischen Vorgehen bei einer Dipollokalisierung betreffen. Dies ist für die grundsätzliche Interpretation von Ergebnissen aus Dipollokalisierungen relevant, insbesondere um den aufgrund der vereinfachten Modellannahmen notwendigerweise bei einer Dipollokalisierung entstehenden Meßfehler besser abschätzen zu können. Die folgenden Fragen werden im Bezug auf die Lokalisationsprozeduren und die Reproduzierbarkeit von Lokalisationsergebnissen gestellt:

Frage 6.3). Führt eine physiologisch motivierte Auswahl einer Untergruppe von Messkanälen im MEG – für die M170 über occipitotemporalen Kanälen, über denen die Signale am stärksten auftreten – zu einer plausibleren Lokalisation als die Berücksichtigung sämtlicher Kanäle?

Frage 6.4). Unterscheiden sich Dipollokalisierungen der M170 in Abhängigkeit von einer Meßartefaktkorrekturmethode, der sogenannten Independent Component Analysis (ICA), so daß von einer Verbesserung der Lokalisationsergebnisse durch die zusätzliche Artefaktkorrektur ausgegangen werden kann?

Frage 6.5). Führt die Lokalisation von N170 und M170 für zwei Messungen desselben Paradigmas an denselben Versuchspersonen zu den gleichen Lokalisationsergebnissen im Bezug auf die neuroanatomischen Quellorte?

Studien zu ereigniskorrelierten Potentialen und Feldern der Gesichterverarbeitung haben nicht nur in frühen Zeitbereichen nach Stimulusbeginn wie der N170 wesentliche Schritte der Gesichterverarbeitung gefunden, sondern auch spätere Zeitbereiche im ERP sind mit wichtigen Prozessen der Gesichterverarbeitung assoziiert worden. Diese Zeitbereiche liegen vor allem um 250 ms und von 300 ms bis etwa 800 ms nach

Stimulusbeginn. Die N250r wurde mit der kurzfristigen Aktivierung perzeptueller Gesichtsrepräsentationen für bekannte Gesichter in Verbindung gebracht (Schweinberger et al., 2002). Spätere Komponenten zwischen 300 ms und 800 ms wurden als Korrelat der visuellen Vertrautheit von Gesichtern an posterioren EEG-Elektroden und des Abrufs biographischer Informationen für die den Gesichtern zugehörigen Personen an frontalen Elektroden angesehen (Paller et al., 2000). Sie zeigen nicht nur Effekte der Bekanntheit bei einmaliger Darbietung von Gesichtern, sondern unterliegen auch Einflüssen der Wiederholung von Gesichtern, Wiederholungseffekt genannt (z.B. Itier und Taylor, 2002; Henson et al., 2003).

Wenige Lokalisationsstudien haben bislang versucht, die neuronalen Quellen dieser späten Komponenten in EEG und MEG zu modellieren. Die Quellen der N250r wurden mittels Dipollokalisierungen im Gyrus fusiformis modelliert (Schweinberger et al., 2002), die Generatoren späterer Aktivierung bei 400 ms im EEG im Nucleus caudatus und im limbischen System (Mnatsakanian und Tarkka, 2004). Beide Lokalisationsstudien (Schweinberger et al., 2002; Mnatsakanian und Tarkka, 2004) modellierten Quellen der Verarbeitung *bekannter* Gesichter (berühmte Personen bei Schweinberger et al., 2002a; persönlich bekannte Gesichter bei Mnatsakanian und Tarkka, 2004), bei denen nicht eindeutig voneinander getrennt werden kann, ob die lokalisierte Aktivierung die perzeptuelle Verarbeitung der Gesichter oder die Verarbeitung semantischer Informationen, die für Gesichter persönlich bekannter oder berühmter Personen vorhanden sind, reflektiert.

Intracerebrale Potentialmessungen haben jedoch in späten Zeitbereichen nach Stimulusbeginn auch für unbekannte Gesichter gesichterspezifische Aktivierung finden können, die im vor allem im occipitotemporalen Kortex generiert wurde (z.B. Allison et al., 1999). Hier wurden P350 und N700 im Gyrus fusiformis als späte Korrelate gesichterspezifischer Verarbeitung gemessen und wurden an denselben oder ähnlichen Orten wie frühe Verarbeitung, die in intracerebralen Ableitungen um 200 ms (N200) im Gyrus fusiformis gefunden wurde (McCarthy et al., 1999; Allison et al., 1999) gemessen. Solche in intracerebralen Potentialstudien gemessenen späten Aktivierungen um 350 ms bis 700 ms müssten sich auch in ereigniskorrelierten Potentialen und Feldern an der Kopfoberfläche zeigen und sollten in Dipollokalisierungen modellierbar sein. Deshalb sollen die folgenden Fragen untersucht werden:

Frage 6.6). An welchen Orten können die Quellen simultan gemessener ereigniskorrelierter Felder und Potentiale bei Wahrnehmung unbekannter Gesichter im Bereich um 300 ms bis 700 ms lokalisiert werden?

Frage 6.7). Unterscheiden sich die Quellorte später Komponenten zwischen MEG und EEG oder messen beide Verfahren in diesen Zeitbereichen Aktivierung derselben neuronalen Quelle?

Frage 6.8). Weichen die Quellorte der späten Aktivierung von den in der vorliegenden Studie lokalisierten Quellen früher gesichtersensitiver Verarbeitung in N170 und M170 ab?

Für die in einer Dipollokalisierung gefundenen Orte neuronaler Generatoren lassen sich bei Anwendung der Quellorte auf die ERP- und ERF-Daten die Quellstärken der Dipole berechnen. Dieses Vorgehen wurde etwa bei Halgren et al. (2000) für MEG und Mnatsakanian und Tarkka (2004) zur Untersuchung von Unterschieden in der Quellstärke zwischen verschiedenen experimentellen Bedingungen, etwa von Veränderungen der Quellstärke bei Wiederholung persönlich bekannter Gesichter (Mnatsakanian und Tarkka,

2004) eingesetzt. Unterschiede in der Quellstärke bei Gesichterwiederholung wurden vor allem in späten Zeitbereichen, bei Mnatsakanian und Tarkka (2004) etwa im Bereich von 400 ms bis 600 ms auch im Gyrus fusiformis für eine Quelle mit maximaler Aktivierung um 160 ms gefunden. In der vorliegenden Arbeit sollen die Quellstärken der in MEG und EEG lokalisierten Aktivität zwischen 300 ms und 700 ms auf Effekte des Wiederholungspriming untersucht werden. Dabei sollen die folgenden Fragen untersucht werden:

Frage 6.9). Zeigen sich Effekte der Gesichterwiederholung im eingesetzten Primingparadigma (siehe Kapitel 3.2) auf die Quellstärken später ereigniskorrelierter Felder und Potentiale in Messung 1 und 2?

Frage 6.10). Unterscheiden sich die Veränderungen in der Quellstärke zwischen den Gesichterwiederholungen mit kurzem und langem Lag?

Frage 6.11). Zeigen sich Unterschiede in der Quellstärke zwischen Messung 1 und 2, die auf einen Effekt der visuellen Vertrautheit mit den Gesichtern, die in Messung 2, nicht aber in Messung 1 besteht, auf die Stärke dipolarer Aktivität in den späten Zeitbereichen schließen lassen?

Frage 6.12). Unterscheiden sich die Effekte des Primings in Abhängigkeit von der Vertrautheit der Gesichter zwischen Messung 1 und Messung 2?

2.4 Operationalisierung der Fragestellungen zur Dipollokalisierung

Den Versuchspersonen werden unbekannte Gesichter gezeigt. Während der Gesichterpräsentationen werden simultan MEG und EEG gemessen. Aus EEG und MEG werden ereigniskorrelierte Potentiale und Felder berechnet. Aus den ERP und ERF werden N170 und M170 zunächst als Zeitbereiche für die Dipollokalisierungen ausgewählt. Die Lokalisierungen werden für die MEG- und EEG-Daten jeder einzelnen Versuchsperson durchgeführt. Zur Bestimmung des neuroanatomischen Ortes der in den Dipollokalisierungen modellierten Quellen von N / M170 (Frage 6.1) werden von allen Personen strukturelle magnetresonanztomographische Aufnahmen des Gehirns gemacht (MRT), auf die die Dipolorte aus den Lokalisierungen projiziert werden, so daß die neuronatomischen Quellorte ermittelt werden können.

Um eine Aussage über die Quellorte von N / M170 auf dem Niveau der Gesamtgruppe der Versuchspersonen treffen zu können, werden Gruppenmittelwerte der Dipolkoordinaten gebildet und deren Positionen in einem Standardgehirn bestimmt. Die Ergebnisse der verschiedenen Lokalisierungen im Bezug auf den Unterschied der Quellorte von M170 und N170 (Frage 6.2) werden untersucht, indem die Ortspositionen der Dipole anhand dreidimensionaler Koordinatenwerte quantifiziert werden und Unterschiede in den Werten der dreidimensionalen Ortskoordinaten zwischen MEG und EEG für die Gruppe der Versuchspersonen statistisch geprüft werden. Die methodischen Fragen (6.3), (6.4) und (6.5) zur Qualität und Reproduzierbarkeit der Dipollokalisierungen werden untersucht, indem die Dipollokalisierungen auf verschiedenen Datensätzen, die an

denselben Personen gemessen werden, durchgeführt werden und die Lokalisationsergebnisse miteinander verglichen werden.

Frage 6.3) nach Unterschieden in der Lokalisierbarkeit von MEG-Aktivität für eine Auswahl von Meßsensoren und alle Meßsensoren wird untersucht, indem zunächst die Quellen der M170 für die MEG-Daten aller Meßkanäle modelliert werden. Danach wird die Lokalisation für denselben MEG-Datensatz ausgeführt, dabei werden jedoch nur die MEG-Sensoren am Hinterkopf, an denen das Feld der M170 am stärksten ist, in die Lokalisation einbezogen. Die beiden Lokalisationsansätze werden im Hinblick auf die Orte der Dipole und ein Maß der Qualität von Lokalisationen, das Goodness of Fit genannt wird und die durch das Quellenmodell erklärte Varianz in den MEG- oder EEG-Daten angibt, verglichen.

Frage 6.4) nach dem Einfluß einer Artefaktkorrekturmethode (ICA) auf die Qualität der Lokalisationsergebnisse wird untersucht, indem die Lokalisationen der M170 auf den gleichen MEG-Datensätzen mit und ohne vorherige ICA-Artefaktkorrektur durchgeführt und in ihren Ergebnissen miteinander verglichen werden. Der Vergleich findet im Hinblick auf die Orte der M170 und den Goodness of Fit-Wert statt.

Zur Untersuchung von Frage 6.5) nach der Reproduzierbarkeit der Lokalisationsergebnisse wird dasselbe Paradigma an denselben Versuchspersonen zweimal gemessen und die Lokalisationen werden für beide Messungen durchgeführt. Die Lokalisationsergebnisse werden dann im Hinblick auf die Orte der dipolaren Quellen und die Qualität der Lokalisationen statistisch miteinander verglichen.

Die Dipollokalisierungen von M400 und N400 werden in derselben Weise wie die Lokalisationen von M170 und N170 für die Einzelpersonen anhand der Daten von Messung 1 durchgeführt, und die Orte der Dipole werden in die individuellen Gehirnaufnahmen projiziert, so daß die Quellorte von N400 und M400 für jede Person bestimmt werden können (Frage 6.6). Dann wird ein Gruppenmittelwert der Dipolkoordinaten gebildet, um so eine Aussage über die Quellorte von N400 und M400 auf Gruppenebene treffen zu können. Die Dipollösungen werden für die Ortskoordinaten und die Goodness of Fit-Werte im Hinblick auf Unterschiede der Quellorte zwischen MEG und EEG miteinander verglichen (Frage 6.7). Die Dipolkoordinaten der M400 werden mit den Lokalisationsergebnissen der M170 verglichen, und die Koordinaten der N170 werden mit den Lokalisationsergebnissen der N170 statistisch verglichen, so daß eine Aussage über Unterschiede in den Orten von Gesichteraktivität bei 170 ms und 300 ms bis 700 ms getroffen werden kann (Frage 6.8).

Die Fragen 6.9) bis 6.12) werden anhand der Untersuchung der Quellstärken der Aktivität von N400 und M400 untersucht. Hierzu werden unter Konstanthaltung der Dipolorte, die sich als Ergebnis der Dipollokalisierungen der N400- und M400-Aktivität für Messung 1 ergeben, für jede Person und die einzelnen Bedingungen der Gesichterwiederholung in Messung 1 und 2 die Quellstärken von MEG- und EEG-Aktivität berechnet. Die Untersuchung der Quellstärken wird für die jeweils vier Gesichterwiederholungen mit kurzem und langem Lag und die Messungen 1 und 2 vorgenommen. Als Maß der Quellstärke wird die mittlere Stärke der Quellaktivität zum Zeitpunkt der maximalen Passung des Dipolmodells an die MEG- und EEG-Daten und einen Zeitbereich von ± 25 ms um diesen Zeitpunkt für jede Person individuell errechnet. Die

Quellamplituden werden dann zwischen verschiedenen experimentellen Bedingungen und zwischen Messung 1 und 2 verglichen.

3 Methode

Im folgenden Kapitel werden alle Untersuchungs- und Auswertungsmethoden der vorliegenden Arbeit dargestellt.

3.1 Stichprobe

An den Experimenten nahmen zwölf gesunde Personen (4 Männer und 8 Frauen) im Alter von 19 bis 35 Jahren teil (Mittelwert (M) = 25.9 Jahre, Standardabweichung (SD) = 3.8 Jahre). Zehn der zwölf Personen durchliefen die gesamte Messreihe, die aus Messung 1, den Lernsitzungen 1 und 2 und Messung 2 bestand. Zwei Personen nahmen nur an Messung 1 teil, so daß die Stichprobe sich für die beiden Lernsitzungen und Messung 2 auf 10 Personen (6 Frauen, 4 Männer, Alter: M = 26.3 Jahre, SD = 3.9 Jahre) reduzierte. Die Händigkeit der Personen wurde mündlich erfragt. Dabei gaben alle Personen an, Rechtshänder zu sein. Für die Teilnahme an den Experimenten wurden Aufwandsentschädigungen von jeweils 25 Euro für Messung 1 und 2, 10 Euro für jede der Lernsitzungen und 25 Euro für die magnetresonanztomographische Aufnahme (MRT) gezahlt. Das Studiendesign wurde von der Ethikkommission der Charité genehmigt.

3.2 Stimuli und experimentelle Aufgabe

Die Stimuli wurden aus einem digitalisierten Archiv mit schwarz-weiß Fotografien von Gesichtern unbekannter Personen zufällig ausgewählt (Fotograf: Walter Endl). Die Personen auf den Fotografien sind in Frontalansicht aufgenommen und tragen weder Bart noch Brille oder andere Accessoires. Aus der Datenbank wurden 300 Gesichter von Männern und Frauen im Alter von 20 bis 35 Jahren und 80 Gesichter von Jungen und Mädchen im Grundschulalter ausgesucht. Das Geschlecht der Gesichter variierte nicht systematisch. Die Gesichter wurden am Computer so nachbearbeitet, daß die Frisuren auf den Fotos möglichst nicht mehr zu sehen waren. Beispiele für die Erwachsenen und Kindergesichter werden in Abbildung 4.1 gezeigt.

Primingprozesse werden in Aufgaben, die keine bewussten Gedächtnisprozesse experimentell evozieren, untersucht. Deshalb wurde für die Versuchspersonen keine Aufgabe, in der die Gesichter bewusst eingepreßt oder wiedererkannt werden mussten, konstruiert, sondern es wurde eine Aufgabe gewählt, die eine genaue Betrachtung der Gesichter unabhängig von ihrer bewussten Gedächtnisverarbeitung erforderte. Diese

Aufgabe war die Entscheidung, ob ein Gesicht von einem Kind oder einem Erwachsenen war. Die Versuchspersonen sollten nach getroffener Entscheidung so schnell wie möglich eine von zwei Reaktionstasten drücken, die den beiden Entscheidungen zugeordnet waren (zur Messanordnung der Tastenreaktionen siehe Kapitel 3.6.5).

3.3 Versuchsplanung

Das im folgenden dargestellte Versuchsdesign bezieht sich auf das Gesichterprimingexperiment, das in Messung 1 und Messung 2 identisch wiederholt wurde.

3.3.1 Unabhängige Variablen (Faktoren)

Im Gesichterprimingparadigma wurden die unabhängigen Variablen ‚Wiederholung‘ und ‚Lag‘ variiert. Jedes der 300 Erwachsenengesichter wurde viermal identisch dargeboten. Um den Effekt der Gesichterwiederholungen auf die abhängigen Variablen zu untersuchen, wurde jede der vier Präsentationen (1., 2., 3., 4. Präsentation) als eine Stufe des Faktors ‚Wiederholung‘ definiert.

Der Zeitabstand (Lag) zwischen den viermaligen Wiederholungen desselben Gesichts wurde in zwei Ausprägungen variiert: 150 Erwachsenengesichter wurden immer nach 3 anderen (intervenierenden) Gesichtern wiederholt. Dieser Abstand entspricht sechs Sekunden zwischen Wiederholungen und stellt die Bedingung ‚kurzes Lag‘ dar. Für die anderen 150 Erwachsenengesichter betrug der Abstand 90 intervenierende Gesichter oder 180 Sekunden. Diese Bedingung wird ‚langes Lag‘ genannt.

Für die Gesichterpräsentationen mit langem Lag vergingen von erster bis zu vierter Darbietung 9 Minuten. Dieser Zeitabstand war zu lang, um alle viermaligen Darbietungen mit langem Lag ohne Pause realisieren zu können. Aus diesem Grund fanden die Gesichterwiederholungen mit langem Lag *entweder* nach 90 intervenierenden Gesichtern *oder*, wenn die Pausen zwischen den Wiederholungen lagen, nach 180 Sekunden Zeitabstand statt. Dabei wurden 91% der Gesichter einmal im Experiment mit zeitlicher Pause (statt nur intervenierender Gesichter) wiederholt, und 9% der Gesichter wurden insgesamt zweimal in ihren Wiederholungen von einer zeitlichen Pause unterbrochen. Für jedes der 300 Erwachsenengesichter war der *durchschnittliche* Abstand zwischen allen vier Darbietungen derselbe. Um jedoch einen identischen Abstand für alle Wiederholungen eines bestimmten Gesichts zu verhindern - dadurch wäre die Reihenfolge der Gesichterpräsentationen für die Versuchspersonen vorhersagbar geworden - wurde für beide Lags eine Variation von +/-1 Gesicht um das durchschnittliche Lag eingeführt. Ein Beispiel für diese Variation wird für die viermalige Darbietung eines Gesichts mit kurzem Lag in Abbildung 3.1 gegeben.

Für die Wiederholungen wurden alle möglichen Reihenfolgen der Anzahl intervenierender Gesichter gleichhäufig realisiert (z. B. für das kurze Lag: Gesicht A – 2 intervenierende Gesichter – A – 3 intervenierende – A – 4 intervenierende – A; eine weitere mögliche Reihenfolge der Anzahl intervenierender Gesichter ist: A – 3 intervenierende – A – 4 intervenierende – A – 2 intervenierende Gesichter). Die zwei Variationen des Lags wurden zudem gleichmäßig über das Experiment verteilt.

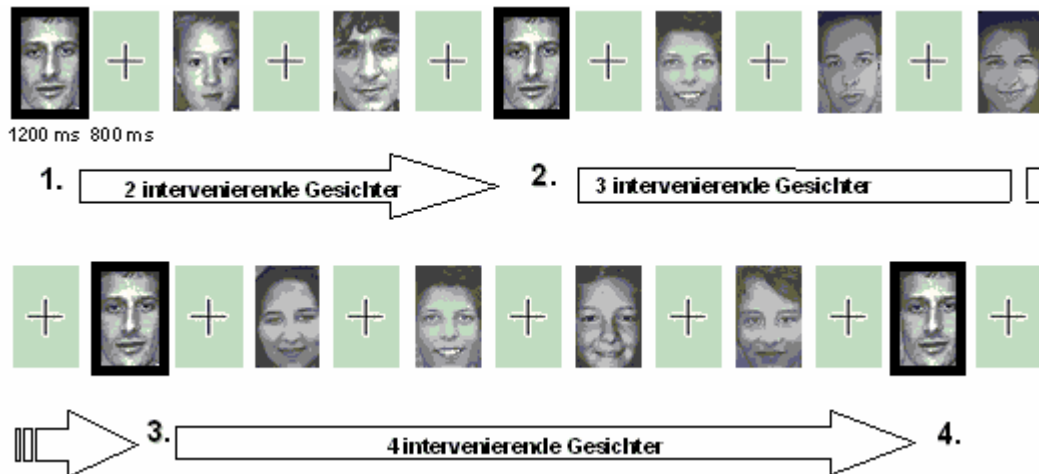


Abbildung 3.1: Wiederholung eines Gesichts mit kurzem Lag.

Die unabhängige Variable ‚Messung‘ wurde eingeführt, um Unterschiede im Einfluß von ‚Wiederholung‘ und ‚Lag‘ auf die abhängigen Variablen in Abhängigkeit von der Bekanntheit der Gesichter zu untersuchen. Das Gesichterprimingexperiment wurde dazu zweimal identisch wiederholt (Messung 1 und 2). In Messung 1 waren die Gesichter den Versuchspersonen völlig unbekannt, während sie in Messung 2 durch die Präsentationen in Messung 1 und in den Lernsitzen 1 und 2 bekannt waren. Jede der beiden Messungen stellt eine Stufe der unabhängigen Variable ‚Messung‘ dar.

Bei der Auswertung der EEG-Daten wurde die Frage untersucht, ob sich der Einfluß der experimentellen Manipulation an verschiedenen Ableitungsorten über dem Kortex differentiell zeigte. Deshalb wurden nebeneinander liegende Elektroden zu Elektrodengruppen zusammengefaßt und die verschiedenen Elektrodengruppen als einzelne Faktorstufen in die EEG-Auswertung einbezogen. Die einzelnen Elektrodengruppen sind in Kapitel 4.3 genannt.

3.3.2 Versuchsplan

Die Faktoren ‚Wiederholung‘ (4 Stufen) und ‚Lag‘ (2 Stufen) sind beide meßwiederholt. Sie wurden vollständig miteinander kombiniert, so daß sich für das Gesichterprimingexperiment $4 * 2 = 8$ Bedingungskombinationen ergaben. Da beide Variablen meßwiederholt waren und die Stichprobe in Messung 1 $N = 12$ Personen (N : Anzahl der insgesamt teilnehmenden Versuchspersonen) umfasste, befinden sich in

jeder der Bedingungskombinationen ebenfalls $n = 12$ Personen (n : Anzahl der Personen pro Bedingung). Der Versuchsplan wird in Abbildung 3.2 gezeigt.

Kurzes Lag (mit K bezeichnet)				Langes Lag (mit L bezeichnet)			
1. Darbietung (K1)	2. Darb. (K2)	3. Darb. (K3)	4. Darb. (K4)	1. Darbietung (L1)	2. Darb. (L2)	3. Darb. (L3)	4. Darb. (L4)
$n = 12$	$N = 12$	$n = 12$	$N = 12$	$n = 12$	$n = 12$	$n = 12$	$n = 12$

Größe der Gesamtstichprobe: $N = 12$

Abbildung 3.2: Versuchsplan für das Primingexperiment in Messung 1.

Der Versuchsplan für Messung 2 unterscheidet sich zum Plan für Messung 1 nur in der Zellbesetzung (n), die aufgrund der Verringerung der untersuchten Stichprobe von 12 auf 10 Personen ($N = 10$) jeweils ein n von 10 hat.

3.3.3 Abhängige Variablen

Während der Messungen 1 und 2 wurden simultan Elektroenzephalogramm (EEG), Magnetenzephalogramm (MEG) und Tastendruckreaktionen gemessen.

3.3.3.1 Ereigniskorrelierte Potentiale (ERP)

Durch stimulusbezogene Mittelung des EEG wurden ereigniskorrelierte Potentiale gebildet. An EEG-Elektroden über linker und rechter Hemisphäre zeigten sich charakteristische zeitliche ERP-Verläufe, die von 100 ms bis 250 ms nach Beginn der Gesichtsdarbietung steil ansteigende und abfallende Negativierungen und Positivierungen (Peaks) hatten. Nach diesen Peaks traten länger andauernde Positivierungen und Negativierungen auf, die sich über mehrere hundert Millisekunden erstreckten. Die folgenden ERP-Komponenten wurden im Hinblick auf Unterschiede in Peakamplituden zwischen den experimentellen Bedingungen untersucht:

P100: Als P100 wurde der Peak im Zeitbereich zwischen 80 ms und 120 ms nach Beginn der Gesichtsdarbietung definiert. Dieser Peak hat an posterioren (occipitalen, parietalen und occipitotemporalen) Elektroden eine positive Polarität und ist am stärksten ausgeprägt an occipitalen Elektroden.

N170: Als N170 wurde der an posterioren Elektroden negative und an anterioren Elektroden positive Peak zwischen 130 ms und 190 ms definiert. Die Amplitude der N170 ist an occipitotemporalen Elektroden am größten.

P200: Als P200 wurde der an posterioren Elektroden positive und an anterioren Elektroden negative Peak im Zeitbereich von 190 ms bis 230 ms ermittelt, dessen Amplitude wie die der N170 an occipitotemporalen Elektroden am größten ist.

ERP ab 300 ms: Da sich ab etwa 300 ms in den ERP keine klaren Peaks mehr zeigten, sondern Positivierungen oder Negativierungen mit einer Dauer von bis zu mehreren 100 ms vorherrschten, wurden Amplitudenmittelwerte über längere Zeitbereiche gebildet. Dabei wurde von 300 ms bis 1000 ms über Zeitfenster von 100 ms oder mehreren hundert Millisekunden Breite gemittelt. Die genauen Zeitbereiche der Untersuchung wurden aufgrund der visuellen Betrachtung der ERP-Kurven ermittelt und sind im ERP-Ergebnisteil der vorliegenden Arbeit genannt.

Die Polarität aller untersuchten ERP-Komponenten kehrt sich an zentralen, frontozentralen, temporofrontalen und frontalen Elektroden im Vergleich zu den occipitalen, occipitotemporalen und parietalen Elektroden um. Um trotzdem einen Vergleich der Peaks über alle Elektroden durchführen zu können, wurden für den statistischen Vergleich die Peakamplituden frontaler und zentraler Elektroden mit -1 multipliziert.

3.3.3.2 Ereigniskorrelierte Felder (ERF)

Aus dem kontinuierlich aufgezeichneten MEG wurden durch stimulusbezogene Mittelungen ereigniskorrelierte Felder gebildet. Diese Felder waren den ereigniskorrelierten Potentialen in Latenz und Ort, an dem sie am Kopf gemessen werden, relativ ähnlich. Sie traten an links- und rechtshemisphärischen posterioren MEG-Sensoren auf. Die folgenden ereigniskorrelierten Felder wurden untersucht:

M100: Die M100 zeigte sich zwischen 90 ms und 120 ms an Sensoren über der rechten und linken Hemisphäre.

M170: Die M170 war das ereigniskorrelierte Feld, das auf die M100 folgte (in manchen Fällen zeigte sich im MEG allerdings ein weiteres Feld mit 120 ms bis 130 ms Latenz). Die Latenz der M170 lag zwischen 130 ms und 190 ms.

M200: Die M200 war das Feldmuster, das auf die M170 folgte. Die Latenz der M200 lag zwischen 190 ms und 250 ms.

Für M100, M170 und M200 wurden Peakamplituden als Maße der Feldstärke ausgewertet.

ERF ab 300 ms: Für die Auswertung späterer Zeitbereiche wurden zwischen 300 ms und 1000 ms nach Beginn der Gesichterdarbietung wie auch im EEG Amplitudenmittelwerte über Zeitfenster von 100 ms und mehreren hundert Millisekunden berechnet, da sich in diesen Zeitbereichen keine klaren Aktivierungspeaks

mehr zeigten, sondern länger anhaltende Veränderungen des Magnetfeldes auftraten. Wie im EEG wurde in der MEG-Auswertung für alle untersuchten Komponenten die Polarität zwecks Vergleichbarkeit angepasst.

3.3.3.3 Reaktionszeiten

Aus den Tastenreaktionen der Versuchspersonen, die auf die Darbietungen der Erwachsenengesichter hin erfolgten, wurde auf Stimulusbeginn bezogen für jede der experimentellen Bedingungen die mittlere Reaktionszeit berechnet. In die Reaktionszeitberechnung wurden *alle* Antworten, die zwischen 200 ms und 190 ms nach Stimulusbeginn gegeben wurden, einbezogen.

3.3.3.4 Fehler

In der Auswertung der Fehler wurde die Übereinstimmung zwischen der Entscheidung der Versuchspersonen über Erwachsenen- oder Kindergesicht (zur experimentellen Aufgabe siehe Kapitel 2.2 und 2.4) und der wirklichen Zugehörigkeit des Gesichts zu einer von beiden Kategorien betrachtet. Dabei wurden sowohl Entscheidungen der Personen für die Kategorie Kindergesicht, wenn das Gesicht in Wirklichkeit zur Kategorie Erwachsener gehörte, als auch Entscheidungen für die Kategorie Erwachsenengesicht, wenn das Gesicht zur Kategorie Kindergesicht gehörte, in die Auswertung einbezogen. Die Anzahl der richtigen Antworten wurde von der Gesamtzahl gültiger Antworten - dies waren alle Antworten, die zwischen 200 ms und 1900 ms nach Gesichterdarbietung gegeben wurden - abgezogen. Schließlich wurde der Prozentsatz der richtigen an den insgesamt gültigen Antworten berechnet.

3.4 Aufbau des Gesichterprimingexperiments

Jedes von 300 Erwachsenengesichtern wurde in jeder Messung des Primingexperiments viermal dargeboten, so daß insgesamt in jeder der beiden Durchführungen des Primingparadigmas 1200 Darbietungen von Erwachsenengesichtern stattfanden. Zusätzlich zu den Erwachsenengesichtern wurden 80 Kindergesichter gezeigt. Die Kindergesichter wurden wie auch die Erwachsenengesichter wiederholt, der Abstand zwischen ihren Wiederholungen wurde jedoch nicht systematisch variiert. Sie wurden stattdessen als Füllitems auf von Erwachsenengesichtern unbesetzte Bildpositionen im Experiment gesetzt. Diese entstanden dadurch, daß die Abstände zwischen den Wiederholungen der Erwachsenengesichter genau festgelegt waren. Insgesamt fanden im Experiment 294 Präsentationen von Kindergesichtern statt. Jedes der 80 Kindergesichter wurde etwa 3 bis 4 mal gezeigt. Bei der Platzierung der Kindergesichter wurde darauf geachtet, daß sie in ähnlichen

Abständen wie die Erwachsenengesichter wiederholt wurden, um nicht eine Unterscheidung Kinder- oder Erwachsenengesicht allein aufgrund des Wiederholungsabstandes im Experiment treffen zu können, auch wenn eine Entscheidung aufgrund der Wiederholungshäufigkeit, die für die Erwachsenengesichter größer war, nicht ausgeschlossen werden konnte. Bei gleich großer Anzahl von Erwachsenen- und Kindergesichtern hätte sich die Länge des Experimentes jedoch nahezu verdoppelt.

Jedes Gesicht wurde für 1200 ms gezeigt, und zwischen den Gesichterdarbietungen erschien für durchschnittlich 800 ms (randomisiert zwischen 300 ms und 1000 ms) ein schwarzes Fixationskreuz auf hellgrauem Hintergrund. Das Fixationskreuz, das die Personen anschauen sollten, war dort platziert, wo das nächste Gesicht gezeigt werden würde und diente dazu, die Augenbewegungen der Versuchspersonen zu verringern. Die Gesamtdauer aller Gesichterdarbietungen betrug inklusive der Darbietungen des Fixationskreuzes etwa 49 Minuten.

Da diese Zeit zu lang war, um alle Stimuli ohne Pause zeigen zu können, wurden Pausen eingeführt, die so lagen, daß trotzdem die festen Zeitabstände (Lagvariation) für die Gesichterwiederholungen eingehalten wurden. Die Gesamtheit der Gesichterpräsentationen wurde dazu zunächst in zwei Hälften aufgeteilt. In jeder der beiden Hälften wurden 75 Erwachsenengesichter mit kurzem Lag und 75 Erwachsenengesichter mit langem Lag mit allen ihren vier Wiederholungen gezeigt. Zwischen den beiden Experimenthälften wurde eine längere Pause gemacht, deren Dauer die Versuchspersonen bestimmen konnten. Jede der beiden Hälften bestand aus 5 Blöcken, in denen die Gesichter in Folge gezeigt wurden. Die einzelnen Blöcke waren durch Pausen von 90 Sekunden voneinander getrennt. Das Experiment bestand insgesamt somit aus 10 Blöcken. Jeder Block umfasste die Darbietung von circa 150 Gesichtern (Block 1, 2, 6 und 7: 150 Gesichter, Block 3 und 8: 146, Block 4 und 9: 152, Block 5 und 10: 149) und dauerte 5 Minuten.

3.5 Aufbau der Lernsitzungen für die Gesichter

In Messung 1 und 2 sollten neben den reinen Wiederholungseffekten im Primingexperiment auch Unterschiede in der Stärke von Priming für Gesichter untersucht werden, die aus einem unterschiedlichen Grad der Bekanntheit der Gesichter resultierten. Die Gesichter waren bei ihrer Präsentation in Messung 1 völlig unbekannt. In Messung 2 sollten sie den Versuchspersonen vertraut sein. Um diese Vertrautheit herzustellen, wurden zwischen Messung 1 und Messung 2 die Gesichter in zwei Lernsitzungen gezeigt. In diesen Sitzungen wurden keine semantischen Informationen wie etwa Name oder Beruf für die Gesichter gegeben, sondern die Gesichter sollten besonders intensiv visuell verarbeitet werden. Dazu wurden mehrere Aufgaben konstruiert, in denen alle Gesichter unter verschiedenen Aufgabenstellungen betrachtet werden sollten.

In der ersten Lernsitzung wurde eine sogenannte One-Back-Aufgabe für die Gesichter gestellt. In einer solchen Aufgabe soll für den jeweils gezeigten Stimulus entschieden werden, ob er mit dem direkt vorher

gezeigten Stimulus identisch ist. Die Personen sollten diese Entscheidung für jedes Gesicht so schnell wie möglich treffen und dann eine von zwei Reaktionstasten, die mit linkem und rechtem Zeigefinger bedient wurden, drücken. Jedes Gesicht wurde für 1000 ms gezeigt, und zwischen den Gesichterdarbietungen wurde für 600 ms ein Fixationskreuz dargeboten. In dieser Aufgabe wurde jedes der 300 Gesichter viermal gezeigt. Die Aufgabe war in Blöcke geteilt, die durch kurze Pausen voneinander getrennt waren. In der zweiten Lernsitzung sollte eine Alt-Neu-Entscheidung für die Gesichter getroffen werden. Dabei sollte für jedes Gesicht entschieden werden, ob es irgendwann während der Alt-Neu-Aufgabe (also nicht in den vorherigen experimentellen Sitzungen) schon einmal gesehen worden war. Auch hier wurde jedes Gesicht viermal für jeweils 1000 ms gezeigt und zwischen den Gesichterdarbietungen das Fixationskreuz für 600 ms dargeboten.

Nach der Alt-Neu-Entscheidung wurde jedes Gesicht ein weiteres Mal für die Dauer von 1600 ms gezeigt, und die Personen sollten für jedes Gesicht beurteilen, ob es ihnen eher sympathisch oder weniger sympathisch war. Zwischen den Bilddarbietungen wurde das Fixationskreuz für 600 ms gezeigt. Am Tag von Messung 2 wurden zu Beginn nochmals die Gesichter in derselben Weise wie in der Sympathieentscheidung gezeigt, die Versuchspersonen sollten diesmal aber ihre Attraktivität beurteilen.

So hatten die Versuchspersonen vor Beginn des Primingexperiments von Messung 2 jedes der 300 Erwachsenengesichter insgesamt vierzehnmal gesehen. Abbildung 3.3 zeigt schematisch den Ablauf der gesamten Experimentreihe. Messung 1 war von den übrigen Experimentteilen durch drei Monate Zeit getrennt. Die anderen Teile (Lernsitzungen 1 und 2, Messung 2) fanden an aufeinanderfolgenden Tagen statt.

Messung 1	Lernsitzung 1	Lernsitzung 2	Messung 2
- Primingexperiment mit völlig unbekanntem Gesichtern mit MEG-, EEG- und Verhaltensmessung 3 ½ – 4 Stunden	One-Back-Aufgabe 1 Stunde	- Alt-Neu-Entscheidung - Sympathieentscheidung 1 Stunde	- Attraktivitätsentscheidung - Primingexperiment mit visuell gelernten Gesichtern mit MEG-, EEG- und Verhaltensmessung 4 – 4 ½ Stunden

Abbildung 3.3: Aufbau der Experimentreihe und Dauer der einzelnen Experimentteile.

3.6 Messung der abhängigen Variablen

Als abhängige Variablen wurden im Experiment EEG, MEG und Tastenreaktionen gemessen.

3.6.1 Elektroenzephalogramm (EEG)

Es wurde ein 27-Elektroden-EEG mit ringförmigen Ag/AgCl-Sinterelektroden, die an einer Haube (EasyCap) befestigt wurden, abgeleitet. Die EEG-Elektroden lagen über den Kopf verteilt an folgenden Positionen des 10-20-Systems: O1, O2, PO9, PO10, T5, T6, P3, P4, PZ, CP5, CP6, CZ, C3, C4, T3, T4, T1, T2, FC1, FC2, FC5, FC6, FZ, F3, F4, F7, F8. Die Positionen der EEG-Elektroden sind in zweidimensionaler und dreidimensionaler Kopfansicht in Abbildung 3.4 gezeigt.

Die EEG-Referenzelektrode wurde auf dem Nasenbein befestigt. Die EEG-Haube wurde so aufgesetzt, daß die Elektrodenposition CZ über der Kopfmittle lag. An den Elektrodenöffnungen wurde die Kopfhaut mit Alkohol aufgeraut. Dann wurden die Elektroden an der Haube befestigt und die Öffnungen mit Elektrodengel (Abralyt 2000) gefüllt. Aufgrund sehr geringer Störeinflüsse von außen durch die Ableitung des EEG in einer magnetisch abgeschirmten MEG-Meßkammer (siehe Kapitel 3.6.2) wurden die tolerierbaren Impedanzwerte für die EEG-Elektroden auf $< 50 \text{ k}\Omega$ festgelegt.

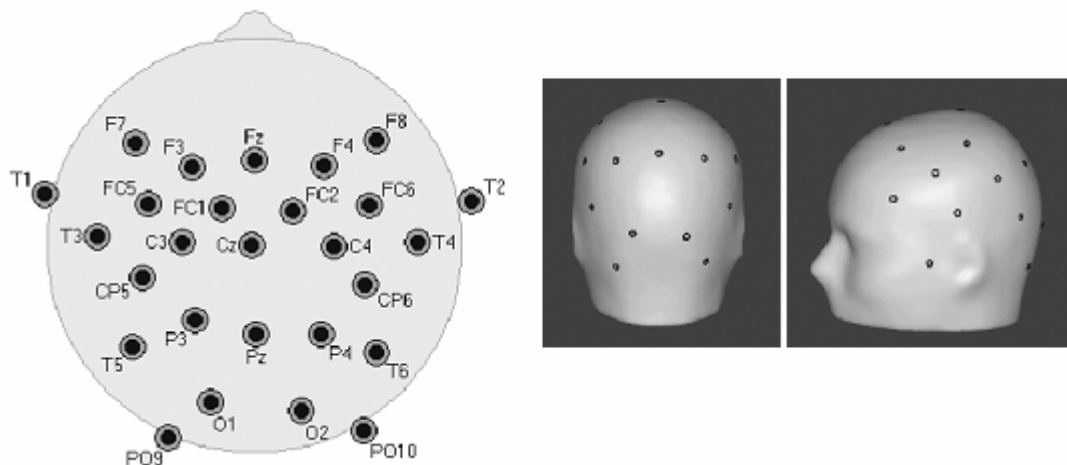


Abbildung 3.4: EEG-Elektrodenpositionen in zwei- und dreidimensionaler Kopfansicht.

3.6.2 Magnetoenzephalogramm (MEG)

Simultan zum Elektroenzephalogramm wurde ein Ganzkopf-Magnetoenzephalogramm (MEG-System der Marke Eagle Technology, Japan) gemessen. Das MEG-System hat 93 SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)-Meßkanäle (axiale Gradiometer) mit einer Baseline von 5 cm. SQUIDs sind Spulen, in denen durch Magnetfelder elektrische Ströme entstehen. Die Magnetfelder, die durch Gehirnaktivität entstehen, sind extrem schwach (circa 100 Femtotesla (fT), $1\text{fT} = 10^{-15}$ Tesla; das Magnetfeld der Erde zum Beispiel ist etwa hundert Millionen mal größer als die Magnetfelder, die durch neuronale Aktivität entstehen). Ihre Messung ist nur möglich durch die supraleitenden Eigenschaften der SQUIDs. Supraleitung ist die widerstandsfreie Leitung elektrischen Stroms, die notwendig ist, um den Strom messen zu können, der durch solch kleine Magnetfelder entsteht. Die Widerstände normal leitender Spulen wären zu stark, um einen Strom so geringer Größe messen zu können. Die Supraleitung wird möglich, weil die SQUIDs durch flüssiges Helium auf eine Temperatur von -269 Grad Celsius gekühlt werden. Das Helium befindet sich in einem speziell isolierten Gefäß, dem sogenannten Dewar, der die SQUIDs umschließt. Die SQUIDs sind in gleichmäßigen Abständen über die Rückwand eines Helms verteilt. Abbildung 4.5 zeigt den Helm (Sensor holder) und seine Lage im Dewar.

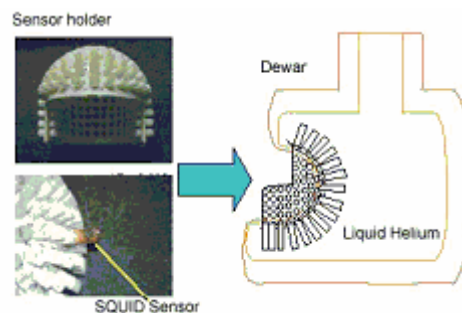


Abbildung 3.5: Helm mit SQUID-Sensoren und Lage des Helms im Dewar.

Für die MEG-Messung legt sich die Person auf eine Liege und platziert ihren Kopf im Helm. Der Helm ist so geformt, daß der Kopf der Person an ihm anliegt und die Meßkanäle bei guter Positionierung im MEG-Gerät, die jedoch auch von der Kopfgröße abhängt, fast alle Bereiche des Kopfes, unter denen sich das Gehirn befindet, abdecken. Die experimentellen Stimuli werden über einen Videobeamer und mehrere Spiegel auf eine Milchglasscheibe projiziert, so daß die liegende Versuchsperson die Stimuli bequem sehen kann. Abbildung 3.6 zeigt die Lage der Versuchsperson während der MEG-Messung und die Verteilung der MEG-Sensoren über den Kopf. Bei der rechten der beiden abgebildeten Personen ist auch die Projektion der Stimuli auf die Milchglasscheibe zu erkennen.

Das MEG-Gerät steht in einer Messkammer, die das Erdmagnetfeld und andere Magnetfelder von außen so weit wie möglich abschirmt, da diese Felder Störquellen für die MEG-Messung sind. Zusätzlich zur magnetischen Abschirmung bestand in der Messkammer eine akustische Abschirmung. Die Messkammer wird vor Beginn der Messung von außen verschlossen, kann jedoch jederzeit von außen oder innen geöffnet werden. Die Kommunikation mit der Versuchsperson in der Messkammer geschieht während der Messung über eine Gegensprechanlage.

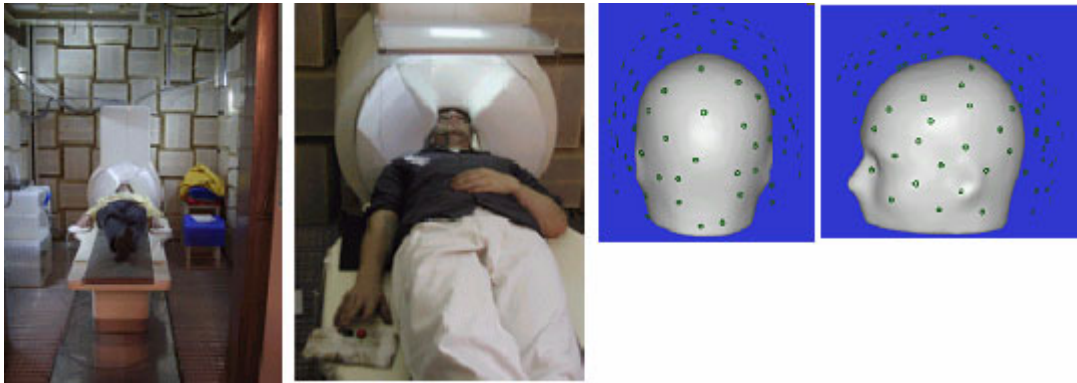


Abbildung 3.6: Lage der Versuchspersonen im MEG-Gerät und Positionen der MEG-Sensoren am Kopf.

3.6.3 Elektrokulogramm (EOG)

Zur Eliminierung von Meßartefakten, die im MEG und EEG durch Augenbewegungen entstehen, wurden Bewegungen des rechten Auges mit zwei Ag/AgCl-Sinterelektroden (EasyCap) gemessen. Eine Elektrode wurde direkt über der rechten Augenbraue und die andere wurde rechts neben dem Auge befestigt. Für die EOG-Elektroden wurden Impedanzwerte von $< 50 \text{ k}\Omega$ festgelegt. Jede der EOG-Elektroden wurde an einen Kanal des EEG-Verstärkers angeschlossen. Das EOG wurde simultan zu MEG und EEG aufgezeichnet.

3.6.4 Filterung und Digitalisierung von EEG, MEG und EOG

EEG, MEG und EOG wurden mit einem Hochpassfilter von 0.1 Hertz (Hz), einem Tiefpassfilter von 200 Hz und einer Digitalisierungsrate von 500 Hz gemessen und vom Programm ‚Meg Laboratory‘ aufgezeichnet.

3.6.5 Messung von Reaktionszeiten und Fehlern

Reaktionszeiten und Fehler wurden anhand von Tastendruck des linken und rechten Zeigefingers gemessen. Hierzu wurde rechts und links neben die auf der Liege im MEG-Gerät liegende Versuchsperson ein

Tastenpad gelegt. In Abbildung 4.6 ist die Position der Tastenpads in der Messanordnung zu erkennen. Die Anordnung der vorliegenden Messung entspricht der Person in der linken Abbildung, die eine Taste mit rechtem und eine Taste mit linkem Zeigefinger bediente. Für die Dauer des Tastendrucks wurde ein Rechtecksignal erzeugt, das von jeweils einem Messkanal für linke und rechte Taste aufgezeichnet wurde. Die Tastenzuordnung zu den Antwortkategorien wurde nach der ersten Hälfte des Experiments ausgetauscht, und die Reihenfolge der Tastenzuordnung war über die Versuchspersonen ausbalanciert.

3.7 Instruktionen für Messung 1 und 2

Die folgenden Instruktionen wurden den Versuchspersonen gegeben: „In der folgenden Aufgabe soll untersucht werden, wie gut Personen Erwachsenen- und Kindergesichter voneinander unterscheiden können und welche Prozesse die Wahrnehmung dieser Gesichter im Gehirn auslöst. Dir werden gleich auf einem Bildschirm Schwarz-Weiß-Fotos von Gesichtern gezeigt. Es erscheint jeweils ein Gesicht in der Mitte des Bildschirms für etwa eine Sekunde. Nach jedem Gesicht wird ein Kreuz in der Mitte des Bildschirms gezeigt. Wenn dieses Kreuz erscheint, solltest Du darauf schauen. Das Kreuz dient dazu, Bewegungen Deiner Augen, die Störsignale erzeugen, zu vermindern. Das Kreuz erscheint dort, wo Du später das nächste Gesicht sehen wirst. Die Gesichter, die Du sehen wirst, sind von einerseits von jungen Erwachsenen zwischen 20 und 30 Jahren und andererseits von Kindern im Grundschulalter. Deine Aufgabe ist, jedes Gesicht anzuschauen und zu entscheiden, ob es von einem Erwachsenen oder einem Kind ist. Wenn das Gesicht Deiner Meinung nach von einem Erwachsenen ist, dann drückst Du die Taste. Wenn Du meinst, daß es von einem Kind ist, drückst Du die Taste. Du solltest die Entscheidung so schnell wie möglich treffen und dann sofort die entsprechende Taste drücken. Deine Entscheidung sollte aber auch möglichst richtig sein, so daß es wichtig ist, jedes Gesicht genau anzuschauen. Die Gesichter werden in kurzem Abstand gezeigt. Es kann passieren, daß mehrere Gesichter sich wiederholen. Du sollst trotzdem für jede Präsentation eines Gesichts entscheiden, ob es ein Erwachsenen- oder Kindergesicht ist. Die Aufgabe ist in 10 Blöcke geteilt. Jeder Block dauert ungefähr 5 Minuten und zwischen den Blöcken sind eineinhalb Minuten Pause, in der Du Dich entspannen kannst. Nach fünf Blöcken machen wir eine längere Pause. Du solltest Dich möglichst während der Aufgabe nicht bewegen. In den längeren Pausen zwischen den Blöcken kannst Du Arme und Beine bewegen, aber den Kopf solltest Du ruhig halten. Ganz wichtig ist, daß Du nicht blinzelst, wenn gerade ein Gesicht gezeigt wird, sondern blinzele möglichst nur zwischen den Gesichterdarbietungen.“ In Messung 2 wurde die Instruktion aus Messung 1 wiederholt.

3.8 Datenerhebung für die Dipollokalisierung

Für die Dipollokalisierung der ereigniskorrelierten Potentiale im EEG und der ereigniskorrelierten Felder im MEG wurden bei jeder Versuchsperson folgende Daten erfaßt: 1. Die Position des Kopfes im MEG-Gerät wurde anhand von magnetischen Spulenmessungen bestimmt (Kapitel 3.8.1), 2. die Positionen der EEG-Elektroden und der magnetischen Spulen am Kopf wurden in einer Ultraschallmessung erfasst (Kapitel 3.8.2). 3. Strukturelle magnetresonanztomographische Aufnahmen (MRT) des Gehirns wurden aufgenommen (Kapitel 3.8.3).

3.8.1 Messung der Kopfposition im MEG-Gerät

Für die Durchführung der Spulenmessungen wurden insgesamt fünf Spulen auf der Stirn und neben den Ohren befestigt. Die Spulen wurden in der MEG-Meßkammer an ein Gerät angeschlossen, das während einer Spulenmessung sehr geringe elektrische Ströme an die Spulen sendet. Diese Ströme erzeugen ein Magnetfeld, das von denjenigen Meßkanälen des MEG registriert wird, die sich in der Nähe der Spulen befinden. Aus der Lage dieser Meßkanäle kann dann die Position der Spulen im Vergleich zu allen MEG-Sensoren bestimmt werden. Jede Spulenmessung dauerte circa 2 Minuten. Über die spätere Bestimmung der Spulenposition am Kopf der Versuchsperson (siehe Kapitel 3.8.2) konnte so für jeden MEG-Sensor modelliert werden, über welcher Stelle des Kopfes er sich befand. Diese Information wurde in die Dipollokalisierung einbezogen.

3.8.2 Messung der Positionen von Spulen und EEG-Elektroden am Kopf

Nach Beendigung der MEG- und EEG-Messung wurden die Positionen der magnetischen Spulen am Kopf und die Positionen der EEG-Elektroden mit einem Ultraschallmeßsystem (Meßsystem zur 3D-Bewegungsanalyse der Firma zebris) gemessen. Das System benötigte zunächst drei anatomische Referenzpunkte, aus denen ein dreidimensionales Koordinatensystem mit x-, y- und z-Dimension aufgespannt wurde. Diese Punkte waren die anatomisch definierten Orte Nasion und die präauriculären Punkte links und rechts. Nach Erfassung dieser Punkte wurden in dem dreidimensionalen Koordinatensystem die Positionen aller EEG-Elektroden und magnetischen Spulen am Kopf erfasst. Dazu wurde mit einem Stift jede zu messende Position am Kopf berührt und durch Druck auf einen Knopf am Stift Ultraschallwellen an einen Sensor ausgesendet. Der Sensor ortete jede Position im 3-dimensionalen Raum und digitalisierte jeden Punkt in den drei räumlichen Koordinaten. Die digitalisierten Punkte wurden in einer Textdatei gespeichert

und später im Lokalisationsprogramm zur Bestimmung der Positionen von EEG-Elektroden und MEG-Sensoren am Kopf eingesetzt.

3.8.3 Magnetresonanztomographische Aufnahme (MRT) des Gehirns

Für 10 der 12 Versuchspersonen wurden mit einem MRT-Gerät jeweils 148 T1-gewichtete Bilder vom Gehirn aufgenommen. Vor der MRT-Messung wurden die Personen über das gesundheitliche Risiko der Messung aufgeklärt und unterschrieben eine Einverständniserklärung für die Teilnahme an der Messung. Die Voxelgröße der aufgenommenen MRT-Schichten betrug $1.4 \text{ mm} * 0.9 \text{ mm} * 0.9 \text{ mm}$. Die Aufnahmen wurden in das Programm Brain Voyager (Version 2000) eingelesen und zu Schichten von $1.0 \text{ mm} * 1.0 \text{ mm} * 1.0 \text{ mm}$ Voxelgröße umgeformt. Die Gehirnaufnahmen wurden dann in Brain Voyager auf Talairachformat standardisiert.

Das Talairachformat wurde von Talairach und Tournoux (1988) eingeführt, um Aufnahmen verschiedener Gehirne, die sich zwischen Menschen stark voneinander unterscheiden können, miteinander vergleichbar zu machen. Im Talairachformat wird jeder Punkt im Gehirn in einem dreidimensionalen Koordinatensystem eingeordnet, das als Nullpunkt der drei Koordinatenachsen die anteriore Kommissur hat. Das Koordinatensystem ist in Abbildung 3.7 dargestellt.

Bei der Standardisierung eines Gehirns auf das Talairachformat werden zunächst anteriore und posteriore Kommissur in den Aufnahmen markiert und das Gehirn so rotiert, daß beide Punkte in einer planaren Ebene liegen. Dann werden hinterster, vorderster, höchster, niedrigster, am weitesten rechts und am weitesten links gelegener Punkt des Gehirns gesucht und ebenfalls markiert. Aus diesen Punkten wird bei der letztendlichen Talairachtransformation, die Brain Voyager durchführt, das Talairachkoordinatensystem in seinem Mittelpunkt und seiner Ausdehnung auf das individuelle Gehirn angewandt. Bei der Angabe von Talairachkoordinaten für einen Ort in einem individuellen MRT-Bild ist ein Abgleich des Punktes mit einem Talairachatlas möglich, in dem die Namen der zu jedem Punkt gehörigen Gehirnstruktur bekannt sind. Die Talairachstandardisierung wurde in der vorliegenden Arbeit für die MRT-Aufnahmen aller Versuchspersonen durchgeführt.

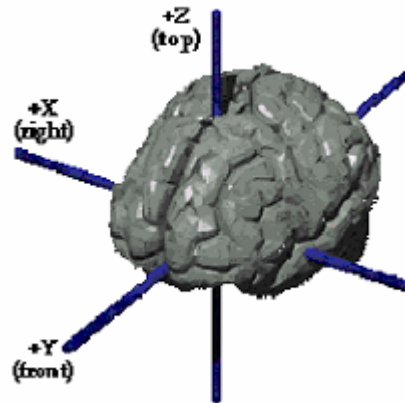


Abbildung 3.7: Talairachkoordinatensystem mit den drei Achsen, durch die der dreidimensionale Koordinatenraum aufgespannt wird.

3.9 Experimentablauf

Im Folgenden wird der Gesamtablauf der Messreihe mit Messung 1, den Lernsitzen und Messung 2 dargestellt.

3.9.1 Experimentsteuerung mit ERTS

Alle Stimulusdarbietungen wurden vom Programm Experimental Run Time System (ERTS, BeriSoft) gesteuert. Mittels dieses Programms laufen Experimente durch Aufruf von Dateien ab, in denen Auswahl, Abfolge und Darbietungszeit aller Stimuli programmiert sind. Die Reihenfolge der Stimulusdarbietung konnte aufgrund der festen zeitlichen Abstände zwischen den Wiederholungen nicht in ERTS programmiert werden, sondern die Reihenfolge aller Gesichterdarbietungen wurde manuell bestimmt. Die einzelnen Gesichterstimuli wurden jedoch zufällig den Präsentationen zugeordnet.

Über ERTS wurde auch die Zugehörigkeit der Gesichterstimuli zu den verschiedenen experimentellen Bedingungen kodiert. Dazu wurde programmiert, daß nach jeder Gesichterdarbietung im Experiment ein Rechtecksignal (Trigger) erzeugt werden sollte, das simultan zu EEG und MEG von einem Triggerkanal aufgezeichnet wurde. Die Rechtecksignale waren für jeden der 10 Präsentationsblöcke, in die die Gesichterdarbietungen aufgeteilt waren, von verschiedener Dauer. Da die Präsentationsabfolge für alle Gesichter festgelegt war, konnten so nach dem Ende des Experiments alle Triggersignale den einzelnen Gesichterdarbietungen zugeordnet werden. Für jede der acht experimentellen Bedingungen (K1 bis K4 und

L1 bis L4, siehe Versuchsplan in Kapitel 3.3.2) wurde dann eine neue Triggerkodierung (von 1 bis 8) festgelegt, die ein Gesicht erhielt, wenn es zu dieser Bedingung gehörte. Über das triggerbezogene Mitteln in BESA wurden später die ereigniskorrelierten Potentiale und ereigniskorrelierten Felder aus MEG und EEG berechnet (siehe Kapitel 3.10).

3.9.2 Ablauf von Messung 1

Alle Messungen fanden im Berliner Institut der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt statt, wo das 93-Kanal Ganzkopf-MEG-Gerät steht. Zu Beginn von Messung 1 wurde der Versuchsperson die EEG-Haube aufgesetzt und EEG-, EOG-Elektroden und magnetische Spulen am Kopf befestigt. Nach Impedanzüberprüfung der EEG- und EOG-Elektroden wurden die Instruktionen für das Gesichterexperiment gegeben. Die Person legte sich dann mit der kompletten EEG-Haube auf die Liege in der MEG-Meßkammer und der Kopf wurde im MEG-Gerät positioniert. Die EEG- und EOG-Elektroden wurden an den EEG-Verstärker und die magnetischen Spulen an das Spulenmeßgerät angeschlossen. Die Reaktionstasten wurden unter rechtem und linkem Zeigefinger platziert.

Zur Übung der experimentellen Aufgabe wurde ein Trainingsdurchlauf von etwa 2 Minuten Länge durchgeführt. Dann wurde die MEG-Kammer verschlossen und die erste magnetische Spulenmessung sowie der erste Teil des Gesichterparadigmas mit MEG-, EEG- und EOG-Messung durchlaufen. Dieser erste Experimentteil dauerte insgesamt etwa 30 Minuten und wurde mit der zweiten magnetischen Spulenmessung beendet. Vor Beginn der zweiten Experimenthälfte konnten die Versuchspersonen eine längere Pause machen, blieben aber währenddessen im MEG-Gerät liegen, so daß sich ihre Kopfposition nicht veränderte. Der dann folgende zweite Teil des Gesichterparadigmas wurde mit einer dritten Spulenmessung begonnen und dauerte ebenfalls 30 Minuten. Nach dem Ende des zweiten Experimentteils wurden die Spulenpositionen im MEG ein letztes Mal gemessen. Die Ultraschallmessung der EEG-Elektroden- und Spulenpositionen am Kopf wurde außerhalb der MEG-Meßkammer durchgeführt. Messung 1 dauerte insgesamt 3,5 bis 4 Stunden.

3.9.3 Ablauf der Lernsitzen 1 und 2

Drei Monate nach Messung 1 wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen die beiden Lernsitzen durchgeführt. Bei den Lernsitzen wurden die Gesichter, die in Messung 1 gezeigt worden waren, am Computer dargeboten. Die Versuchspersonen bearbeiteten die gestellten Aufgaben mittels Tastenreaktionen mit linken und rechtem Zeigefinger. Jede der beiden Lernsitzen dauerte eine Stunde.

3.9.4 Ablauf von Messung 2 und MRT-Aufnahme

Am Tag nach Lernsitzung 2 wurden vor Beginn von Messung 2 die Gesichter nochmals am Computer gezeigt und die Attraktivität jedes Gesichts sollte beurteilt werden. Die etwa 2 Stunden später folgende MEG- und EEG-Messung war in ihrem Aufbau völlig identisch zu Messung 1 (siehe Kapitel 3.9.2). Die Versuchspersonen erhielten in keiner der Messungen die Information, daß die Gesichter, die gezeigt wurden, immer dieselben waren. Sie wurden nach Beendigung aller Experimente darüber aufgeklärt. Die MRT-Messungen fanden an einem separaten Termin in der Radiologie der Charité, Campus Benjamin Franklin, statt.

3.10 Auswertungsmethoden

EOG-, EEG- und MEG-Daten wurden vor der Bildung von ERP und ERF auf eine Samplingrate von 250 Hz reduziert und mit einem Hochpassfilter von 0.5 Hz und einem Tiefpassfilter von 40 Hz nachgefiltert. Die Daten wurden dann in das Programm Brain Electrical Source Analysis (BESA 2000, MEGIS Software) eingelesen, mit dem die ERP- und ERF-Mittelung mitsamt der Augenartefaktkorrekturen durchgeführt wurden.

3.10.1 EOG-Auswertung und Korrektur von Augenartefakten

Die Augenbewegungen wurden in BESA anhand von Ausschlägen der beiden EOG-Kanäle ermittelt. Die EOG-Ausschläge wurden für jeden Probanden einzeln bestimmt und für jeden registrierten Ausschlag in BESA eine Markierung (Trigger) gesetzt. Bei der Mittelung der ereigniskorrelierten Potentiale und Felder wurden alle Epochen, in denen zwischen 200 ms vor und 1200 ms nach Stimulusbeginn ein EOG-Trigger das Vorhandensein einer Augenbewegung markierte, aus der Mittelung ausgeschlossen. Die EOG-Amplituden wurde für Zeitbereiche, in denen sich in MEG und EEG Effekte der experimentellen Manipulation ergeben hatte, auf solche Effekte hin ebenfalls untersucht.

3.10.2 Berechnung von ereigniskorrelierten Potentialen (ERP) und ereigniskorrelierten Feldern (ERF)

In BESA wurde eine Artefaktermittlung (im Modul ‚Artifact Scan‘) durchgeführt, in der für MEG und EEG aufgrund von Gradient (erste Ableitung der Daten), Amplitude und niedrigem Signal artefaktbehaftete Epochen sowie Meßkanäle ohne Signal aus der Auswertung ausgeschlossen wurden. Um ERP und ERF auf Beginn der Gesichterdarbietung bezogen mitteln zu können, wurden die Triggerkodierungen, die mittels ERTS für die Gesichterdarbietungen erzeugt worden waren (siehe Kapitel 4.9.1), in BESA eingelesen. Ein Trigger markierte immer das Ende einer Gesichtsdarbietung. Da alle Gesichter für 1200 ms gezeigt wurden, konnte so aus den Triggern der Beginn der Gesichterdarbietung errechnet werden.

ERP und ERF wurden über die Gesamtdauer der Gesichtsdarbietung von 1200 ms mit einer Baseline von 200 ms vor Stimulusbeginn berechnet. In die Mittelung gingen alle Gesichterdarbietungen unabhängig von der Richtigkeit der Verhaltensantworten ein, und es wurde über beide Experimenthälften gemittelt, so daß für jede experimentelle Bedingung über eine Epochenzahl von etwa 150 Darbietungen gemittelt wurde (abzüglich der mit EOG-Artefakten behafteten Epochen, deren Zahl im Mittel bei etwa 20% lag). Die Weiterverarbeitung von ERP und ERF geschah separat.

3.10.3 Auswertung der ereigniskorrelierten Potentiale und Felder

Die Interpretation von EEG-Daten, die mit einer speziellen Referenzelektrode gemessen werden, ist problematisch, weil die Aktivität, die von der Referenzelektrode gemessen wird, die Aktivierung an allen anderen Elektroden beeinflusst. Zur Korrektur dieser Verzerrung wurde in BESA eine Durchschnittsreferenz berechnet. Hierbei wurde von jeder einzelnen Elektrode der über alle Elektroden gerechnete Mittelwert subtrahiert. ERP-Kurven für die Gesamtgruppe der Versuchspersonen wurden gebildet, indem für jede Elektrode der Mittelwert über alle Einzelpersonen gebildet wurde. Für die statistische Überprüfung der Hypothesen im Bezug auf die Amplitudenwerte einzelner ERP-Komponenten und -Zeitbereiche wurden für jede Person die Werte der interessierenden Amplituden an allen Elektroden bestimmt.

Aufgrund der fokaleren Messfähigkeit des MEG im Vergleich zum EEG und der unterschiedlichen Lage des Kopfes jeder Versuchsperson im MEG-Gerät ist die Varianz ereigniskorrelierter Felder zwischen den Versuchspersonen größer als die von ereigniskorrelierten Potentialen. MEG-Sensoren, die für einige Personen etwa eine klare M170 zeigen, bilden dieses Feld bei anderen Personen überhaupt nicht ab. Deshalb ist der Ansatz der ERP-Auswertung, der in der Mittelung derselben EEG-Elektroden über alle Versuchspersonen besteht, für die Auswertung des MEG nicht geeignet.

In der Auswertung der vorliegenden Daten zeigten sich die stärksten Feldmuster an MEG-Sensoren des Hinterkopfes. Da die M170-Aktivität bei den meisten Versuchspersonen die stärkste Aktivität im gesamten Zeitablauf der ERF darstellte, wurde das Feldmuster der M170 deshalb als Anhaltspunkt für die Auswertung des MEG genommen. Dieses Feldmuster wurde durch visuelle Inspektion der räumlichen Feldkarte jeder Versuchsperson identifiziert. Dann wurden diejenigen Messkanäle herausgesucht, in denen das M170-Feldmuster am stärksten abgebildet wurde. Die ausgewählten Kanäle unterschieden sich somit zwischen Personen, hatten aber alle die Eigenschaft, das interessierende ereigniskorrelierte Feld abzubilden. Ereigniskorrelierte Felder zeigten sich an MEG-Sensoren über der rechten und linken Hemisphäre. Bei jeder Versuchsperson wurden daher für jede der beiden Hemisphären bis zu fünf Kanäle ausgewählt, in denen die Amplitude des Feldes am größten war. Über die ausgewählten Kanäle wurde getrennt für beide Hemisphären gemittelt. Die statistische Überprüfung der Hypothesen geschah für die Daten aus diesen Meßkanalmittelungen.

Unterschiede zwischen experimentellen Bedingungen sollten nicht nur für klar bestehende Peaks in den ERF wie die M100 oder die M170 untersucht werden, sondern auch für spätere Zeitbereiche, in denen längere Positivierungen und Negativierungen auftreten. Auch in diesen Zeitbereichen waren in der vorliegenden Messung die ereigniskorrelierten Felder am stärksten an Sensoren über dem Hinterkopf, während an weiter frontal gelegenen Sensoren nur sehr schwache Aktivität messbar war. Deshalb wurden die Zeitbereiche später Aktivierung ebenfalls für die Kanäle der M170-Auswahl untersucht.

3.10.4 Auswertung von Reaktionszeiten und Fehlern

Die Reaktionszeiten wurden aus den Rechtecksignalen der beiden Reaktionstastenkanäle errechnet. In die Mittelungen gingen alle Reaktionen ein, die im Zeitbereich von 200 ms nach Beginn der Gesichtsdarbietung bis 100 ms vor der Präsentation des nächsten Gesichts stattgefunden hatten. Die Fehleranzahl wurde als Differenz zwischen Gesamtreaktionen und richtigen Reaktionen berechnet und an der Zahl gesamt gültiger Antworten standardisiert.

3.10.5 Statistische Verfahren zur Hypothesentestung

Die Hypothesentestung für Reaktionszeiten, Fehler, ERP und ERF wurde mittels Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Bei Verletzung der Sphärizität wurde für die Freiheitsgrade die Huynh-Feldt-Korrektur durchgeführt, dann werden in den Ergebnissen die korrigierten Freiheitsgrade und Signifikanzwerte berichtet. Post-hoc-Einzelvergleiche wurden mittels orthogonaler Kontraste gerechnet. Die Vergleiche einzelner experimenteller Bedingungen wurden mittels gepaarter t-Tests gerechnet, die die Messwiederholung in den Daten berücksichtigen.

Das Alpha-Fehler-Niveau wurde für alle Tests auf $\alpha < .05$ festgelegt. Beim Vergleich derselben experimentellen Bedingungen für verschiedene Zeitfenster in späten Zeitbereichen wurde eine Korrektur des Alpha-Fehler-Niveaus nach Bonferroni durchgeführt. Hierbei wurde $\alpha < .05$ durch die Anzahl der jeweiligen durchgeführten Tests geteilt. Als Maß der Effektstärke wurde in den signifikanten Effekten der Varianzanalysen Eta²-Quadrat errechnet. Eta² gibt den Anteil der Varianz in der abhängigen Variable, der dem Einfluß des jeweiligen Faktors zugeschrieben werden kann, an.

3.10.6 Dipollokalisierung

Die neuronalen Entstehungsorte von N170 und M170 wurden anhand von Dipollokalisierungen modelliert. Hierbei wurden die Programme BESA 2000 und Brain Voyager 2000 verwendet.

3.10.6.1 Dipollokalisierung für die Einzelpersonen

Die Dipollokalisierungen wurden separat für alle Komponenten und für die einzelnen Versuchspersonen in BESA durchgeführt. Zunächst wurden alle MEG-Kanäle und EEG-Elektroden in die Dipollokalisierungen einbezogen. Der erste Schritt in der Lokalisierung bestand in der Suche nach den zu lokalisierenden Feldmustern in den MEG- und EEG-Daten der Einzelpersonen. M170 und N170 wurden als Felder mit maximaler Stärke an hinteren (posterioren) Messensoren im Zeitbereich von 120 ms bis 200 ms definiert. N400 und M400 wurden als Felder in Zeitbereichen von 300 ms bis 700 ms an posterioren Sensoren definiert. Dabei wurde das Feldmuster zur Lokalisierung ausgewählt, das im späten Zeitbereich die längste zeitliche Stabilität besaß. Die Zeitintervalle für die Dipollokalisierung wurden für jede Person individuell und getrennt für MEG und EEG so bestimmt, daß sie das Maximum der jeweiligen Aktivität und ein kleines Zeitfenster um den Peak umfassten. Sie unterschieden sich demnach zwischen Personen und beiden Meßmethoden, da Latenz und Breite der Komponenten variieren. Die Breite der gewählten Lokalisationsfenster wird bei der Darstellung der Lokalisierungsergebnisse für jeden Probanden aufgeführt.

Für die Dipollokalisierung im EEG wurde ein ellipsoides Kopfmodell mit vier Schichten verschiedener Leitfähigkeit (Gehirn, cerebrospinale Flüssigkeit, Schädelknochen und Kopfhaut), für die MEG-Lokalisierung ein sphärisches Kopfmodell gewählt, in dem der Kopf als Kugel modelliert wurde. Da die Leitfähigkeit der verschiedenen Schichten das magnetische Feld nicht beeinflusst, wurden diese im Kopfmodell des MEG nicht modelliert.

Jede Komponente wurde durch jeweils zwei Quellen modelliert. Dem Dipolfit wurde eine Symmetriebeschränkung zugrundegelegt: die Orte beider Dipole sollten symmetrisch zueinander in linker und rechter Hemisphäre liegen. Die Symmetriebeschränkung wurde nach einigen Überlegungen gewählt, da eine zunächst erprobte Dipollokalisierung ohne Symmetriebeschränkung bei vielen Personen keine

physiologisch sinnvollen Orte, die in rechter und linker Hemisphäre in temporalen oder occipitalen Arealen liegen sollten, ergeben hatte. Zwei weitere Lokalisationsstudien der N170 (Schweinberger et al., 2002a, Rossion et al., 2003) setzten ebenfalls eine Symmetriebeschränkung ein. Der Dipollokalisierung wurden keine weiteren Beschränkungen zugrundegelegt.

Die beiden Dipole wurden zu Beginn der Lokalisationsprozedur an zufällig ausgewählte Positionen im BESA-Kopfmodell gesetzt, um eine Startlösung für den Dipolalgorithmus festzulegen. Die Dipollösungen, in denen die vom Lokalisationsalgorithmus in BESA berechneten Dipolorte und -orientierungen angezeigt wurden, enthielten die folgenden Informationen: der Goodness of Fit (GOF) zeigte den Prozentsatz des Signals über alle Kanäle an, der für einen bestimmten Zeitpunkt oder ein Zeitintervall durch die gefundenen Dipolorte und Dipolorientierungen erklärt wurde. Die Dipolorte wurden in Talairachkoordinaten (Talairach und Tournoux, 1988) für x-, y- und z-Koordinate in Millimeter (mm) angegeben. Die x-Koordinate bezeichnet den Ort des Dipols in medial-lateraler Dimension, die y-Koordinate in anterior-posteriorer und die z-Koordinate in superior-inferiorer Dimension. Die Orientierung der Dipole wurde ebenfalls in x-, y- und z-Koordinaten angegeben und variierte von -1 (maximal medial, posterior, inferior) bis +1 (maximal lateral, anterior, superior). Die Quellkurven zeigten den Verlauf der Dipolstärke über die Zeit in Nanoampere (nAm).

Die Ergebnisse der Dipollokalisierungen wurden auf die individuellen MRT-Gehirnaufnahmen projiziert. Dies geschah, indem im Programm Brain Voyager aus den zuvor eingelesenen Gehirnaufnahmen zunächst ein Kopf modelliert wurde. An diesem Kopf wurden dreidimensionale Punkte für die anatomischen Orte Nasion und die präauriculären Punkte durch manuelle Markierung der entsprechenden Punkte am Kopfmodell definiert. Die Ergebnisse aus der Ultraschallpositionsbestimmung von MEG-Kanälen und EEG-Elektroden am Kopf wurden auf das Brain Voyager-Kopfmodell projiziert, indem die mittels Ultraschall gemessenen Punkte in BESA in einer Datei gespeichert wurden und diese in Brain Voyager importiert wurde. Die Punkte wurden dann an das Kopfmodell aus Brain Voyager angepasst. Die in BESA modellierten Dipolorte wurden schließlich an Brain Voyager gesendet, wo die Lage der Dipole im Gehirn durch Punkte markiert wurde.

Die genauen hirnanatomischen Orte der Dipole in den MRT-Aufnahmen wurden mit Hilfe eines Gehirnatlasses (Duvernoy, 1999) bestimmt. Für die zwei Versuchspersonen, für die kein individuelles MRT-Bild aufgenommen werden konnte (Person 5 und 10), wurde ein standardisiertes MRT des Montreal Neurological Institute (Mittel von 27 T1-gewichteten Bildern einer Person, Quelle: www.bic.mni.mcgill.ca/cgi/icbm_view) eingesetzt. Dieses Standardgehirn hat im Gegensatz zu Standardgehirnen, die über viele Personen gemittelt wurden (auch zu finden auf der oben genannten Webseite des Montreal Neurological Institute) den Vorteil, daß die einzelnen Hirnstrukturen deutlich zu erkennen sind.

3.10.6.2 Bestimmung der mittleren Dipolorte und Vergleich zwischen Orten einzelner Komponenten

Die x-, y- und z-Koordinaten der Dipolorte wurden über die Einzelpersonen gemittelt. Die mittleren Dipolkoordinaten wurden auf ein Standardgehirn (Mittel von 27 T1-gewichteten Bildern einer Person, Quelle: www.bic.mni.mcgill.ca/cgi/icbm_view) projiziert. Wilcoxon-Tests mit Rangbindung wurden zum statistischen Vergleich der Dipolorte und Quellkurven eingesetzt, da die Stichprobe relativ klein war und die Daten zumeist nicht normalverteilt waren. Die Normalverteilung der Daten wurde anhand von Kolmogorov-Smirnoff-Tests mit Lillieforskorrektur ermittelt. Das zweiseitige Signifikanzniveau für alle Tests war $\alpha < .05$.

3.10.6.3 Bestimmung der Dipolstärke

Die Zeitkurven der Dipolstärke wurden für jede Person einzeln aus der jeweiligen Dipollösung bestimmt. Sie zeigen die Stärke des Stromflusses in Nanoamperemeter (nAm). Zum Vergleich der Dipolstärken der M170 und N170 zwischen Hemisphären, MEG und EEG und den beiden Messungen wurden die Amplituden der N / M170 als Peakwert zwischen 120 und 190 ms und die Latenzwerte der Peaks berechnet und mittels Wilcoxon-Tests statistisch miteinander verglichen. Für die Bestimmung der Dipolstärken von N / M400 wurde der Zeitpunkt, an dem der GOF-Wert seine maximale Ausprägung hatte, als Mittelpunkt genommen und die mittlere Amplitude im Zeitfenster von ± 25 ms, als insgesamt von 50 ms Breite ermittelt. Der Vergleich von Dipolstärken wurde ebenfalls mittels Wilcoxon-Tests durchgeführt, da sich in der Ansicht der Dipolstärken eine enorme Varianz zwischen den Einzelpersonen zeigte. Die Dipolstärken einiger Personen waren etwa 50 mal größer als die Dipolstärken anderer Personen.

3.10.6.4 Berechnung der ICA zur Artefaktkorrektur in den MEG-Daten

Zur Eliminierung von Datenartefakten, die im MEG vor allem durch das vom Herzen erzeugte starke Magnetfeld entstehen können und ein charakteristisches Muster im MEG zeigen (Sander, Wübbeler, Lueschow, Curio, Trahms, 2002), wurden die MEG-Daten vor der Mittelung einer Independent Component Analysis (ICA) unterzogen, die von Dr. Till Sander durchgeführt wurde.

4 Ergebnisse und Diskussion

In den Kapiteln 4.1, 4.2 und 4.3 werden die Ergebnisse des Primingexperimentes im Bezug auf die Fragen nach Primingeffekten für Gesichter, den Einfluß der visuellen Vertrautheit von Gesichtern auf diese Effekte und den Einfluß genereller visueller Vertrautheit auf die abhängigen Variablen für Reaktionszeiten und Fehler (Kapitel 4.1), ereigniskorrelierte Potentiale (Kapitel 4.2) und ereigniskorrelierte Felder (Kapitel 4.3) dargestellt. Im Anschluß daran folgt die Diskussion dieser Ergebnisse in Bezug auf die Untersuchung von Effekten des Primings und der Vertrautheit auf alle gemessenen Parameter in Kapitel 4.4. In Kapitel 4.5 werden die Ergebnisse der Dipollokalisierungen von N / M170 berichtet. Die Lokalisationsergebnisse für die späten Zeitbereiche von ERP und ERF sind in Kapitel 4.6 dargestellt. Die Lokalisationsergebnisse werden in Kapitel 4.7 diskutiert. Die Präsentationsform der an die jeweiligen Messergebnisse direkt anschließenden Diskussionen reflektiert die Tatsache, daß die Untersuchung von Priming- und Vertrautheitseffekten und die Dipollokalisierungen zwei relativ getrennt voneinander bestehende Teile der vorliegenden Arbeit sind und somit eine separate Diskussion von Lokalisationsergebnissen und Priming- und Vertrautheitseffekten erforderte. Die Verbindung zwischen den Ergebnissen beider Auswertungen wird in Kapitel 5 hergestellt.

4.1 Ergebnisse der Reaktionszeit- und Fehlerauswertung

Die Reaktionszeiten der ersten Messung konnten für alle 12 Versuchspersonen ausgewertet werden, die Reaktionszeiten der zweiten Messung 2 wurden für alle 10 Personen ausgewertet. Im folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Reaktionszeitmessungen separat für Messung 1 und 2 dargestellt. Im Anschluß daran werden die Reaktionszeiten beider Messungen miteinander verglichen.

4.1.1 Reaktionszeiten und Fehler in Messung 1

Die mittleren Reaktionszeiten für die ersten Gesichterdarbietungen lagen für das kurze Lag bei 682 ± 63 ms, für das lange Lag bei 671 ± 61 ms und unterschieden sich nicht signifikant voneinander [$t_{(11)} = 1.85$, $p = .092$], obwohl sich ein Trend zu einer kürzeren Reaktionszeit für das lange Lag im Vergleich zum kurzen Lag ergab. In den Annahmen für die vorliegende Arbeit (siehe Kapitel 2.1) wurde formuliert, daß sowohl für kurzes als auch langes Lag eine Verkürzung der Reaktionszeiten über die Gesichterwiederholungen stattfinden würde. Die Verkürzung sollte für das kurze Lag jedoch stärker sein als für das lange Lag. Diese Annahmen wurden anhand einer Varianzanalyse mit Meßwiederholung (ANOVA) mit den Faktoren Lag (kurzes vs. langes Lag, 2 Stufen) und Wiederholung (erste bis vierte Darbietung, 4 Stufen) getestet. Die

ANOVA ergab signifikante Haupteffekte für die Faktoren Lag [$F_{(1, 10)} = 11.228, p = .006, \eta^2 = .51$] und Wiederholung [$F_{(3, 30)} = 28.54, p = .000, \eta^2 = .72$] und eine signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren [$F_{(3, 30)} = 6.56, p = .001, \eta^2 = .37$]. Eine Aufschlüsselung der Interaktion zwischen beiden Faktoren, in der jeweils eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor Wiederholung für die Gesichterwiederholungen mit kurzem und langem Lag gerechnet wurde, zeigte für das kurze Lag einen signifikanten Effekt des Faktors Wiederholung [$F_{(1.6, 16.3)} = 45.39, p = .000$], der mit einer Effektstärke von $\eta^2 = .81$ stark ausgeprägt war, und einen ebenfalls signifikanten Effekt für das lange Lag, der in seiner Ausprägung ($\eta^2 = .25$) jedoch deutlich schwächer war als für das kurze Lag [$F_{(3, 30)} = 3.69, p = .028$].

Orthogonale Kontraste (Einfache Kontraste mit Darbietung 1 als Referenzkategorie) für die Wiederholungen mit kurzem Lag zeigten, daß die Reaktionszeiten hier schon von erster zu zweiter Darbietung abnahmen [$F_{(1, 10)} = 50.81, p = .000, \eta^2 = .82$] und sich für alle weiteren Darbietungen ebenfalls von der ersten Darbietung unterschieden [K1 – K3: $F_{(1, 10)} = 27.81, p = .000, \eta^2 = .72$; K1 – K4: $F_{(1, 10)} = 118.08, p = .000, \eta^2 = .92$]. Es wurde in der Frage nach dem Verlauf des Primingeffektes über die vier Wiederholungen auch untersucht, ob sich von jeder der Gesichterdarbietungen zur nächsten Darbietung eine weitere signifikante Verkürzung der Reaktionszeiten ergeben würde. Von der zweiten zur dritten Darbietung zeigte sich in den Kontrasten (wiederholte Kontraste) keine signifikante Verkürzung [$F_{(1, 10)} = 3.43, p = .091$], aber die Reaktionszeitabnahme von dritter zu vierter Darbietung war statistisch signifikant [$F_{(1, 10)} = 3.60, p = .002, \eta^2 = .60$]. Dieselbe Aufschlüsselung des Primingeffektes wie für das kurze Lag wurde auch für das lange Lag vorgenommen. Von erster zu zweiter Darbietung nahmen die Reaktionszeiten für das lange Lag noch nicht signifikant ab [$F_{(1, 10)} = 1.228, p = .29, \eta^2 = .10$], dritte und vierte Darbietung unterschieden sich jedoch signifikant von der ersten Darbietung [L1 – L3: $F_{(1, 10)} = 17.51, p = .002, \eta^2 = .61$; L1 – L4: $F_{(1, 10)} = 9.84, p = .009, \eta^2 = .47$]. Eine kontinuierliche Abnahme, die in Unterschieden zwischen Reaktionszeiten von jeder Wiederholung zur nächsten bestehen sollte, bestand für das lange Lag weder von der ersten zur zweiten Darbietung (Ergebnis siehe oben) noch von zweiter zu dritter Darbietung [$F_{(1, 10)} = 1.95, p = .19$] oder dritter zu vierter Darbietung [$F_{(1, 10)} = 0.07, p = .79$].

Die mittleren Reaktionszeiten für die Darbietungswiederholungen der Erwachsenengesichter sind getrennt für kurzes Lag und langes Lag in Tabelle 1 mit einer Standardabweichung aufgeführt und mit dem Reaktionszeitgewinn im Vergleich zur ersten Gesichterdarbietung in der mittleren Tabellenspalte und dem Reaktionszeitgewinn zur jeweils vorangehenden Darbietung in der rechten Tabellenspalte angegeben. Wie Tabelle 1 zeigt, nahmen die Reaktionszeiten für das kurze Lag schon von erster zu zweiter Darbietung um 33 ms ab und erreichten bis zur letzten Darbietung eine Verkürzung von 56 ms. Im langen Lag zeigte sich erst für die vierte Darbietung eine Reaktionszeitabnahme von 20 ms im Vergleich zur Erstdarbietung. Die Stärke des Primingeffektes war somit für das kurze Lag schon von erster zu zweiter Darbietung größer als der im langen Lag über alle vier Darbietungen erreichte Primingeffekt. Ein t-Test, der für den Vergleich der Reaktionszeitdifferenzen zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung für kurzes und langes Lag gerechnet wurde, zeigte, daß die Reaktionszeitdifferenz für das kurze Lag signifikant größer war als für das lange Lag [$t_{(10)} = 4.29, p = .002$] und somit für das kurze Lag ein stärkerer Primingeffekt erreicht wurde als für das lange Lag. Abbildung 4.1 zeigt die Reaktionszeiten für kurzes Lag (Abbildung 4.1a) und langes Lag

(Abbildung 4.1b) über alle vier Gesichterdarbietungen. Die Balken bezeichnen den Bereich einer Standardabweichung des Mittelwertes. Abbildung 4.1c) zeigt die Verläufe der Reaktionszeiten über die vier Wiederholungen für kurzes und langes Lag.

Tabelle 1: Mittlere Reaktionszeiten in ms mit einer Standardabweichung (SD) für Messung 1 (Spalte 2) und Reaktionszeitverkürzungen bei zweiter, dritter und vierter Gesichterdarbietung im Vergleich zu ersten Darbietung (Spalte 3) sowie im Vergleich zur jeweils vorangehenden Darbietung (Spalte 4).

Bedingung	RT in ms (mit 1SD)	Reaktionszeitverkürzung zu K1	Reaktionszeitverkürzung zu voriger Präsentation
K1	683 ± 63		
K2	650 ± 56	33 **	33 **
K3	643 ± 53	40 **	7 n.s.
K4	627 ± 52	56 **	16 **
L1	671 ± 61		
L2	663 ± 55	8 n.s.	8 n.s.
L3	653 ± 59	18 **	10 n.s.
L4	651 ± 70	20 *	2 n.s.

Anmerkungen zu Tabelle 1: Die Sternchen zeigen die Ergebnisse der orthogonalen Kontraste zwischen einzelnen Bedingungen. **: $p < .005$, *: $p = .05$, n.s.: nicht signifikant. Spalte 3: Signifikanzergebnisse für den Vergleich zur ersten Gesichterdarbietung; Spalte 4: Ergebnisse für den Vergleich mit der jeweils vorangehenden Gesichterdarbietung.

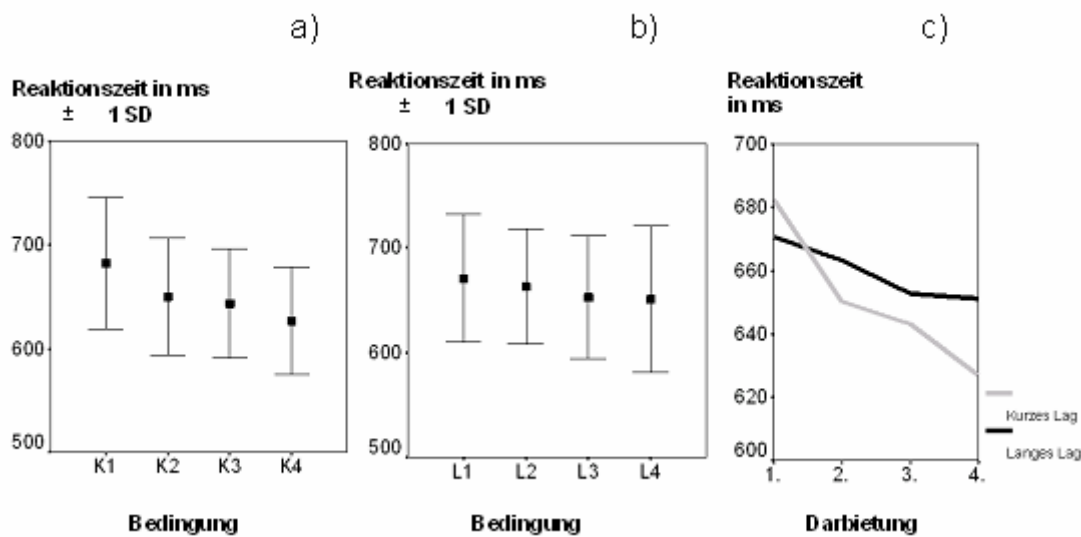


Abbildung 4.1: Mittlere Reaktionszeiten mit einer Standardabweichung für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag (K1 bis K4, a) und langem Lag (L1 bis L4, b) in Messung 1. Mittlere Reaktionszeiten im Kurvenverlauf von erster zu vierter Gesichterdarbietung für kurzes und langes Lag in Messung 1 (c).

Die in Kapitel 2.1 formulierte Frage 1a) nach generellen Effekten der Gesichterwiederholung auf Reaktionszeiten kann für Messung 1 somit im Sinne eines Effektes der Gesichterwiederholung auf die Reaktionszeiten, der in einer Reaktionszeitverkürzung bei Gesichterwiederholungen mit kurzem und langem Lag bestand, beantwortet werden. Frage 2a) nach dem Effekt des zeitlichen Abstandes auf die Stärke der Primingeffekte für die Reaktionszeiten kann im Sinne einer differentiellen Wirkung des Zeitabstandes auf die Stärke des Primingeffektes beantwortet werden. Der Primingeffekt war bei kurzem Abstand zwischen Wiederholungen etwa dreimal so stark wie bei langem Abstand.

Frage 3a) nach dem Verlauf des Primingeffektes über die viermaligen Gesichterwiederholungen kann für kurzes und langes Lag im Sinne einer Verstärkung des Primingeffektes bei mehrmaliger Wiederholung beantwortet werden. Dabei war im kurzen Lag eine Verstärkung des Primingeffektes, der schon von erster zu zweiter Darbietung bestand, von dritter zu vierter Darbietung zu beobachten, während sich im langen Lag erst von erster im Vergleich mit dritter Darbietung überhaupt ein Primingeffekt zeigte. Dieser verstärkte sich zur vierten Darbietung nicht signifikant.

Die Prozentzahl der Fehler bei der Entscheidung über die Zugehörigkeit zur Kategorie Erwachsenen- oder Kindergesicht lag in Messung 1 im Mittel über alle Gesichterdarbietungen bei $21 \pm 12\%$. Die ANOVA mit den Faktoren Lag und Wiederholung zeigte keine signifikanten Interaktionen oder Haupteffekte [HE Lag: $F_{(1, 10)} = 0.77, p = .40$; HE Wiederholung: $F_{(3, 30)} = 1.02, p = .32$; Wechselwirkung Lag * Wiederholung: $F_{(3, 30)} = 0.51, p = .67$]. In den für die Wiederholungen mit kurzem und langem Lag getrennt durchgeführten

einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung zeigten sich weder für das kurze Lag [$F_{(3, 30)} = 0.71$, $p = .45$] noch für das lange Lag [$F_{(3, 30)} = 1.27$, $p = .30$] Einflüsse der Wiederholung auf die Anzahl der Fehler. Die Fehlerzahl nahm in Messung 1 über die Wiederholungen somit nicht signifikant ab. Abbildung 4.2 zeigt die mittleren Fehler für kurzes und langes Lag über den Verlauf der Gesichterwiederholungen.

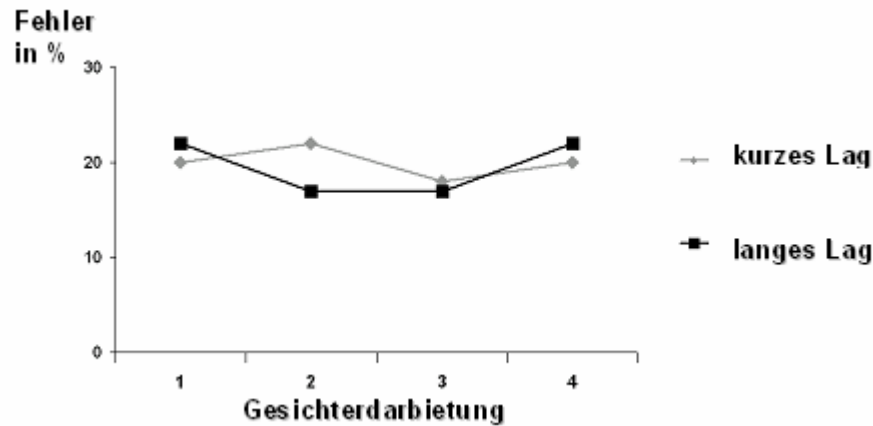


Abbildung 4.2: Mittlere Prozentzahl der Fehler in Messung 2 für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag und langem Lag in Messung 1.

Frage 1 b) nach dem Effekt der Gesichterwiederholung auf die Art der Stimulusentscheidung, die anhand der Fehlerzahl gemessen wurde, kann im Sinne einer Abwesenheit eines Primingeffektes in kurzem und langem Lag auf die Anzahl der Fehler beantwortet werden. Die über die Wiederholungen konstante Fehlerzahl von etwa 20% zeigt, daß die Aufgabe für die Versuchspersonen relativ schwierig war. Dies berichteten auch einige der Personen nach dem Ende des Primingexperiments von Messung 1.

4.1.2 Reaktionszeiten und Fehler in Messung 2

Die Reaktionszeiten für die ersten Gesichtsdarbietungen lagen in Messung 2 für das kurze Lag bei 652 ± 76 ms, für das lange Lag bei 643 ± 86 ms und unterschieden sich nicht signifikant voneinander [$t_{(9)} = 1.19$, $p = .26$]. Die statistische Überprüfung der Fragen zu Primingeffekten auf die Reaktionszeiten in Messung 2 geschah analog zu Messung 1 mittels ANOVAs und orthogonaler Kontraste. In Messung 2 waren die Gesichter den Personen schon aus Messung 1 und den Lernsitzungen bekannt. Die Lernsitzungen hatten dabei an den beiden Tagen vor der zweiten Messung stattgefunden und die letzte Aufgabe der Lernsitzungen, die in einer Attraktivitätsentscheidung für die Gesichter bestand, hatte etwa zwei Stunden vor Messung 2 stattgefunden.

Die ANOVA mit den Faktoren Lag und Wiederholung ergab für die Reaktionszeiten von Messung 2 nur einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(3, 24)} = 9.77$, $p = .000$, $\eta^2 = .52$]. Der Haupteffekt des Faktors Lag [$F_{(1, 8)} = 0.31$, $p = .59$] und die Interaktion zwischen Lag und Wiederholung [F

$(3, 24) = 1.16, p = .21]$ waren nicht signifikant. Trotz der nicht signifikanten Interaktion zwischen beiden Faktoren wurden getrennt für kurzes und langes Lag ANOVAs mit dem vierstufigen Faktor Wiederholung gerechnet und daran anschließend orthogonale Kontraste zum Vergleich der jeweils vier Darbietungen miteinander durchgeführt. Die ANOVA für das kurze Lag ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(3, 24)} = 11.65, p = .00, \text{Eta}^2 = .56$], und die orthogonalen Kontraste zeigten eine signifikante Abnahme der Reaktionszeiten im Vergleich der ersten mit allen weiteren Gesichterdarbietungen [K1 – K2: $F_{(1, 8)} = 14.7, p = .004, p = .624$; K1 – K3: $F_{(1, 8)} = 14.63, p = .004, \text{Eta}^2 = .62$; K1 – K4: $F_{(1, 8)} = 62.51, p = .000, \text{Eta}^2 = .564$]. In der Untersuchung des Verlaufs des Primingeffektes von jeder Darbietung zur nächsten mittels orthogonaler Kontraste zeigte sich nur von erster zu zweiter Darbietung eine signifikante Abnahme der Reaktionszeiten, von zweiter zu dritter und dritter zu vierter Darbietung verstärkte sich der Primingeffekt nicht mehr signifikant [K2 – K3: $F_{(1, 8)} = 2.53, p = .14$; K3 – K4: $F_{(1, 8)} = 0.12, p = .741$].

Die ANOVA über die vier Wiederholungen mit langem Lag zeigte ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(3, 24)} = 3.85, p = .029, \text{Eta}^2 = .30$]. Die orthogonalen Kontraste ergaben wie auch in der ersten Messung noch keine signifikante Abnahme der Reaktionszeiten von erster zu zweiter Darbietung [$F_{(1, 8)} = 0.06, p = .81$], eine Abnahme jedoch von erster zu dritter Darbietung [$F_{(1, 8)} = 6.02, p = .036, \text{Eta}^2 = .40$]. Erste und vierte Darbietung unterschieden sich wider erwarten nicht voneinander [$F_{(1, 8)} = 2.90, p = .12$]. In der Untersuchung des Verlaufs des Primingeffektes von jeder Darbietung zur nächsten bestand eine Reaktionszeitverkürzung von zweiter zu dritter Darbietung [$F_{(1, 8)} = 8.13, p = .019, \text{Eta}^2 = .475$], aber nicht von dritter zu vierter Präsentation [$F_{(1, 8)} = 0.58, p = .815$].

Tabelle 2 zeigt die Reaktionszeiten und ihre Veränderungen für die zweite Messung. Die Abbildungen 4.3a) b) zeigen die mittleren Reaktionszeiten getrennt für kurzes und langes Lag und jeweils für die vier Gesichterdarbietungen. In Abbildung 4.3c) sind die Reaktionszeiten für kurzes und langes Lag in einer Abbildung dargestellt. Es fällt in dieser Abbildung auf, daß die Reaktionszeiten in der dritten und vierten Gesichterdarbietung sich nicht mehr zwischen beiden Lagvariationen unterscheiden. Diese Beobachtung bestätigte sich in zwei t-Tests [K3 vs. L3: $t_{(9)} = -0.06, p = .95$; K4 vs. L4: $t_{(9)} = -0.12, p = .90$].

Tabelle 2: Reaktionszeiten in ms mit einer Standardabweichung (SD) für Messung 2 (Spalte 2). Reaktionszeitverkürzungen bei zweiter, dritter und vierter Gesichterdarbietung im Vergleich zu ersten Darbietung (Spalte 3) sowie im Vergleich zur jeweils vorangehenden Darbietung (Spalte 4).

Bedingung	RT in ms (mit 1SD)	Reaktionszeitverkürzung zu K1	Reaktionszeitverkürzung zu voriger Präsentation
K1	652 ± 78		
K2	630 ± 72	22 **	22 **
K3	620 ± 70	32 **	10 n.s.
K4	618 ± 79	34 **	2 n.s.
L1	643 ± 86		
L2	645 ± 82	Verlängerung um 8 n.s.	Verlängerung um 8 n.s.
L3	621 ± 74	22 **	24 *
L4	619 ± 78	24 n.s.	2 n.s.

Anmerkungen zu Tabelle 2: Die Signifikanzangaben zeigen die Ergebnisse der orthogonalen Kontraste zwischen einzelnen Bedingungen anhand von Sternchen für signifikante Ergebnisse. **: $p < .05$, *: $p = .005$, n.s.: nicht statistisch signifikant. In Spalte 3 sind die Signifikanzergebnisse für den Vergleich zur ersten Gesichterdarbietung angegeben, in Spalte 4 werden die Ergebnisse für den Vergleich mit der jeweils vorangehenden Darbietung gezeigt.

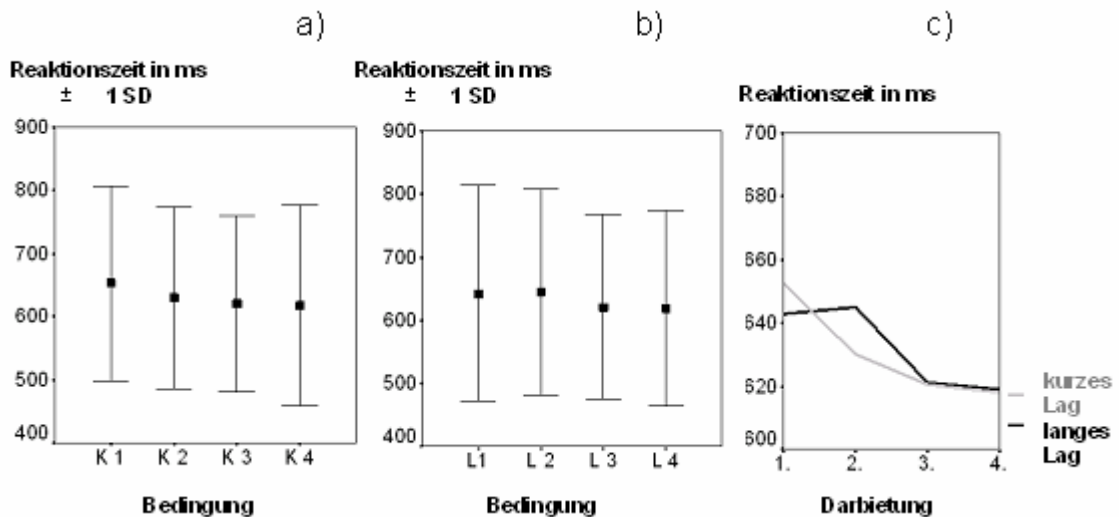


Abbildung 4.3: Mittlere Reaktionszeiten mit einer Standardabweichung für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag (K1 bis K4, a) und langem Lag (L1 bis L4, b) in Messung 2. Mittlere Reaktionszeiten im Kurvenverlauf von erster zu vierter Gesichterdarbietung für kurzes und langes Lag in Messung 1 (c).

Es wurde wie auch in Messung 1 untersucht, ob sich die Reaktionszeitdifferenzen zwischen erster und vierter Darbietung zwischen kurzem und langem Lag unterschieden. Für das kurze Lag wurde eine Reaktionszeitverkürzung von 34 ± 13 ms erreicht, für das lange Lag von 24 ± 47 ms. Diese beiden Differenzwerte unterschieden sich nicht signifikant voneinander [$t_{(9)} = 0.59$, $p = .57$]. Der Primingeffekt hatte im langen Lag dieselbe Stärke wie im kurzen Lag.

Für die Reaktionszeiten von Messung 2 kann Frage 1a) nach einem Effekt der Gesichterwiederholung auf die Reaktionszeiten im Sinne einer signifikanten Abnahme der Reaktionszeiten sowohl für Wiederholungen mit kurzem Lag als auch für Wiederholungen mit langem Lag beantwortet werden. Frage 2a) nach der differentiellen Wirkung des Lags auf die Ausprägung der Primingeffekte muss für Messung 2 im Sinne einer Abwesenheit eines differentiellen Effektes des Lags auf die Stärke der Primingeffekte beantwortet werden. Der Primingeffekt war von Darbietung 1 zu 4 im langen Lag genauso stark wie im kurzen Lag.

Frage 3a) nach dem Verlauf des Primingeffektes über die Wiederholungen kann vor allem für die Wiederholungen mit kurzem Lag im Sinne einer Saturierung des Primingeffektes beantwortet werden. Für das kurze Lag ergab sich eine Verkürzung der Reaktionszeiten nur von der ersten zur zweiten Darbietung, danach zeigte sich keine weitere Verstärkung des Primingeffektes. Der Primingeffekt erreichte seine volle Stärke so schon bei der ersten Wiederholung und profitierte nicht signifikant von weiteren Gesichterwiederholungen. Für das lange Lag zeigte sich jedoch von erster zu zweiter Darbietung noch kein Primingeffekt, sondern der Primingeffekt bestand erst von erster zu dritter Darbietung. Die vierte Darbietung unterschied sich dagegen nicht signifikant von der ersten Darbietung. Die Betrachtung der Reaktionszeiten für die Einzelpersonen zeigte, daß sich bei drei von den zehn Personen von dritter zu vierter Darbietung eine Reaktionszeitverlängerung zeigte, was möglicherweise mit Ermüdungseffekten im Laufe des Experiments zu tun haben könnte. Die übrigen sieben Personen zeigten eine Reaktionszeitverkürzung. Ein Ermüdungseffekt hätte jedoch dann auch schon in der ersten Messung zu erkennen sein müssen, er hatte sich dort aber nicht gezeigt. Für das lange Lag kann Frage 3a) insgesamt im Sinne einer Verstärkung des Primingeffektes im Laufe der ersten drei Darbietungen beantwortet werden, eine Saturierung setzte jedoch möglicherweise auch im langen Lag nach der dritten Darbietung ein.

Die Fehleranzahl unterschied sich in Messung 2 nicht zwischen den ersten Darbietungen mit kurzem und langem Lag [$t_{(9)} = 1.48$, $p = .17$]. Ebenso ergab eine ANOVA mit den Faktoren Lag und Wiederholung keine Haupteffekte für Lag [$F_{(1, 8)} = 0.05$, $p = .85$] und Wiederholung [$F_{(3, 24)} = 0.29$, $p = .83$]. Die Interaktion zwischen Lag und Wiederholung war fast signifikant [$F(3) = 2.846$, $\text{Eta}^2 = .24$, $p = .06$]. Um die fast signifikante Interaktion weiter zu untersuchen, wurden ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung für die Darbietungen mit kurzem und langem Lag getrennt gerechnet. Es ergab sich jedoch weder für das kurze noch für das lange Lag eine Veränderung der Fehler über die vier Darbietungen [kurzes Lag: $F_{(3, 24)} = 1.01$, $p = .21$; langes Lag: $F_{(3, 24)} = 2.12$, $p = .12$]. In den Fehlerzahlen von Messung 2 zeigten sich wie auch in Messung 1 somit keine Effekte der Gesichterwiederholung. Im Mittel über alle Darbietungen und kurzes und langes Lag machten die Versuchspersonen in der zweiten Messung 12 ± 7 % Fehler. Abbildung 5.4 zeigt die Fehlerzahl in Prozent für kurzes und langes Lag über die vier Wiederholungen.

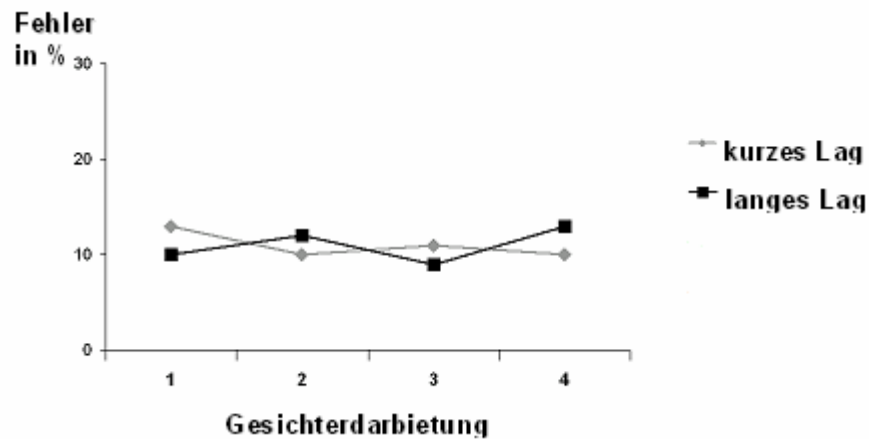


Abbildung 4.4: Mittlere Prozentzahl der Fehler in Messung 2 für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem und langem Lag.

4.1.3 Vergleich der Reaktionszeiten und Fehler von Messung 1 und 2

Um Unterschiede zwischen den Reaktionszeiten in Messung 1 und 2 zu untersuchen, wurden die Reaktionszeiten zunächst unter Einbeziehung eines zusätzlichen Faktors, der „Messung“ genannt wurde und Messung 1 und 2 als Faktorstufen enthielt, miteinander verglichen. Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Messung, Lag und Wiederholung gerechnet, in der sich signifikante Haupteffekte der Faktoren Messung [$F_{(1, 8)} = 5.75, p = .04, \text{Eta}^2 = .39$] und Wiederholung [$F_{(3, 24)} = 24.49, p = .000, \text{Eta}^2 = .73$] auf die Reaktionszeiten zeigten. Diese Effekte drückten aus, daß die Reaktionszeiten für die erste Messung länger als für die zweite Messung waren, sich aber insgesamt über die jeweils vier Gesichterwiederholungen eine Verkürzung der Reaktionszeiten ergeben hatte. Als Interaktion ergab sich einzig ein Wechselwirkungseffekt zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(3, 24)} = 6.32, p = .005, \text{Eta}^2 = .413$]. Alle anderen Haupteffekte und Interaktionen waren nicht signifikant [Haupteffekt Lag: $F_{(1, 8)} = 4.59, p = .061, \text{Eta}^2 = .34$; Interaktion Messung * Lag: $F_{(1, 8)} = 2.17, p = .175$; Interaktion Messung * Wiederholung: $F_{(3, 24)} = 1.13, p = .36$; Interaktion Messung * Lag * Wiederholung: $F_{(3, 24)} = 1.26, p = .31$].

Die signifikant kürzeren Reaktionszeiten in Messung 2 im Vergleich zu Messung 1 – ausgedrückt durch den Haupteffekt des Faktors Messung – zeigten sich schon für die jeweils ersten Darbietungen (K1 und L1). Die Reaktionszeiten für die Bedingung K1 unterschieden sich zwischen Messung 1 und 2 [$t_{(9)} = 3.13, p = .012$] und die Reaktionszeiten für die Bedingung L1 unterschieden sich ebenfalls zwischen beiden Messungen [$t_{(9)} = 2.36, p = .043$]. Dabei war die Reaktionszeitdifferenz zwischen Messung 1 und 2 für die Reaktionen auf die jeweils ersten Darbietungen für das kurze Lag (K1 Messung 1 – K1 Messung 2) jedoch nicht stärker ausgeprägt als für das lange Lag (L1 Messung 1 – L1 Messung 2) [$t_{(9)} = 0.61, p = .56$]. Für die weiteren Darbietungen unterschieden sich die Reaktionszeiten zwischen Messung 1 und 2 nur für die dritten und

vierten Darbietungen des langen Lags [L2 Messung 1 – L2 Messung 2: $t_{(9)} = 1.23$, $p = .25$; L3 Messung 1 – L3 Messung 2: $t_{(9)} = 3.29$, $p = .009$; L4 Messung 1 – L4 Messung 2: $t_{(9)} = 2.17$, $p = .058$]. Die Darbietungen des kurzen Lags (K2, K3 und K4) unterschieden sich nicht zwischen Messung 1 und 2 [K2 Messung 1 – K2 Messung 2: $t_{(9)} = 1.78$, $p = .11$; K3 Messung 1 – K3 Messung 2: $t_{(9)} = 1.80$, $p = .10$; K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $t_{(9)} = 0.91$, $p = .38$].

Der Primingeffekt in Messung 2 zeigte für das kurze Lag eine schwächere Ausprägung als in Messung 1. In Messung 1 hatte sich eine Reaktionszeitabnahme von 56 ms von erster zu vierter Darbietung im kurzen Lag ergeben, während diese in Messung 2 nur 34 ms betrug. Ein t-Test zeigte signifikante Unterschiede in der Größe der Differenzwerte der Reaktionszeiten von erster und vierter Darbietung (K1 – K4) zwischen Messung 1 und 2 [$t_{(9)} = -3.75$, $p = .007$]. Für das lange Lag zeigten sich in beiden Messungen etwa gleich starke Abnahmen der Reaktionszeiten: in Messung 1 betrug die Abnahme von erster zu vierter Darbietung im Mittel 20 ms, in Messung 2 betrug sie 24 ms. Hier unterschieden sich die Differenzen zwischen erster und vierter Darbietung nicht von Messung 1 zu 2 [$t_{(9)} = -0.374$, $p = .71$].

Die mittleren Reaktionszeiten für Messung 1 und 2 und kurzes und langes Lag sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Die Betrachtung des Kurvenverlaufs zeigt eine Annäherung der Kurven im Verlauf von Darbietung eins zu vier zwischen beiden Messungen für das kurze Lag, während die beiden Kurven für das lange Lag sich im Vergleich von Messung 1 und 2 eher parallel zueinander verhalten. Die Reaktionszeiten nähern sich für das kurze Lag im Laufe der Wiederholungen schon in Messung 1 einem Wert, auf dem sie ab der zweiten Gesichterdarbietung in Messung 2 stagnieren, während in Messung 1 für das lange Lag dieser Wert noch bei weitem nicht erreicht ist. Eine Stagnation der Reaktionszeiten ist in Messung 2 jedoch auch im langen Lag zu beobachten. Hier unterscheiden sich die Reaktionszeiten zwar durchgängig zu Messung 1, eine Grenze des Primingeffektes scheint jedoch ab der dritten Darbietung auch für das lange Lag erreicht zu sein, und die Reaktionszeiten nehmen zur vierten Darbietung nicht weiter ab.

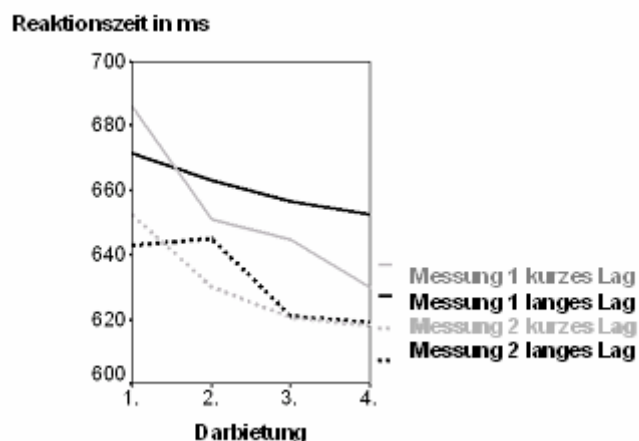


Abbildung 4.5: Reaktionszeiten für Messung 1 und 2 und kurzes und langes Lag für die ersten bis vierten Gesichterdarbietungen.

Frage 4a) nach dem Effekt variierender Vertrautheit mit Gesichterstimuli auf die Ausprägung der Primingeffekte kann im Sinne eines unterschiedlichen Verlaufs und einer unterschiedlichen Ausprägung der

Primingeffekte im Vergleich völlig unbekannter und visuell vertrauter Gesichter in folgender Weise beantwortet werden:

1.) Das Lag hatte für die unbekanntes Gesichter (Messung 1) einen Einfluß auf die Stärke der Primingeffekte im Sinne eines schwächeren Effektes für das kurze als für das lange Lag. Für die visuell vertrauten Gesichter (Messung 2) zeigte sich kein Einfluß des Lags auf die Stärke der Primingeffekte.
- 2). Der Primingeffekt für das kurze Lag war für die unbekanntes Gesichter stärker als für die visuell vertrauten Gesichter. Er unterschied sich für das lange Lag jedoch in seiner Stärke nicht zwischen der Wiederholung unbekannter und visuell vertrauter Gesichter.
- 3). Der Primingeffekt zeigte für das kurze Lag in Messung 1 noch keinen Anhaltspunkt für eine Sättigung, in Messung 2 sättigte der Primingeffekt jedoch schon nach der ersten Wiederholung (Darbietung 2) und verstärkte sich für die weiteren Gesichterwiederholungen nicht mehr. Für das lange Lag zeigte sich in Messung 1 und in den ersten drei Darbietungen von Messung 2 kein Anhaltspunkt für eine Sättigung des Primingeffektes. Eine Stagnation ergab sich jedoch in Messung 2 von dritter zu vierter Darbietung. Diese könnte möglicherweise auch durch eine Ermüdung der Probanden begründet sein. Es ist jedoch anzumerken, daß sich diese Ermüdung auch in Messung 1 hätte zeigen sollen, da das Primingexperiment dort identisch zu Messung 2 aufgebaut war. Somit zeigt sich möglicherweise auch für das lange Lag eine Sättigung des Primingeffektes, die nach der dritten Darbietung in Messung 2 einsetzt.

Frage 5a) nach generellen Unterschieden in den Reaktionszeiten in der Primingaufgabe für unbekanntes und visuelle vertraute Gesichter, die in schon für die Reaktionen auf die jeweils ersten Darbietungen bestehen sollten und somit unabhängig von der Primingwiederholung innerhalb der beiden Primingexperimente sein sollten, kann sowohl für kurzes als auch langes Lag im Sinne einer Reaktionszeitverkürzung für die Reaktionen auf visuell vertraute Gesichter beantwortet werden. Diese Reaktionszeitverkürzung von Messung 1 zu Messung 2 war dabei für beide Lags gleich stark ausgeprägt.

Der generelle Unterschied zwischen den Reaktionszeiten von Messung 1 und 2 im Sinne eines Haupteffektes des Faktors Messung könnte einerseits durch die Herstellung der Vertrautheit mit den Gesichtern erklärt werden, die dann die Entscheidung Erwachsenengesicht / Kindergesicht für die Versuchspersonen erleichtert. Er könnte aber auch durch die reine Vertrautheit mit der experimentellen Aufgabe entstanden sein, die unabhängig von der Vertrautheit mit den Gesichtern besteht. Ein solcher Effekt kann nicht ausgeschlossen werden; Messung 1 und 2 lagen allerdings drei Monate und damit zeitlich relativ lang auseinander, so daß der alleinige Einfluß der Vertrautheit mit der Aufgabe als Ursache der Reaktionszeitverkürzung von Messung 1 zu 2 eher unwahrscheinlich erscheint. Stattdessen könnte die Vertrautheit mit den Gesichterstimuli, die kurze Zeit vorher in den Lernsituationen gesehen worden waren, eher eine Verkürzung der Reaktionszeiten bewirkt haben. Eine Vertrautheit mit der Aufgabe sollte zudem auch nicht zu einem Verlust der differentiellen Wirkung des Lags führen, die sich in Messung 2 jedoch zeigte. Abbildung 4.6 zeigt den Verlauf der Reaktionszeiten für die jeweils vier Wiederholungen beider Primingexperimente für kurzes Lag (rot) und langes Lag (blau). Dabei bezeichnen die Gesichterdarbietungen 1 bis 4 die vier Wiederholungen der völlig

unbekannten Gesichter. Die Darbietungen 5 bis 8 bezeichnen die vier Wiederholungen der visuell vertrauten Gesichter in Messung 2. Der senkrechte Strich bezeichnet die Trennung zwischen beiden Primingmessungen.

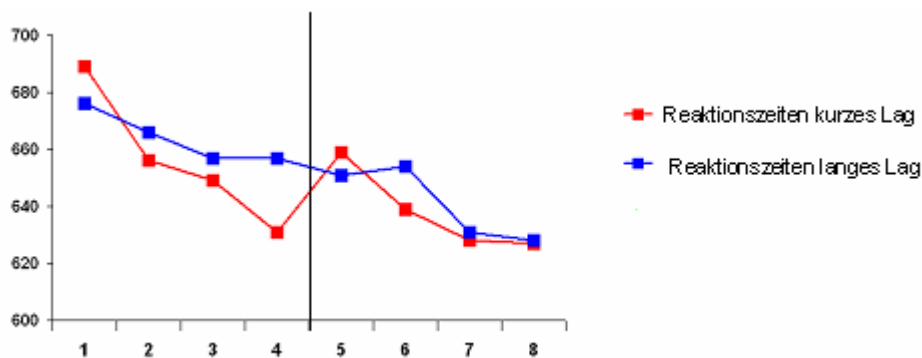


Abbildung 4.6: Mittlere Reaktionszeiten für Messung 1 und 2 und kurzes und langes Lag für die ersten bis vierten Gesichterdarbietungen. Die Zahlen 1 bis 4 bezeichnen die Darbietungen in der ersten Messung, die Zahlen 5 bis 8 bezeichnen die Gesichterdarbietungen in der zweiten Messung.

Wichtig ist, bei der Betrachtung von Abbildung 4.6 zu berücksichtigen, daß zwischen Darbietung 4 und 5 das Lerntraining für die Gesichter lag. Für das kurze Lag erschien die Reaktionszeit bei der ersten Darbietung in Messung 2 (Darbietung 5) länger als bei der vierten Darbietung in Messung 1. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant [$t_{(9)} = 1.67, p = .13$]. Für das lange Lag zeigte sich ebenfalls kein Unterschied zwischen der letzten Darbietung in Messung 1 (Darbietung 4) und der ersten Darbietung in Messung 2 [Darbietung 5; $t_{(9)} = -0.79, p = .45$]. Das Lerntraining wirkte somit nicht im Sinne einer Verkürzung der Reaktionszeiten bei erster Darbietung in Messung 2 im Vergleich mit der letzten Darbietung in Messung 1. Die Reaktionszeiten schienen im Gegenteil bei der ersten Darbietung in Messung 2 (Darbietung 5) auf demselben Niveau zu liegen, auf dem sie in Messung 1 (Darbietung 4) stehengeblieben waren.

Für die Fehlerzahlen bei der Entscheidung über die Zugehörigkeit eines Gesichts zur Kategorie Kind oder Erwachsener ergab sich trotz der Abwesenheit von Primingeffekten der Gesichterwiederholung auf die Fehlerzahl innerhalb der Experimente in Messung 1 und 2 eine Abnahme der Fehler von Messung 1 zu 2 von $8 \pm 4\%$. Die Fehlerzahl hatte sich somit in etwa halbiert. Die Fehler von Messung 1 und 2 unterschieden sich für die ersten Darbietungen von kurzem [$t_{(9)} = 3.29, p = .009$] und langem Lag [$t_{(9)} = 6.32, p = .005$] signifikant zwischen Messung 1 und 2. Abbildung 4.7 zeigt in selber Weise wie für die Reaktionszeiten in Abbildung 5.6 den Verlauf der Fehlerprozent über alle Primingwiederholungen. Bei den Fehlern ist der deutliche Unterschied von Messung 1 zu Messung 2 (gekennzeichnet durch den senkrechten Strich nach Darbietung 4) zu erkennen.

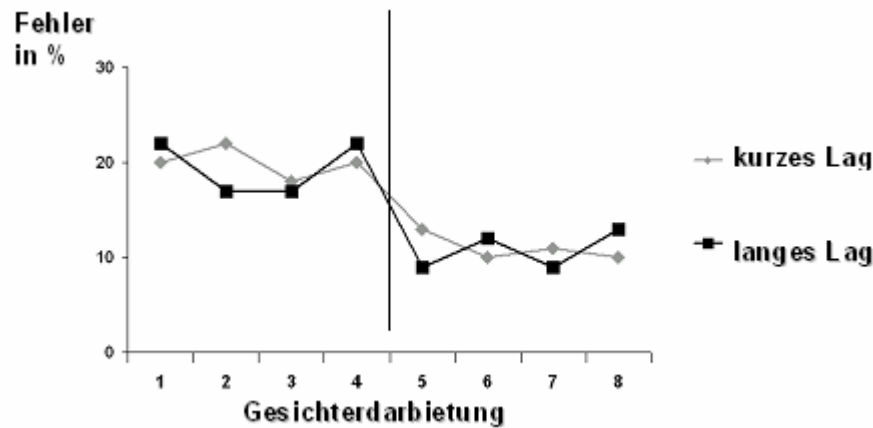


Abbildung 4.7: Gruppennittel der Fehler in Prozent (%) für Messung 1 (Darbietungen 1 bis 4) und Messung 2 (Darbietungen 5 bis 8) und kurzes und langes Lag.

Frage 4 b) fragte nach dem Primingeffekt auf die Fehlerzahl in Abhängigkeit von der Vertrautheit der Gesichter. Es zeigten sich im jedoch Experiment weder für Messung 1 noch für Messung 2 Effekte der Gesichterwiederholungen mit kurzem oder langem Lag auf die Anzahl der Fehler. Ein Primingeffekt war in beiden Messungen nicht vorhanden. Frage 5 b) fragte nach dem Effekt unterschiedlicher Vertrautheit mit den Gesichtern im Sinne einer Veränderung der Fehlerzahlen für die ersten Darbietungen mit kurzem oder langem Lag im Vergleich von Messung 1 und 2. Die Vertrautheit mit den Gesichtern bewirkte eine Halbierung der Fehlerzahlen.

Diese Halbierung kann mit der Intervention der Lernsitungen, die zwischen den beiden Messungen des Primingexperimentes durchgeführt wurden, oder mit dem Vergehen der Zeit von drei Monaten zwischen Messung 1 und 2 erklärt werden. In Messung 1 hatte die Fehlerzahl mit 20 % Fehlentscheidungen relativ hoch gelegen und die Versuchspersonen bezeichneten die experimentelle Aufgabe als schwierig. In Messung 2 konnte die Zuordnung Kinder- / Erwachsenengesicht möglicherweise aufgrund der Vertrautheit der Gesichter mit einiger geringeren Fehlerzahl getroffen werden.

Die Kindergesichter waren in den Lernsitungen 1 und 2 nur etwa $\frac{1}{4}$ mal so oft wie die Erwachsenengesichter präsentiert worden. Es ist prinzipiell möglich, daß eine Entscheidung über die Zuordnung zur Kategorie Kind / Erwachsener von den Versuchspersonen in Messung 2 aufgrund der Häufigkeit, mit der die Gesichter in den Lernsitungen gesehen worden waren, vorgenommen wurde und so die Gesichter, die in den Lernsitungen seltener gesehen worden waren, als Kindergesichter erkannt wurden. Diese Möglichkeit kann nicht ausgeschlossen werden und stellt in der Interpretation des Vertrautheitseffektes auf die Fehleranzahl eine konfundierende Variable dar. Es sollte jedoch nicht vergessen werden, daß in den Lernsitungen insgesamt etwa 1560 Gesichterpräsentationen stattfanden, und daß eine Unterscheidung der 300 Erwachsenengesichter und 80 Kindergesichter nur aufgrund der Wiederholungshäufigkeit als eine sehr schwierige Aufgabe erscheint.

4.2 Ergebnisse der Auswertung ereigniskorrelierter Felder

Zur Auswertung der ereigniskorrelierten Felder wurden für jede Person bis zu fünf Kanäle mit dem stärksten Messsignal zum Zeitpunkt des M170-Feldmusters in rechter und linker Hemisphäre ausgewählt und über diese Kanäle ein Mittel gebildet. Alle Zeitkurven wurden dann auf Unterschiede zwischen experimentellen Bedingungen hin statistisch untersucht. Dabei wurden für M100, M170 und M200 die Peakamplituden untersucht, für Zeitbereiche ab 300 ms wurde über längere Zeitintervalle gemittelt. Alle nicht signifikanten Effekte der Testungen von M100, M170 und M200 werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht im Text berichtet, sondern sind in Tabellen dargestellt.

Die Effekte der Gesichterwiederholung und ihre Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand zwischen den Darbietungen wurden in folgender Weise untersucht: Zunächst wurde für jeden zu untersuchenden Peak oder Zeitbereich eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit den beiden messwiederholten Faktoren Lag und Wiederholung gerechnet. Diese ANOVA sollte bei Zutreffen der Hypothesen vor allem eine Interaktion zwischen Lag und Wiederholung zeigen, die den unterschiedlichen Effekt des Lags auf die Stärke des Wiederholungseffekte ausdrückte. Zusätzlich sollte ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Wiederholung bestehen, wenn es wie angenommen sowohl für das lange als auch für das kurze Lag einen Effekt der Gesichterwiederholung gab. Wenn sich in der zweifaktoriellen ANOVA signifikante Haupteffekte oder Wechselwirkungen zeigten, wurden diese mittels einfaktorieller ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die getrennt für das kurze und lange Lag gerechnet wurden, weiter untersucht.

In der derart durchgeführten Auswertung der ereigniskorrelierten Potentiale und Felder zeigten sich jedoch oftmals in der zweifaktoriellen ANOVA auch dann keine Haupteffekte oder Wechselwirkungen, wenn sich in den einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung für eines der beiden Lags ein Haupteffekt der Wiederholung zeigte. Solche fehlenden Interaktionen zwischen Lag und Wiederholung in der zweifaktoriellen ANOVA bei einem Haupteffekt Wiederholung für eines der beiden Lags in den einfaktoriellen ANOVAs sind möglicherweise durch die relativ kleine Stichprobe der vorliegenden Arbeit und kleine experimentelle Effekte bei großer Varianz in den Daten, die vor allem für das MEG aufgrund seiner fokalen Messfähigkeiten entstehen, bedingt. Somit war die Stärke der statistischen Tests möglicherweise nicht groß genug, um eine Interaktion zu entdecken. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung für kurzes und langes Lag daher auch dann berichtet, wenn sich in den zweifaktoriellen ANOVAs keine signifikanten Effekte zeigen.

4.2.1 Ereigniskorrelierte Felder in Messung 1

Die über alle Personen gemittelten Zeitkurven der M170-Kanalauswahl sind für die linke Hemisphäre in Abbildung 4.8 und für die rechte Hemisphäre in Abbildung 4.9 dargestellt.

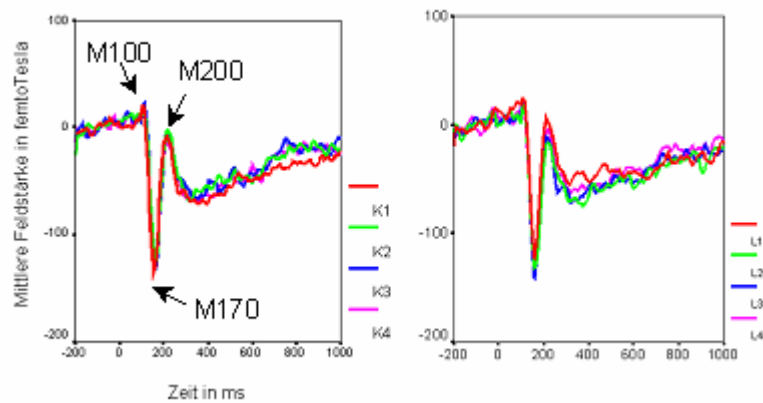


Abbildung 4.8: Zeitkurven für das Gruppenmittel der ereigniskorrelierten Felder der linkshemisphärischen M170-Kanalauswahl für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag (links, K1 bis K4) und die Wiederholungen mit langem Lag (rechts, L1 bis L4).

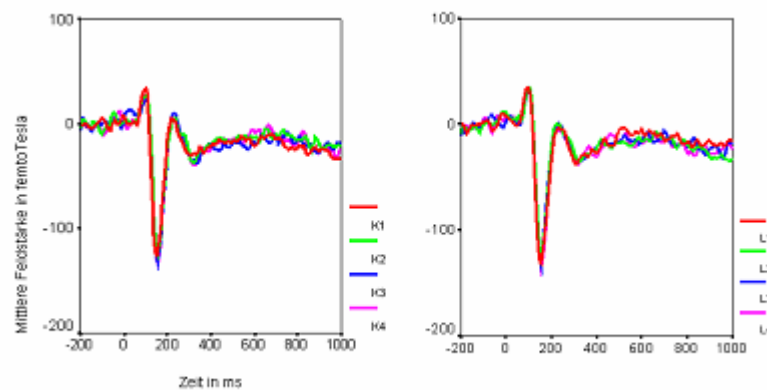


Abbildung 4.9: Zeitkurven für das Gruppenmittel der ereigniskorrelierten Felder der rechtshemisphärischen M170-Kanalauswahl für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag (links, K1 bis K4) und die Wiederholungen mit langem Lag (rechts, L1 bis L4).

4.2.1.1 M100, M170 und M200 in Messung 1

Die experimentelle Manipulation zeigte in den ANOVAs keine Effekte auf die Amplituden von M100 und M170 in linker und rechter Hemisphäre. Tabelle 3 zeigt alle Ergebnisse der Varianzanalysen für die Peakamplituden der beiden Komponenten. Für die Peakamplitude der M200 wurden an der linken Hemisphäre keine signifikanten Haupteffekte der Faktoren Lag [$F_{(1, 11)} = 0.05$, $p = .84$] und Wiederholung [$F_{(3, 33)} = 1.56$, $p = .22$], aber eine Interaktion zwischen beiden Faktoren gefunden [$F_{(3, 33)} = 4.85$, $p = .007$, $\text{Eta}^2 = .31$]. Diese war begründet durch eine signifikante Abnahme der M200-Amplitude über die Gesichterwiederholungen mit langem Lag [$F_{(3, 33)} = 4.56$, $p = .009$, $\text{Eta}^2 = .29$], die für das kurze Lag nicht

bestand [$F_{(3, 33)} = 10.28, p = .39$]. Für die rechte Hemisphäre zeigten sich keinerlei Effekte der Gesichterwiederholung auf die M200-Amplitude (zu den genauen Ergebnissen der statistischen Tests siehe Tabelle 3). Die orthogonalen Kontraste für die Amplitude der M200 an der linken Hemisphäre zeigten einen Unterschied schon von erster zu zweiter Darbietung [$L1 - L2: F_{(1, 11)} = 1.7.14, p = .002, \text{Eta}^2 = .61$], der auch zu allen weiteren Darbietungen bestand [$L1 - L3: F_{(1, 11)} = 4.99, p = .047, \text{Eta}^2 = .31$; $L1 - L4: F_{(1, 11)} = .549, p = .039, \text{Eta}^2 = .33$], sich aber über die Wiederholungen nicht weiter verstärkte [$L2 - L3: F_{(1, 11)} = 2.74, p = .12$; $L3 - L4: F_{(1, 11)} = 0.13, p = .72$].

4.2.1.2 Ereigniskorrelierte Felder ab 300 ms in Messung 1

Für die späten Zeitbereiche zeigten sich in der Ansicht der Zeitkurven (siehe Abbildungen 4.8 und 4.9) Unterschiede zwischen den Gesichterdarbietungen zunächst in der linken Hemisphäre für das lange Lag im Zeitbereich von etwa 300 ms bis 500 ms. In der zweifaktoriellen ANOVA mit Lag und Wiederholung war für die über diesen Zeitbereich gemittelte ereigniskorrelierte Feldstärke eine signifikante Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren [$F_{(3, 33)} = 3.22, p = .04, \text{Eta}^2 = .23$] zu beobachten. Die beiden Haupteffekte Lag und Wiederholung waren dagegen nicht signifikant [HE Lag: $F_{(1, 11)} = 1.02, p = .33$; HE Wiederholung: $F_{(3, 33)} = 0.73, p = .55$]. Die ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die getrennt für die Darbietungen mit kurzem und langem Lag gerechnet wurden, bestätigten den visuellen Eindruck. Ein Haupteffekt der Wiederholung zeigte sich in der linken Hemisphäre nur für das lange Lag [$F_{(3, 33)} = 3.62, p = .023, \text{Eta}^2 = .25$; kurzes Lag: $F_{(2.6, 28.4)} = 1.17, p = .34$]. Die orthogonalen Kontraste zeigten einen Unterschied schon von erster zu zweiter Darbietung [$L1 - L2: F_{(1, 11)} = 9.14, p = .01, \text{Eta}^2 = .45$], der auch von erster zu dritter Darbietung bestand [$L1 - L3: F_{(1, 11)} = 6.86, p = .02, \text{Eta}^2 = .38$], von erster zu vierter Darbietung dagegen knapp unter der Signifikanzgrenze lag [$F_{(1, 11)} = 3.58, p = .08, \text{Eta}^2 = .21$].

So zeigte sich auch im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms keine Verstärkung des Primingeffektes über die Wiederholungen. Der Effekt schien stattdessen von erster zu zweiter Darbietung am stärksten zu sein. In gepaarten t-Tests, die über Zeitfenster von 50 ms im Bereich von 250 ms bis 550 ms und den Vergleich zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung (L1 vs. L4) gerechnet wurden, wurde versucht, den Zeitbereich des Wiederholungseffektes im langen Lag genauer zu bestimmen. Die t-Tests zeigten nur für das Zeitintervall von 450 ms bis 500 ms einen fast signifikanten Unterschied zwischen erster und vierter Darbietung [$t_{(11)} = 2.13, p = .057$; alle anderen t-Tests $p > .15$], der eine Bonferronikorrektur für multiple t-Tests ($p < .008$) jedoch bei weitem nicht überlebte. In der rechten Hemisphäre waren im selben Zeitbereich keinerlei Effekte der Gesichterwiederholung zu erkennen [ANOVA Lag * Wiederholung: HE Lag: $F_{(1, 11)} = 0.11, p = .75$; HE Wiederholung: $F_{(2.3, 25.8)} = 0.12, p = .92$, WW Lag * Wiederholung: $F_{(1.3, 14.3)} = 0.08, p = .84$; einfaktorielles ANOVAs: HE Wiederholung kurzes Lag: $F_{(1.4, 17.5)} = 0.16, p = .81$; langes Lag: $F_{(1.5, 16.2)} = 0.01, p = .96$].

Ein weiterer Effekt der Gesichterwiederholung zeigte sich in der visuellen Ansicht der Zeitkurven im Bereich von etwa 700 ms bis 900 ms nur für das kurze Lag in der linken Hemisphäre. Dieser Eindruck wurde in der

statistischen Testung der über diesen Zeitbereich gemittelten Feldstärke bestätigt: für das kurze Lag zeigte sich in der einfaktoriellen ANOVA ein Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(3,33)} = 3.48$, $p = .027$, $\text{Eta}^2 = .24$]. Die orthogonalen Kontraste ergaben schon im Vergleich der ersten mit der zweiten Gesichterdarbietung einen deutlichen Unterschied zwischen der Stärke der ereigniskorrelierten Felder [$F_{(1,11)} = 12.6$, $p = .005$, $\text{Eta}^2 = .53$]. Dieser Unterschied bestand auch zwischen erster und dritter Darbietung [$F_{(1,11)} = 5.8$, $p = .03$, $\text{Eta}^2 = .34$], war jedoch nur nahezu signifikant zwischen erster und vierter Darbietung [$F_{(1,11)} = 4.37$, $p = .06$, $\text{Eta}^2 = .28$]. Es zeigte sich somit keine Verstärkung des Primingeffektes über die Wiederholungen, sondern der Unterschied erschien zwischen erster und zweiter Darbietung am größten. Für das lange Lag war im Zeitbereich von 700 ms bis 900 ms in der einfaktoriellen ANOVA an der rechten Hemisphäre kein Effekt der Gesichterwiederholung zu beobachten [$F_{(3,33)} = 1.07$, $p = .38$].

Tabelle 3. Nicht signifikante Ergebnisse der Varianzanalysen für M100, M170 und M200 der M170-Kanalauswahl in Messung 1.

Komponente / Hemisphäre	Art der ANOVA	Art des Effektes	df	F-Wert	P
M100 links	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,11	1.87	.25
		HE Wiederholung	3,33	0.72	.54
		WW Lag*Wiederholung	3,33	1.28	.30
	Wiederholung kurzes Lag	HE Wiederholung	3,33	0.027	.83
	Wiederholung langes Lag	HE Wiederholung	2.2, 24.7	1.55	.23
M100 rechts	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,11	1.87	.19
		HE Wiederholung	3,33	0.53	.62
		WW Lag*Wiederholung	3,33	0.39	.63
	Wiederholung kurzes Lag	HE Wiederholung	3,27	0.74	.54
	Wiederholung langes Lag	HE Wiederholung	3,27	0.84	.49
M170 links	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,11	0.06	.82
		HE Wiederholung	3,33	0.59	.63
		WW Lag*Wiederholung	3,33	1.28	.31
	Wiederholung kurzes Lag	HE Wiederholung	3,33	0.35	.79
	Wiederholung langes Lag	HE Wiederholung	3,33	2.13	.12
M170 rechts	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,11	2.03	.18
		HE Wiederholung	3,33	1.32	.29
		WW Lag*Wiederholung	3,33	0.45	.72
	Wiederholung kurzes Lag	HE Wiederholung	2.5,28	0.82	.47
	Wiederholung langes Lag	HE Wiederholung	3,33	0.91	.44
M200 rechts	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,11	0.11	.74
		HE Wiederholung	3,33	1.20	.33
		WW Lag*Wiederholung	3,33	0.41	.75
	Wiederholung kurzes Lag		3,33	0.19	.90
	Wiederholung langes Lag		3,33	1.08	.38

Anmerkungen zur Tabelle. $p < .05$, df: Zähler- und Nennerfreiheitsgrade der ANOVA, F: F-Prüfwert, p: empirischer Signifikanzwert.

Der Wiederholungseffekt für das kurze Lag wurde in seinem zeitlichen Verlauf näher untersucht, indem für die Kanalauswahl der linken Hemisphäre gepaarte t-Tests in 50 ms-Intervallen von 600 ms bis 950 ms für den Unterschied zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung gerechnet wurden. Diese t-Tests zeigten nur im Zeitbereich von 850 ms bis 900 ms einen signifikanten Unterschied (nicht bonferroni-korrigiert für multiple Vergleiche) zwischen erster und vierter Darbietung [$t_{(11)} = -2.43$, $p = .03$]. Für das nach Bonferroni korrigierte Signifikanzniveau ($p < .008$) zeigten sich keine Unterschiede mehr zwischen erster und vierter Darbietung. Konträr zur linken Hemisphäre ergaben sich in der rechten Hemisphäre in der einfaktoriellen ANOVA keine Haupteffekte des Faktors Wiederholung auf die Stärke der ereigniskorrelierten Felder [kurzes Lag: $F_{(3, 33)} = 0.67$, $p = .57$; langes Lag: $F_{(3, 33)} = 0.27$, $p = .80$].

Die Fragen nach Primingeffekten für unbekannte Gesichter auf die Stärke ereigniskorrelierter Felder können für eine Kanalauswahl an linken und rechten occipitotemporalen MEG-Sensoren, an denen das Signal zum Zeitpunkt der M170 am stärksten ausgeprägt war, folgendermaßen beantwortet werden.

Frage 1d) nach der Existenz von Primingeffekten auf die Stärke ereigniskorrelierter Felder kann im Sinne eines solchen Vorhandenseins von Primingeffekten beantwortet werden, auch wenn die Effekte schwach ausgeprägt waren. Es zeigten sich Primingeffekte in der linkshemisphärischen Kanalauswahl für die Peakamplitude der M200 im Sinne einer Abnahme der positiven Amplitude bei Gesichterwiederholung, bei 300 ms bis 500 ms im Sinne einer Zunahme der negativen Amplitude und bei 700 ms bis 900 ms im Sinne einer Abnahme der Stärke der negativen Amplitude bei Gesichterwiederholung. Der Effekt von 300 ms bis 500 ms wurde in seiner stärksten Ausprägung von 450 ms bis 500 ms gefunden. Der Effekt von 700 ms bis 900 ms hatte seine stärkste Ausprägung im Zeitbereich von 850 ms bis 900 ms.

In Frage 2d) wurde nach dem Unterschied in der Ausprägung der Primingeffekte in Abhängigkeit vom Zeitabstand zwischen den Wiederholungen gefragt. Es wurde vermutet, daß Primingeffekte sowohl für einen kurzen als auch für einen langen Zeitabstand bestehen würden, daß diese Effekte für den langen Zeitabstand jedoch schwächer ausgeprägt sein sollten. Diese Vermutungen bestätigten sich für keinen der gefundenen Primingeffekte. Die Primingeffekte auf der M200 und im Bereich von 300 ms bis 500 ms bestanden nur für das lange Lag, im kurzen Lag ergab sich für beide Komponenten bzw. Zeitbereiche kein Effekt der Wiederholung. Der Primingeffekt von 700 ms bis 900 ms bestand dagegen nur für das kurze Lag.

Das Lag hatte somit zwar eine differentielle Wirkung auf die Veränderungen in der Stärke ereigniskorrelierter Felder, diese Wirkung bestand jedoch im Sinne der Erzeugung eines Primingeffektes für lediglich eine der beiden Lagvariationen. Die Richtungen der Wiederholungseffekte unterschieden sich dabei zwischen kurzem und langem Lag in den späten Zeitbereichen: der Effekt von 300 ms bis 500 ms für das lange Lag bestand in einer Zunahme der Negativierung, während der Primingeffekt von 700 ms bis 900 ms in einer Abnahme der Negativierung bestand.

Frage 3d) nach dem Verlauf des Primingeffektes bei mehrmaliger Wiederholung derselben Gesichter muss für alle Primingeffekte im Sinne keiner signifikanten Verstärkung des Primingeffektes über mehrmalige Wiederholungen beantwortet werden. Sowohl für die M200 und den Bereich von 300 ms bis 500 ms als auch für den Bereich von 700 ms bis 900 ms bestanden die Effekte schon von erster zu zweiter Darbietung, verstärkten sich dann aber nicht weiter.

4.2.2 Ereigniskorrelierte Felder in Messung 2

Die Auswertung der ereigniskorrelierten Felder aus Messung 2 wurde in derselben Weise wie für Messung 1 durchgeführt. Die Abbildungen 4.10 und 4.11 zeigen die Zeitkurven der über alle Versuchspersonen gemittelten ereigniskorrelierten Felder für die Darbietungen mit langem und kurzem Lag an linker und rechter Hemisphäre.

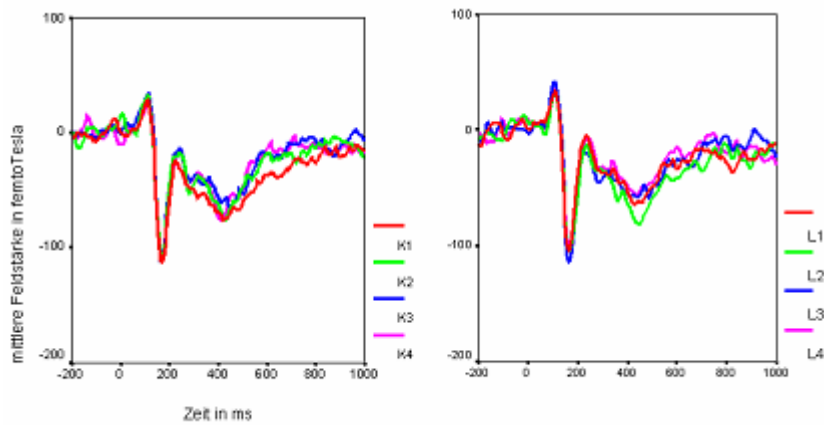


Abbildung 4.10: Zeitkurven für das Gruppenmittel der ereigniskorrelierten Felder der linkshemisphärischen M170-Kanalauswahl für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag (links, K1 bis K4) und die Wiederholungen mit langem Lag (rechts, L1 bis L4) in Messung 2.

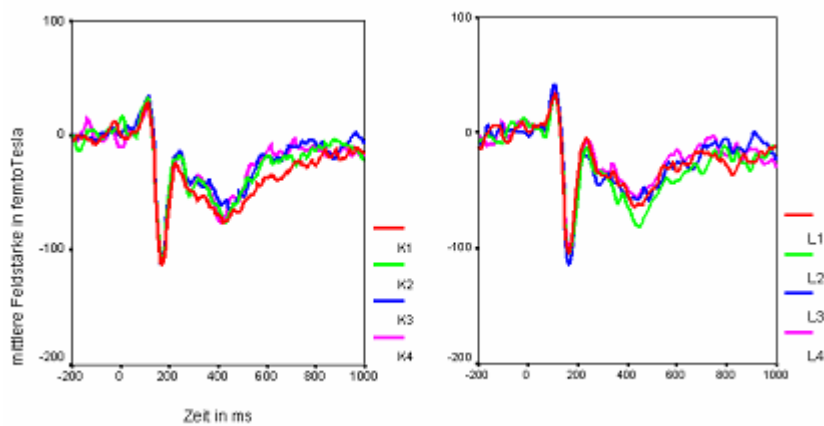


Abbildung 4.11: Zeitkurven für das Gruppenmittel der ereigniskorrelierten Felder der rechtshemisphärischen M170-Kanalauswahl für die vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag (links, K1 bis K4) und die Wiederholungen mit langem Lag (rechts, L1 bis L4) in Messung 2.

4.2.2.1 M100, M170 und M200 in Messung 2

Für die Peakamplituden von M100, M170 und M200 zeigten sich in beiden Hemisphären weder in den zweifaktoriellen ANOVAs mit Lag und Wiederholung, noch in den getrennt für kurzes und langes Lag mit dem Faktor Wiederholung gerechneten einfaktoriellen ANOVAs signifikante Effekte der Gesichterwiederholung. Die Ergebnisse aller ANOVAs für M100, M170 und M200 sind in Tabelle 4 dargestellt.

4.2.2.2 Ereigniskorrelierte Felder ab 300 ms in Messung 2

Bei der Untersuchung von Effekten der Gesichterwiederholung auf ereigniskorrelierte Felder ab 300 ms wurde zunächst über die Zeitbereiche von 300 ms bis 500 ms und von 500 ms bis 800 ms nach Stimulusbeginn gemittelt, da sich in diesen Zeitbereichen in der Ansicht der ERF-Kurven Unterschiede in Wiederholungen mit kurzem Lag an linker und rechter Hemisphäre zeigten. Für den Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms zeigten sich in der linkshemisphärischen Kanalauswahl der M170 in der zweifaktoriellen ANOVA mit Lag und Wiederholung keine Haupteffekte oder Wechselwirkungen [HE Lag: $F_{(1, 9)} = 20$, $p = .19$; HE Wiederholung: $F_{(1.7, 15.5)} = 1.9$, $p = .18$; WW Lag * Wiederholung: $F_{(2, 18)} = 1.33$, $p = .29$]. In den einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die getrennt für kurzes und langes Lag gerechnet wurden, ergaben sich ebenfalls weder für das kurze noch für das lange Lag Effekte der Wiederholung [kurzes Lag: $F_{(1.6, 14.6)} = 1.56$, $p = .24$; langes Lag: $F_{(1.7, 15.1)} = 1.66$, $p = .22$].

Für die Kanalauswahl der rechten Hemisphäre zeigte die zweifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Lag und Wiederholung keine signifikanten Haupteffekte oder Wechselwirkungen [HE Lag: $F_{(1, 9)} = 0.00$, $p = .97$; HE Wiederholung: $F_{(1.4, 13.1)} = 0.67$, $p = .48$; WW Lag * Wiederholung: $F_{(1.3, 11.4)} = 0.69$, $p = .46$]. Die zwei einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung ergaben weder für das kurze noch für das lange Lag einen Haupteffekt [kurzes Lag: $F_{(3, 27)} = 0.00$, $p = 1.0$; langes Lag: $F_{(1.2, 10.6)} = 0.77$, $p = .42$]. In der Ansicht der Zeitkurven der ereigniskorrelierten Felder war in der linken Hemisphäre für das kurze Lag vor allem von 300 ms bis 400 ms ein Unterschied zwischen den Gesichterwiederholungen zu beobachten.

Tabelle 4. Ergebnisse der nicht signifikanten statistischen Tests der M170-Kanalauswahl für die Komponenten M100, M170 und M200.

Komponente / Hemisphäre	Art der ANOVA	Art des Effektes	Df	F-Wert	P
M100 links	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,9	1.37	.27
		HE Wiederholung	3,27	0.45	.72
	Wiederholung kurzes Lag	WW Lag*Wiederholung	3,27	0.43	.73
		HE Wiederholung	3,27	0.39	.76
		HE Wiederholung	3, 27	0.51	.68
M100 rechts	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,9	0.14	.72
		HE Wiederholung	3,27	0.75	.53
	Wiederholung kurzes Lag	WW Lag*Wiederholung	2,7,24	2.54	.11
		HE Wiederholung	3,27	1.51	.25
		HE Wiederholung	3,27	0.4	.76
M170 links	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,9	0.58	.46
		HE Wiederholung	3,27	0.016	.99
	Wiederholung kurzes Lag	WW Lag*Wiederholung	1,6,14.4	0.51	.57
		HE Wiederholung	3,27	0.32	.81
		HE Wiederholung	2,18.5	0.21	.82
M170 rechts	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,9	0.36	.56
		HE Wiederholung	2,18.4	0.76	.49
	Wiederholung kurzes Lag	WW Lag*Wiederholung	3,27	0.71	.55
		HE Wiederholung	3,27	1.34	.13
		HE Wiederholung	3,27	0.53	.67
M200 links	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,9	0.28	.61
		HE Wiederholung	3,27	1.27	.85
	Wiederholung kurzes Lag	WW Lag*Wiederholung	3,27	0.99	.41
		HE Wiederholung	2,17.8	0.86	.47
		HE Wiederholung	3,27	0.68	.60
M200 rechts	Lag*Wiederholung	HE Lag	1,9	0.73	.42
		HE Wiederholung	3,27	1.08	.37
	Wiederholung kurzes Lag	WW Lag*Wiederholung	3,27	0.93	.44
		HE Wiederholung	3,27	0.71	.56
		HE Wiederholung	1,9,17.5	1.15	.34

Anmerkungen zu Tabelle 4. df: Zähler- und Nennerfreiheitsgrade, F: F-Wert der ANOVA, p: empirisches Signifikanzniveau. Alpha < .05.

Deshalb wurde zusätzlich zu den Auswertungen von 300 ms bis 500 ms über den Zeitbereich von 300 ms bis 400 ms gemittelt und für das kurze Lag eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor Wiederholung gerechnet.

Diese zeigte jedoch keinen Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(1.5, 13.5)} = 1.97, p = .18$], auch wenn ein leichter Trend zum Unterschied zu erkennen war.

Für den Zeitbereich von 500 ms bis 800 ms ergab die zweifaktorielle ANOVA für die linkshemisphärische Kanalauswahl mit den Faktoren Lag und Wiederholung keinen Haupteffekt des Faktors Lag [$F_{(1, 9)} = 0.73, p = .42$] und keine Interaktion zwischen den Faktoren Lag und Wiederholung [$F_{(3, 27)} = 1.92, p = .15$], aber einen Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(3, 27)} = 5.31, p = .005, \text{Eta}^2 = .37$]. In den ANOVAs, die getrennt für kurzes und langes Lag mit dem Faktor Wiederholung gerechnet wurden, zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt der Gesichterwiederholungen auf die Darbietungen mit kurzem Lag [$F_{(3, 27)} = 4.36, p = .013, \text{Eta}^2 = .33$]. In der Untersuchung des Verlaufs dieses Wiederholungseffektes mittels orthogonaler Kontraste ergab sich schon von erster zu zweiter Darbietung ein Unterschied, und alle weiteren Darbietungen unterschieden sich ebenfalls von der ersten Darbietung [K1 – K2: $F_{(1, 9)} = 5.83, p = .04, \text{Eta}^2 = .39$; K1 – K3: $F_{(1, 9)} = 5.16, p = .048, \text{Eta}^2 = .37$; K1 – K4: $F_{(1, 9)} = 10.60, p = .01, \text{Eta}^2 = .54$]. Eine signifikante Verstärkung des Wiederholungseffektes von zweiter zu dritter oder dritter zu vierter Wiederholung zeigte sich allerdings nicht [K2 – K3: $F_{(1, 9)} = 1.03, p = .336$; K3 – K4: $F_{(1, 9)} = 0.12, p = .73$]. Der Haupteffekt der einfaktoriellen ANOVA für das lange Lag zeigte an der linken Hemisphäre einen Trend zum Wiederholungseffekt [$F_{(3, 27)} = 2.41, p = .09$]. Hier zeigten die orthogonalen Kontraste jedoch keine signifikanten Unterschiede von den ersten Gesichterdarbietungen zu den Wiederholungen [L1- L2: $F_{(1, 9)} = 2.17, p = .17$; L1 – L3: $F_{(1, 9)} = 0.29, p = .6$; L1 – L4: $F_{(1, 9)} = 1.46, p = .25$].

Für die rechtshemisphärische Kanalauswahl zeigten sich in der zweifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren Lag und Wiederholung keine signifikanten Haupteffekte oder Interaktionen [HE Lag: $F_{(1, 9)} = 0.34, p = .57$; HE Wiederholung: $F_{(1.7, 1.2)} = 0.55, p = .55$; WW Lag * Wiederholung: $F_{(1.2, 10.5)} = 0.86, p = .39$]. In den beiden einfaktoriellen ANOVAs, die getrennt für kurzes und langes Lag mit dem Faktor Wiederholung gerechnet wurden, zeigte sich aber auch hier für das kurze Lag ein signifikanter Effekt des Faktors Wiederholung [$F_{(1.7, 15.4)} = 3.86, p = .049, \text{Eta}^2 = .301$], der für das lange Lag nicht vorhanden war [$F_{(1.2, 10.7)} = 0.322, p = .61$]. Orthogonale Kontraste für den Vergleich der einzelnen Darbietungen im kurzen Lag zeigten einen knapp signifikanten Unterschied zur ersten Darbietung erst für die letzte Gesichterwiederholung [K1 – K4: $F_{(1, 9)} = 4.51, p = .063, \text{Eta}^2 = .33$]. Im Vergleich von einer zu der unmittelbar folgenden Darbietungen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede [K1 – K2: $F_{(1, 9)} = 0.65, p = .44$; K2 – K3: $F_{(1, 9)} = 3.33, p = .10$; K3 – K4: $F_{(1, 9)} = 2.87, p = .13$], obwohl sich im Vergleich von zweiter zu dritter und dritter zu vierter Darbietung Trends ergaben.

Der Zeitbereich von 500 ms bis 800 ms war somit der zeitlich erste Bereich in der M170-Kanalauswahl von Messung 2, in dem sich, allerdings nur für das kurze Lag, signifikante Effekte der Gesichterwiederholung an linker und rechter Hemisphäre ergaben. Um den genauen Zeitbereich der Wiederholungseffekte an rechter und linker Hemisphäre einzugrenzen, wurden die ersten und vierten Gesichterdarbietungen (K1 und K4) mittels gepaarter t-Tests miteinander verglichen. Diese Tests wurden über Zeitintervalle von 50 ms im Bereich von 550 ms bis 800 ms für die Kanalauswahlen an rechter und linker Hemisphäre durchgeführt (alle $df = 9$). Die Ergebnisse der t-Tests sind in Tabelle 5 dargestellt.

Für die linke Hemisphäre wurden die Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung ab dem Zeitbereich für das Signifikanzniveau von $p < .05$ in den Zeitbereichen von 550 ms bis 750 ms signifikant. Für das für multiple Vergleiche nach Bonferroni korrigierte Signifikanzniveau ($p < .01$) lag der Zeitbereich von 550 ms bis 600 ms mit einem empirischen Signifikanzwert von $p = .01$ [$t = -3.25$] exakt an der Signifikanzgrenze. Der darauf folgende Bereich von 600 ms bis 650 ms zeigte auch noch mit Bonferronikorrektur deutliche Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung [$t = -3.76$, $p = .005$]. An der rechten Hemisphäre waren die Effekte der Gesichterwiederholung in den gepaarten t-Tests schwächer. Hier überlebte keiner der Vergleiche die Bonferronikorrektur, der Bereich von 700 ms bis 750 ms näherte sich dem kritischen Signifikanzniveau jedoch deutlich an und verfehlte sein Ziel nur knapp [$p = .018$, $t = -2.87$].

Tabelle 5. Ergebnisse der t-Tests für den Vergleich von erster und vierter Darbietung mit kurzem Lag (K1 und K4) für Zeitfenster von 50 ms im Bereich von 550 ms bis 800 ms nach Stimulusbeginn.

Hemisphäre	Zeitbereich in ms	Mittlere Differenz \pm 1 SD	t-Wert	P
Linke	550 – 600	-22 \pm 21	-3.25	.01*
	600 – 650	-23 \pm 19	-3.76	.005**
	650 – 700	-19 \pm 21	-2.81	.02 *
	700 – 750	-16 \pm 25	-2.013	.075 n.s.
	750 – 800	-13 \pm 34	- 1.31	.22 n.s.
rechte	550 – 600	-11 \pm 25	-1.42	.19 n.s.
	600 – 650	-20 \pm 32	-2.01	.076 n.s.
	650 – 700	-13 \pm 27	-1.52	.16 n.s.
	700 – 750	-20 \pm 22	-2.87	.018 *
	750 – 800	-15 \pm 30	-1.59	.14 n.s.

Anmerkungen: SD: Standardabweichung; alle $df = 9$, * $p < .05$, ** $p < .01$ (Signifikanzgrenze für die Bonferronikorrektur), n.s. nicht statistisch signifikant. Die mittleren Differenzen der Feldstärken sind zur besseren Übersichtlichkeit ohne Dezimalstellen angegeben.

Die Ergebnisse der Auswertung ereigniskorrelierter Felder von Messung 2 unterscheiden sich in mehrerer Hinsicht von den Ergebnissen aus Messung 1. Es zeigten sich für das lange Lag in Messung 2 keine Effekte der Gesichterwiederholung, wie sie noch in Messung 1 für die M200 und den Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms beobachtet worden waren. Dafür ergaben sich für das kurze Lag Effekte der Gesichterwiederholung in späten Zeitbereichen, die in Messung 1 sehr schwach ausgeprägt nur für den Zeitbereich von 700 ms bis 900 ms an der linken Hemisphäre bestanden hatten. Die Wiederholungseffekte in Messung 2 bestanden in rechter und linker Hemisphäre in einer Abnahme der Negativierung vor allem im Zeitbereich von 550 ms bis 750 ms. Die Eingrenzung des Zeitbereichs des Effektes zeigte signifikante Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung im Bereich von 600 ms bis 700 ms in der linken Hemisphäre und einen Trend auch im

Zeitbereich von 700 ms bis 750 ms. An der rechten Hemisphäre erzeugte die Wiederholung mit kurzem Lag signifikante Unterschiede im Bereich von 700 ms bis 750 ms (für ein Signifikanzniveau von $p < .05$). Wie schon in Messung 1 erschienen die Effekte in Messung 2 in der linken Hemisphäre stärker als in der rechten Hemisphäre.

Frage 1d) nach dem Effekt von Priming auf die Stärke ereigniskorrelierter Felder kann für Messung 2 im Sinne eines Primingeffektes auf die Wiederholungen mit kurzem Lag beantwortet werden. Es zeigten sich Effekte der Wiederholung in den Zeitbereichen von 550 ms bis 700 ms in der linken Hemisphäre mit der deutlichsten Ausprägung im Bereich von 650 ms bis 700 ms. In der rechten Hemisphäre zeigten sich schwächere Effekte, die im Trend von 600 ms bis 650 ms und von 700 ms bis 750 ms bestanden. Beide Effekte bestanden in einer Abnahme der negativen Amplitude bei Gesichterwiederholung.

Frage 2d) fragte nach der differentiellen Wirkung des Zeitabstandes zwischen Wiederholungen auf die Primingeffekte. Eine differentielle Wirkung des Lags konnte für die Primingeffekte nicht in Form einer statistischen Interaktion gezeigt werden. Es ergab sich in der linken Hemisphäre aber ein klarer Primingeffekt im kurzen Lag, während im langen Lag sich nur ein leichter Trend zu einem Primingeffekt ergab. Für die rechte Hemisphäre konnte ebenfalls nur für das kurze Lag ein Haupteffekt des Faktors Wiederholung gezeigt werden, dieser Effekt war jedoch relativ schwach ausgeprägt.

Frage 3d) fragte nach der Verstärkung der Primingeffekte über die mehrmalige Wiederholung der Gesichter. Für die linke Hemisphäre wurde schon von erster zu zweiter Darbietung ein Primingeffekt erreicht, der sich jedoch nicht signifikant weiter verstärkte, obwohl sich eine Tendenz zum größeren Unterschied der Feldstärken zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung als zwischen erster und zweiter Gesichterdarbietung zeigte. An der rechten Hemisphäre bewirkte die mehrmalige Gesichterwiederholung überhaupt erst die Entstehung eines Primingeffektes. Dieser bestand für den Vergleich von erster mit zweiter Darbietung und erster mit dritter Darbietung noch nicht, sondern ergab sich erst für den Vergleich von erster mit vierter Darbietung. Es zeigten sich somit in beiden Hemisphären Trends zu einer Verstärkung der Primingeffekte bei mehrmaliger Gesichterwiederholung.

4.2.3 Vergleich der ereigniskorrelierten Felder aus Messung 1 und 2

Bei Betrachtung der Ergebnisse von Messung 1 und 2, die in den Kapiteln 5.2.1 und 5.2.2 dargestellt wurden, können zunächst aus dem Vergleich der Effekte in beiden Messungen folgende Hinweise auf Unterschiede zwischen den Messungen 1 und 2 gewonnen werden:

1). In Messung 1 zeigten sich Primingeffekte nur für das lange Lag an der linken Hemisphäre für die M200 – dieser Effekt bestand in einer Abnahme der Positiverung bei Gesichterwiederholung – und für den Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms. Dieser Effekt bestand in einer Zunahme der Negativierung bei Gesichterwiederholung. Beide Primingeffekte bestanden schon von erster zu zweiter Gesichterpräsentation und verstärkten sich nicht weiter über die Wiederholungen. Diese Primingeffekte waren in Messung 2 nicht

zu beobachten. Somit unterscheiden sich beide Primingeffekte möglicherweise in Abhängigkeit von der Vertrautheit der Gesichter, sie bestanden jedoch nur für unbekannte Gesichter.

2). In Messung 1 zeigte sich nur für das kurze Lag im Bereich von 700 ms bis 900 ms an der linken Hemisphäre ein Primingeffekt im Sinne einer Abnahme der Negativierung bei Gesichterwiederholung, der sich tendenziell, aber nicht signifikant über die Gesichterwiederholungen verstärkte und seine deutlichste Ausprägung im Bereich von 850 ms bis 900 ms hatte. In Messung 2 zeigten sich ebenfalls Effekte der Gesichterwiederholung mit kurzem Lag in späten Zeitbereichen. In der linken Hemisphäre ergab sich ein Wiederholungseffekt, der in derselben Richtung (Abnahme der Negativierung bei Wiederholung) wie in Messung 1 bestand, aber in einem früheren Zeitbereich als in Messung 1 – bei 550 ms bis 700 ms – lag. Der Primingeffekt hatte damit einen um 400 ms früheren Beginn als in Messung 1. Die in Messung 1 und 2 in der linken Hemisphäre gefundenen Primingeffekte in späten Zeitbereichen unterschieden sich somit entweder im Sinne eines qualitativ anderen Effektes in Messung 1 verglichen mit Messung 2 oder im Sinne eines früheren Beginns und Endes des Wiederholungseffektes in Messung 2 verglichen mit Messung 1. In Messung 1 zeigte sich keine Tendenz zu einer Verstärkung des Primingeffektes, in Messung 2 ergab sich ein Trend.

An der rechten Hemisphäre war ein Primingeffekt im kurzen Lag in Messung 2 im Bereich von 600 ms bis 650 ms und 700 ms bis 750 ms vorhanden. Der Effekt lag in einem ähnlichen Zeitbereich wie der Primingeffekt an der linken Hemisphäre. Der Effekt war überhaupt erst im Vergleich von erster zur vierter Darbietung zu erkennen und unterlag somit klar einem Einfluß der mehrmaligen Gesichterwiederholung. Er war für unbekannte Gesichter in Messung 1 nicht zu beobachten gewesen.

Es ergeben sich somit folgende Anhaltspunkte zur Beantwortung der Frage nach Unterschieden in der Stärke der Primingeffekte in Abhängigkeit der Vertrautheit der Gesichter (Frage 4d): Primingeffekte zeigten sich für unbekannte Gesichter und lange Zeitabstände zwischen Wiederholungen bei 200 ms und von 300 ms bis 500 ms. Diese Effekte bestehen für bekannte Gesichter nicht. Für Gesichterwiederholungen mit kurzem Zeitabstand ergeben sich bei unbekanntem Gesichtern zeitlich spätere Primingeffekte als für bekannte Gesichter. Die Primingeffekte für das kurze Lag schienen für vertraute Gesichter stärker ausgeprägt als für unbekannte Gesichter.

Ein direkter Vergleich der Stärke von Primingeffekten in Abhängigkeit von der Vertrautheit mit Gesichtern (Frage 4d) wurde vor allem für das kurze Lag vorgenommen, da sich hier in beiden Messungen Primingeffekte gezeigt hatten, die in ihrem Zeitbereich und ihrer Stärke miteinander verglichen werden konnten. Abbildung 4.12 zeigt jeweils erste und vierte Darbietung (K1 und K4) mit kurzem Lag für die linke und rechte Hemisphäre im Vergleich von Messung 1 und Messung 2.

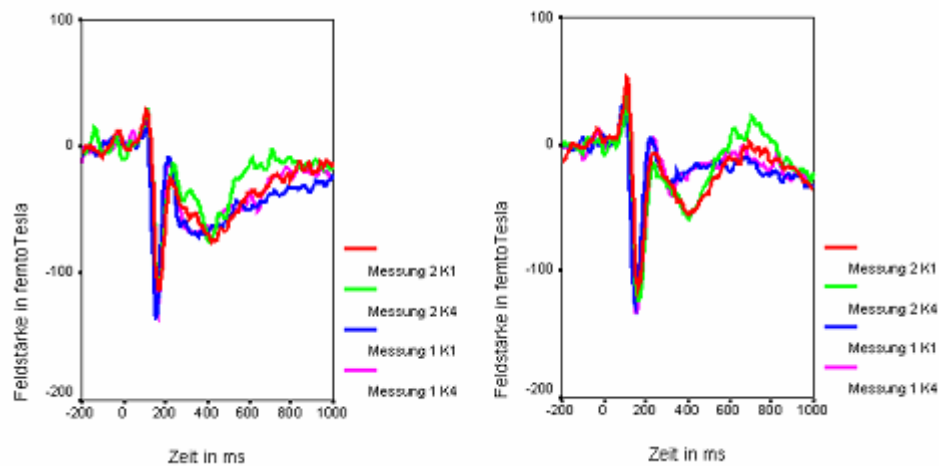


Abbildung 4.12: Gruppenmittel der ereigniskorrelierten Felder der M170-Kanalauswahl für erste und vierte Gesichterdarbietungen mit kurzem Lag für die linke Hemisphäre (links) und die rechte Hemisphäre (rechts) im Vergleich von Messung 1 und 2.

Ein Vergleich der ereigniskorrelierten Feldstärke in Abhängigkeit von der unterschiedlichen visuellen Vertrautheit der Gesichter (Frage 5d), die sich zwischen Messung 1 und Messung 2 unterschied, wurde sowohl für die Darbietungen mit kurzem Lag als auch für die Darbietungen mit langem Lag vorgenommen. In der visuellen Ansicht der Kurven zeigten sich für die linke Hemisphäre Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 zunächst für den Peak der M170, dessen Amplitude in Messung 2 kleiner als in Messung 1 erschien. Im Zeitbereich von etwa 300 ms bis 400 ms waren Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 in der linken Hemisphäre im Sinne einer weniger negativen Amplitude der Feldstärke in Messung 2 zu erkennen. Zwischen 600 ms und 800 ms zeigte sich ebenfalls eine weniger negative Feldstärke in Messung 2. Für die rechte Hemisphäre zeigte sich der Unterschied zwischen der M170-Amplitude in beiden Messungen weniger deutlich als in der linken Hemisphäre. Dafür war visuell ein klarer Unterschied zwischen Messung 1 und 2 bei etwa 400 ms zu beobachten, der in Form einer negativeren Amplitude für Messung 2 bestand. Im Bereich von etwa 600 ms bis 800 ms war an rechten Sensoren ebenfalls ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 zu beobachten, der in einer positiveren Feldstärke in Messung 2 bestand.

Für die Vergleiche zwischen Messung 1 und 2 wurden folgende Tests durchgeführt: die Peakamplituden der M170 an rechter und linker Hemisphäre wurden für die jeweils erste und vierte Darbietung zwischen Messung 1 und 2 verglichen, um einen Effekt der Vertrautheit auf die M170 zu untersuchen. Die mittleren Feldstärken über den Zeitbereich von 300 ms bis 400 ms wurden an der linken Hemisphäre für die jeweils ersten (K1) und vierten (K4) Darbietungen mit kurzem Lag verglichen, für die rechte Hemisphäre wurde dieser Vergleich im Zeitbereich von 350 ms bis 450 ms durchgeführt. Im Zeitbereich von 600 ms bis 850 ms nach Stimulusbeginn wurden gepaarte t-Tests für Zeitfenster von 50 ms berechnet (600 – 650 ms, 650 – 700 ms, 700 – 750 ms, 750 – 800 ms, 800 – 850 ms), mittels derer in linker und rechter Hemisphäre die jeweils ersten Darbietungen und die jeweils vierten Darbietungen zwischen Messung 1 und 2 verglichen wurden. Es

wurden jedoch auch die jeweils letzten Gesichterwiederholungen in Messung 1 mit den ersten Gesichterdarbietungen in Messung 2 verglichen, um zu untersuchen, ob sich über die Zeit, die zwischen dem Ende der ersten Primingmessung (letzte Darbietung in Messung 1) und dem Beginn der zweiten Primingmessung (erste Darbietung in Messung 2) lag, ein Unterschied zwischen der Stärke der ereigniskorrelierten Felder ergeben hatte. Für die jeweils fünf Vergleiche im Zeitraum von 600 ms bis 850 ms wurden Bonferronikorrekturen eingeführt [$p < .01$]. Alle t-Tests haben einen df-Wert = 9.

Die M170 zeigte für die Vergleiche zwischen Messung 1 und 2 sowohl für die erste Darbietung (K1) als auch die vierte Darbietung (K4) signifikante oder nahezu signifikante Unterschiede in der linken Hemisphäre [linke Hemisphäre K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $t = -2.67$, $p = .026$; linke Hemisphäre K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $t = 2.132$, $p = .062$; rechte Hemisphäre K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $t = -0.9$, $p = .39$; rechte Hemisphäre K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $t = -1.08$, $p = .30$]. Für die Darbietungen mit langem Lag zeigte sich in linker *und* rechter Hemisphäre ein Unterschied für die ersten Gesichterpräsentationen [linke Hemisphäre: $t = -2.36$, $p = .04$; rechte Hemisphäre: $t = -2.23$, $p = .05$]. Für die vierten Gesichterpräsentationen zeigte sich ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 jedoch nur an der linken Hemisphäre [$t = -2.36$, $p = .04$] und nicht an der rechten Hemisphäre [-0.45 , $p = .66$].

Es wurde untersucht, ob sich ein Unterschied von Messung 1 zu 2 auch schon auf der Ebene der M100 und der auf die M170 folgende M200-Komponente ergab. Dieser Test wurde durchgeführt, um zu untersuchen, ob die Veränderung der M170-Komponente selektiv war oder ob sich auf allen frühen Komponenten ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 zeigte. Diese Vergleiche zeigten für keine der beiden Hemisphären im kurzen oder langen Lag signifikante Unterschiede in der M100 [alle $t < 1$, alle $p > .30$]. Für die M200 ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 im kurzen oder langen Lag, obwohl sich für die vierten Darbietungen mit kurzem Lag (K4) in der rechten Hemisphäre ein Trend zeigte [$t = 1.83$, $p = .10$].

Für den Zeitbereich von 300 ms bis 400 ms zeigten sich keine Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 in der linken Hemisphäre [K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $t = -0.68$, $p = .51$; K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $t = -1.47$, $p = .18$]. Die Tests für die rechte Hemisphäre, die für den Zeitbereich von 350 ms bis 450 ms durchgeführt wurden, zeigten ebenfalls keine Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $t = 1.67$, $p = .13$; K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $t = 1.77$, $p = .11$], obwohl Trends zu einem Unterschied sowohl für die Bedingung K1 als auch für K4 zu erkennen waren. Signifikante Unterschiede zwischen erster und zweiter Messung zeigten sich auch für die Wiederholungen mit langem Lag im Zeitbereich von 300 ms bis 400 ms nicht [alle $t < 1.43$, alle $p > .20$].

Die Ergebnisse der gepaarten t-Test-Vergleiche zwischen Messung 1 und 2 für die Zeitfenster von 50 ms Breite im Bereich von 600 ms bis 850 ms für das kurze Lag sind in den Tabellen 6 und 7 aufgeführt. Im Bereich von 600 ms bis 850 ms zeigten die gepaarten t-Tests an der *linken* Hemisphäre für den Vergleich der ersten Gesichterdarbietungen mit kurzem Lag (K1) keinen signifikanten Unterschied zwischen erster und zweiter Messung (siehe Tabelle 6). Die jeweils vierten Darbietungen (K4) unterschieden sich jedoch in den Zeitbereichen von 600 ms bis 750 ms signifikant zwischen Messung 1 und 2 [600 – 650 ms: $t = 3.7$, $p = .005$; 650 bis 700 ms: $t = 3.36$, $p = .008$; 700 bis 750 ms: $t = 3.62$, $p = .006$, siehe Tabelle 7]. Die Stärke der

ereigniskorrelierten Felder war in Messung 2 dabei weniger negativ als in Messung 1. Analoge Vergleiche zeigten für das lange Lag keine signifikanten Unterschiede zwischen Messung 1 und Messung 2 [alle $t < 1.7$, alle $p > .15$], obwohl im Zeitbereich von 600 ms bis 700 ms Trends zum Unterschied zwischen den jeweils vierten Gesichterwiederholungen ergaben. Ein Trend zum Unterschied zwischen den ersten Darbietungen mit langem Lag (L1) von Messung 1 und 2 zeigte sich im Zeitbereich von 650 ms bis 700 ms [$t_{(9)} = -1.78$, $p = .10$; alle anderen Tests $t < -1.4$, $p > .19$].

Für die rechte Hemisphäre ergab der Vergleich der Darbietungen mit kurzem Lag zwischen Messung 1 und 2 schon für die ersten Darbietungen (K1) einen Unterscheid im Zeitfenster von 750 ms bis 800 ms [$t = 3.66$, $p = .005$, siehe Tabelle 6]. Die Feldstärke bei der ersten Gesichterdarbietung war in diesem Zeitbereich in Messung 2 positiver als in Messung 1. Die *vierten* Darbietungen mit kurzem Lag unterschieden sich zwischen Messung 1 und 2 in den Zeitfenstern von 700 ms bis 800 ms [700 – 750 ms: $t = 3.32$, $p = .009$; 750 - 800 ms: $t = 4.89$, $p = .001$, siehe Tabelle 7]. Die Unterschiede zeigten damit einen um 100 ms späteren Beginn in der rechten als in der linken Hemisphäre. Für die analogen Vergleiche der Darbietungen mit langem Lag ergaben sich in der rechten Hemisphäre keine Unterschiede, es zeigte sich aber im Bereich von 700 ms bis 750 ms ein Trend zum Unterschied der *ersten* Darbietungen mit langem Lag von Messung 1 zu 2 [$t_{(9)} = -1.8$, $p = .10$; alle anderen Tests $t < -1.22$, $p > .25$]. Für die *vierten* Darbietungen mit langem Lag ergaben sich keine Trends zum Unterschied zwischen Messung 1 und 2 [alle $t < -0.6$, alle $p > .54$].

Im Vergleich der letzten Darbietung von Messung 1 (K4) zur ersten Darbietung von Messung 2 (K1) zeigten sich in den gepaarten t-Tests für 50 ms-Zeitfenster von 600 ms bis 850 ms an der linken Hemisphäre keine signifikanten Unterschiede. Lediglich für das Fenster von 600 ms bis 650 ms war ein schwacher Trend zu erkennen [$t_{(9)} = -1.12$, $p = .29$; alle anderen Tests: $t < 1$, $p > .6$]. Für die rechte Hemisphäre ergab sich ein Unterschied zwischen letzter Darbietung von Messung 1 und erster Darbietung von Messung 2 im Bereich von 700 ms bis 750 ms [$t_{(9)} = -2.34$, $p = .04$], der jedoch nur für das nicht bonferronikorrigierte Signifikanzniveau bestand. Ein Trend zeigte sich auch im Zeitfenster von 750 ms bis 800 ms [$t_{(9)} = -1.61$, $p = .14$; alle anderen Tests $t < 0.6$, $p > .60$].

Tabelle 6. Ergebnisse der t-Tests für Zeitfenster über 50 ms im Bereich von 600 ms bis 850 ms für den Vergleich der *ersten* Gesichterdarbietungen mit kurzem Lag zwischen Messung 1 und 2 (*K1* Messung 1 – *K1* Messung 2) mit mittleren Differenzwerten zwischen den Bedingungen und Prüfparametern der gepaarten t-Tests.

Hemisphäre	Zeitbereich in ms	Mittlere Differenz \pm 1 SD	t-Wert	P
Linke	600 – 650	-18 \pm 60	0.98	.36 n.s.
	650 – 700	-13 \pm 44	0.93	.38 n.s.
	700 – 750	-17 \pm 32	1.68	.13 n.s.
	750 – 800	-15 \pm 42	1.08	.31 n.s.
	800 – 850	-18 \pm 27	2.17	.05 n.s.
Rechte	600 – 650	5 \pm 47	0.36	.73 n.s.
	650 – 700	8 \pm 45	0.59	.57 n.s.
	700 – 750	17 \pm 31	1.72	.12 n.s.
	750 – 800	-21 \pm 18	3.66	.005 **
	800 – 850	-14 \pm 25	0.62	.55 n.s.

Tabelle 7. Ergebnisse der t-Tests für die Zeitfenster über 50 ms im Bereich von 600 ms bis 850 ms nach Stimulusbeginn für den Vergleich der vierten Gesichterdarbietungen mit kurzem Lag (*K4* Messung 1 – *K4* Messung 2) zwischen Messung 1 und 2.

Hemisphäre	Zeitbereich in ms	Mittlere Differenz \pm 1 SD	t-Wert	P
Linke	600 – 650	-35 \pm 31	3.7	.005**
	650 – 700	-23 \pm 22	3.36	.008**
	700 – 750	-20 \pm 18	3.62	.006**
	750 – 800	-12 \pm 31	1.18	.27 n.s.
	800 – 850	-6 \pm 28	0.62	.55 n.s.
Rechte	600 – 650	-14 \pm 55	0.79	.45 n.s.
	650 – 700	-12 \pm 43	0.58	.42 n.s.
	700 – 750	-32 \pm 30	3.32	.009**
	750 – 800	-27 \pm 17	4.89	.001**
	800 – 850	-11 \pm 21	1.7	.12 n.s.

Anmerkungen zu den Tabellen 6 und 7: SD = Standardabweichung; alle $df = 9$, * $p < .05$, ** $p < .01$ (Signifikanzgrenze für die Bonferronikorrektur), n.s. nicht signifikant.

Für das lange Lag zeigte sich in den analogen Vergleichen an der linken Hemisphäre ein schwacher Trend zum Unterschied zwischen letzter Darbietung von Messung 1 und erster Darbietung von Messung 2 im Bereich von 650 ms bis 700 ms [$t_{(9)} = -1.38$, $p = .20$; alle anderen Tests $t < -1$, $p = .38$]. An der rechten

Hemisphäre zeigte sich für das lange Lag im Bereich von 700 ms bis 750 ms ein signifikanter Unterschied zwischen letzter Darbietung in erster Messung und erster Darbietung in zweiter Messung [$t_{(9)} = -2.74$, $p = .02$], der die Bonferronikorrektur allerdings nicht überstand.

Die Differenzamplituden der Primingeffekte zwischen erster und vierter Wiederholung mit kurzem Lag (K1 – K4) sollten sich bei einer größeren Stärke des Primingeffektes in Messung 2 als in Messung 1 zwischen beiden Messungen unterscheiden. Diese Unterschiede wurden mittels gepaarter t-Tests für Zeitfenster von 50 ms im Bereich von 600 ms bis 850 ms untersucht. Hier zeigte sich jedoch für keinen der Zeitbereiche und keine der beiden Hemisphären ein signifikanter Unterschied in den Differenzamplituden von Messung 1 und 2. Es ergab sich an der rechten Hemisphäre ein leichter Trend im Bereich von 700 ms bis 750 [$t_{(9)} = 1.34$, $p = .21$] im Sinne einer größeren Differenzamplitude in Messung 2 [-20 ± 22 fT] als in Messung 1 [-4 ± 31 fT]. Alle anderen Zeitbereiche zeigten diesen Trend nicht [alle $df = 9$, alle $t < 0.73$, alle $p > .49$]. Für die linke Hemisphäre zeigte sich ein Trend zum Unterschied zwischen Messung 1 und 2 im Zeitbereich von 600 ms bis 650 ms [$t_{(9)} = 1.65$, $p = .13$], alle anderen Zeitbereiche zeigten diesen Trend nicht [alle $df = 9$, alle $t < 1$, alle $p > .38$].

Die Fragen nach Effekten der Vertrautheit von Gesichtern auf ereigniskorrelierte Felder und den Unterschied in Primingeffekten in Abhängigkeit von der Vertrautheit der Gesichter können nun folgendermassen beantwortet werden:

- 1). Die Primingeffekte auf der M200 und im Bereich von 300 ms bis 500 ms, die sich in Messung 1 für das lange Lag gezeigt hatten, in Messung 2 dagegen nicht bestanden, führten nicht zu einem Unterschied der Feldstärke in diesen Zeitbereichen zwischen Messung 1 und 2. Beide Effekte stellen damit zeitlich begrenzte Phänomene aufgrund relativ kurzfristiger Stimuluswiederholung (innerhalb mehrerer Minuten) dar, die nur für das lange Lag und nur für unbekannte Gesichter bestehen.
- 2). Auf der M170 zeigten sich keine Primingeffekte in Messung 1 oder 2. Die M170-Amplitude nahm von Messung 1 zu 2 jedoch signifikant ab. Dabei erschien die Abnahme an der linken Hemisphäre stärker als an der rechten Hemisphäre. Somit zeigt sich auf der M170 ein Amplitudenunterschied zwischen unbekanntem und visuell vertrauten Gesichtern.
- 3). Ein Effekt der visuellen Vertrautheit mit Gesichterstimuli zeigte sich in der rechten Hemisphäre im Zeitbereich von 750 ms bis 800 ms. Dieser Effekt bestand in einer weniger negativen Feldstärke für vertraute Gesichter. Er bestand nicht nur für die mit kurzem Lag wiederholten Gesichter, sondern für ein Signifikanzniveau von $p < .05$ (nicht bonferronikorrigiertes Signifikanzniveau) auch im langem Lag von 700 ms bis 750 ms. Dieser Unterschied könnte Korrelat eines Effektes der Vertrautheit von Gesichtern sein, die relativ unabhängig von Effekten des kurzfristigen Wiederholungsprimings ist. Ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 zeigte sich in diesen Zeitbereichen nicht nur im Vergleich der jeweils ersten Gesichterdarbietungen des Primingparadigmas, sondern er bestand auch signifikant oder im Trend signifikant für das kurze und lange Lag im Vergleich der letzten Gesichterdarbietungen in der rechten Hemisphäre in Zeitbereichen von 700 ms bis 800 ms. Dieser Effekt zeigte auch eine Veränderung der Feldstärke *zwischen*

den Primingsitzungen, die im Vergleich von letzter Darbietung in Messung 1 mit erster Darbietung in Messung 2 gefunden wurde.

4). Ein Primingeffekt im kurzen Lag für die visuell vertrauten Gesichter zeigte sich in der linken Hemisphäre im Bereich von 600 ms bis 750 ms und in der rechten Hemisphäre von 700 ms bis 800 ms. Dieser Effekt hatte in dem Zeitbereich nicht für die unbekanntes Gesichter bestanden.

5). Signifikante Verstärkungen der Primingeffekte über die vier Wiederholungen innerhalb der Primingsitzungen zeigten sich tendenziell für die Primingeffekte im kurzen Lag im Bereich von 600 ms bis 800 ms in Messung 2 und damit für die visuell vertrauten Gesichter.

Abbildung 4.13 zeigt die mittlere Feldstärke für den Zeitbereich von 600 ms bis 900 ms im Vergleich von Messung 1 und 2 für die Wiederholungen mit kurzem Lag. Dieser Bereich wurde zur Darstellung ausgewählt, da er sowohl die Bereiche umfasste, in denen sich in Messung 1 Primingeffekt für das kurze Lag ergeben hatten, als auch die Zeitbereiche, in denen sich Unterschiede in Abhängigkeit von der Vertrautheit der Gesichter gezeigt hatten sowie Primingeffekte in Messung 2. Die Darstellungsweise ist analog zu den Darstellungen von Reaktionszeiten (Abbildung 4.6) und Fehlern (Abbildung 4.7). Die Darbietungen 1 bis 4 bezeichnen die vier Wiederholungen in Messung 1, die Darbietungen 5 bis 8 die Wiederholungen in Messung 2. Die Abbildung verdeutlicht den stärkeren Primingeffekt im kurzen Lag für Messung 2. Für das lange Lag erscheinen in der Abbildung ebenfalls Trends zum Primingeffekt, diese zeigten sich jedoch nicht in der statistischen Auswertung.

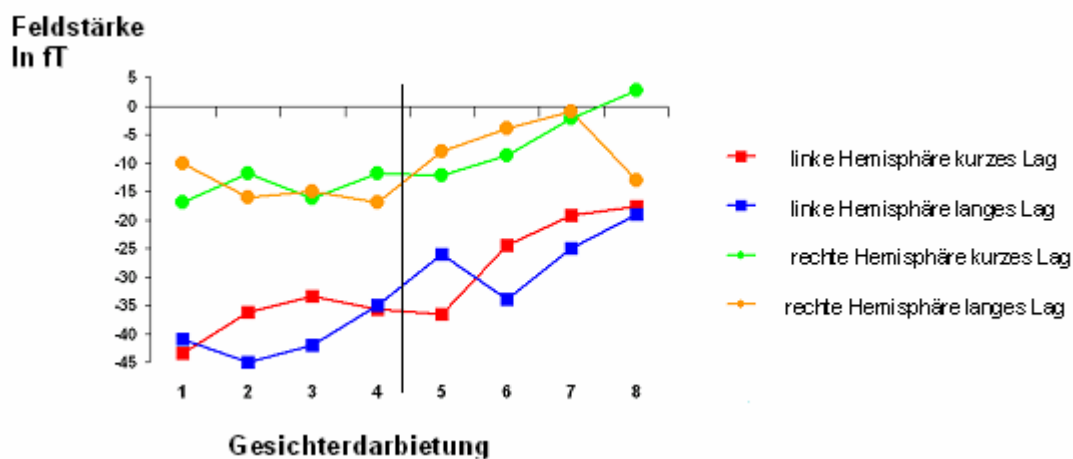


Abbildung 4.13: Mittlere Feldstärke über 600 ms bis 900 ms in Messung 1 (Gesichterdarbietungen 1 bis 4) und Messung 2 (Gesichterdarbietungen 5 bis 8) für die Wiederholungen mit kurzem und langem Lag an linker und rechter Hemisphäre.

4.3 Ergebnisse der Auswertung ereigniskorrelierter Potentiale

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im Bezug auf die Existenz von Effekten des Wiederholungspriming und der Vertrautheit von Gesichtern auf ereigniskorrelierte Potentiale dargestellt. Zunächst werden die Ergebnisse der Auswertungen von Messung 1 (Kapitel 4.3.1) und Messung 2 berichtet (Kapitel 4.3.2), daran anschließend werden beide Messungen miteinander verglichen (Kapitel 4.3.3). Bei der Datenauswertung wurden die Elektroden zu den folgenden Gruppen zusammengefasst:

1. Occipitotemporale Elektrodengruppe: PO9, PO10, O1, O2
2. Temporale Gruppe: T5, T6
3. Parietozentrale Gruppe: P3, P4, PZ, CP5, CP6
4. Frontozentrale Gruppe: FC1, FC2, FC5, FC6
5. Zentrale Gruppe: C3, C4, CZ
6. Frontale Gruppe: F3, F4, F7, F8, FZ.

Die Elektroden T1, T2, T3 und T4 zeigten bei einigen Personen kein gutes Messsignal, so daß ihre Zeitkurven zwar visuell dargestellt werden, aber nicht in die statistischen Auswertungen einbezogen wurden. Die statistischen Vergleiche zwischen den Bedingungen wurden für P100, N170, P2 und Zeitbereiche ab 300 ms zunächst mittels dreifaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung auf allen Faktoren (ANOVA) mit den Faktoren Elektrodengruppe (6 Stufen), Lag (2 Stufen) und Wiederholung (4 Stufen) gerechnet. Ein Primingeffekt, der sowohl für kurzes als auch langes Lag an *allen* Elektrodengruppen besteht und sich zwischen beiden Lags in seiner Stärke unterscheidet, sollte sich in Haupteffekten der Faktoren Lag, Wiederholung und einer Interaktion zwischen Lag und Wiederholung zeigen. Primingeffekte, die nur an bestimmten Elektrodengruppen bestehen und sich in Abhängigkeit vom Lag unterscheiden, sollten sich vor allem in einer Interaktion zwischen Ort, Lag und Wiederholung zeigen.

Nach der dreifaktoriellen ANOVA wurden für interessierende Elektrodengruppen zweifaktorielle ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung gerechnet. Die differentielle Wirkung des Lags an einer Elektrodengruppe sollte sich in einer Interaktion zwischen Lag und Wiederholung zeigen. Auch wenn sich hier keine signifikante Interaktion zeigte, wurde für kurzes und langes Lag getrennt jeweils eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor Wiederholung gerechnet. Nur bei signifikantem Haupteffekt der Wiederholung in der einfaktoriellen ANOVA wurde der genaue Verlauf des Primingeffektes anhand orthogonaler Kontraste zwischen den einzelnen Faktorstufen untersucht. In Zeitbereichen ab 300 ms wurde der genaue zeitliche Bereich eines in der einfaktoriellen ANOVA mit dem Faktor Wiederholung signifikanten Primingeffektes anhand gepaarter t-Tests zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung für aufeinanderfolgende Zeitfenster, in denen über 50 ms gemittelt wurde, ermittelt. Für diese Tests wurde das Signifikanzniveau nach Bonferroni korrigiert.

Aufgrund der großen Anzahl der durchgeführten statistischen Tests werden aus Gründen der Übersichtlichkeit Ergebnisse der Auswertungen überwiegend dann dargestellt, wenn sie statistisch signifikant sind und sich der Signifikanzgrenze nähern (ab etwa einem Wert von $p < .10$) oder – falls sie klar nicht signifikant sind – für die Untersuchung der experimentellen Effekte von besonderer Bedeutung sind.

4.3.1 Ereigniskorrelierte Potentiale in Messung 1

Die über alle Personen gemittelten Zeitkurven der ereigniskorrelierten Potentiale werden in den Abbildungen 4.14 bis 4.17 für jede Elektrode und separat für kurzes Lag (Abbildungen 4.14 und 4.15) und langes Lag (Abbildungen 4.16 und 4.17) gezeigt. Die visuell erkennbaren Effekte in den ERP-Kurven sind mit der Benennung des Zeitbereiches oder der Komponente exemplarisch anhand von Pfeilen an Elektroden markiert, an denen diese Effekte besonders deutlich zu erkennen sind.

4.3.1.1 P100, N170 und P2

In der Ansicht der ERP-Kurven von kurzem und langem Lag zeigten sich in den frühen Komponenten erst auf der Ebene der P2 Einflüsse der Gesichterwiederholung. Diese bestanden in einer Abnahme der positiven Amplitude über die Wiederholungen für das lange Lag und waren am deutlichsten an occipitotemporalen (siehe roter Pfeil in Abbildung 4.17 Elektroden zu erkennen, bestanden aber auch an frontalen, frontozentralen und temporalen Elektroden. Die statistischen Testungen für die Peakamplituden von P100 und N170 zeigten für keine der beiden Komponenten Effekte der experimentellen Manipulation in Messung 1. Weder die Wiederholungen der Gesichter mit kurzem Lag noch die Gesichterwiederholungen mit langem Lag hatten einen Einfluss auf die Amplituden von P100 oder N170.

Die statistischen Auswertungen der Peakamplitude der P2-Komponente ergaben in der dreifaktoriellen ANOVA einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Elektrodengruppe [$F_{(3,3, 33,4)} = 5.22, p = .001, \text{Eta}^2 = .34$] und signifikante Wechselwirkungen zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(2,1, 18,4)} = 3.25, p = .046, \text{Eta}^2 = .25$] sowie zwischen Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung [$F_{(15, 150)} = 1.78, p = .043, \text{Eta}^2 = .15$]. Die dreifache Interaktion weist darauf hin, daß sich die Interaktion zwischen Lag und Wiederholung an den unterschiedlichen Elektrodengruppen differentiell auswirkte. Um herauszufinden, für welche Elektrodengruppen eine Interaktion zwischen Lag und Wiederholung bestand, wurden für alle sechs Elektrodengruppen zweifaktorielle ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung gerechnet. Diese zeigten eine signifikante Interaktion zwischen Lag und Wiederholung nur an temporalen [$F_{(3, 30)} = 8.14, p = .000, \text{Eta}^2 = .45$] und occipitotemporalen [$F_{(3, 30)} = 3.16, p = .039, \text{Eta}^2 = .24$] Elektroden. Die daraufhin gerechneten einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung zeigten sowohl für die temporale [$F_{(2,7, 27,1)} = 6.32, p = .003, \text{Eta}^2 = .38$] als auch die occipitotemporale [$F_{(3, 30)} = 4.6, p = .009, \text{Eta}^2 = .32$] Elektrodengruppe nur für das *lange* Lag einen Haupteffekt der Wiederholung. Für die Wiederholungen mit

kurzem Lag bestand der Effekt nicht [temporal: $F_{(1.7, 16.9)} = 1.29, p = .30$; occipitotemporal: $F_{(3, 30)} = 0.28, p = .84$].

Orthogonale Kontraste zeigten, daß sich für die temporalen Elektroden im langen Lag alle Gesichterwiederholungen von der ersten Darbietung signifikant unterschieden [alle $df = 1, 10$; L1 – L2: $F = 7.31, p = .022, \eta^2 = .42$; L1 – L3: $F = 15.60, p = .003, \eta^2 = .61$; L1 - L4: $26.52, p = .000, \eta^2 = .724$], es aber keine Verstärkung des Primingeffektes über die Wiederholungen gab [L2 – L3: $F_{(1, 10)} = 0.58, p = .46$; L3 – L4: $F_{(1, 10)} = 1.83, p = .20$]. An occipitotemporalen Elektroden zeigten sich erst ab der dritten Darbietung Unterschiede zu ersten Darbietung [(alle $df = 1, 10$) L1 – L2: $F = 3.16, p = .11$; L1 – L3: $F = 16.85, p = .006, \eta^2 = .63$; L1 - L 4: $F = 7.58, p = .02, \eta^2 = .431$], es ergab sich dann keine weitere Verstärkung des Primingeffektes [L3 – L4: $F_{(1, 10)} = 0.23, p = .63$].

In den ERP-Kurven war visuell auch eine Veränderung der P2-Amplitude an zentralen und frontozentralen Elektroden zu beobachten. Deshalb wurden diese Elektrodengruppen ebenfalls ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung unterzogen. Hier zeigte sich ein Haupteffekt der Wiederholungen mit langem Lag nur für die frontozentralen Elektroden [$F_{(3, 30)} = 3.0, p = .046, \eta^2 = .23$].

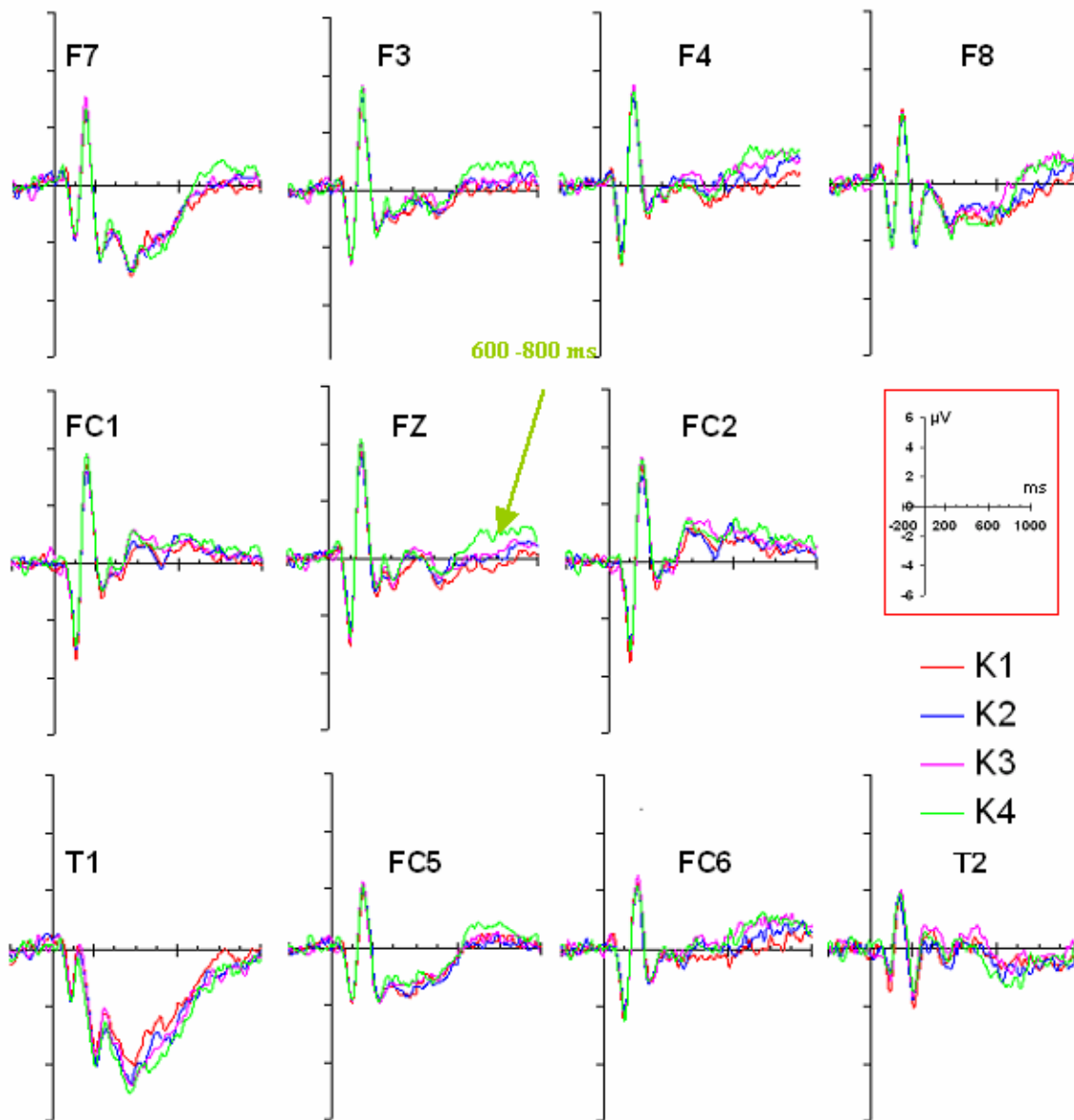


Abbildung 4.14: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag in Messung 1 an frontalen und frontozentralen Elektroden

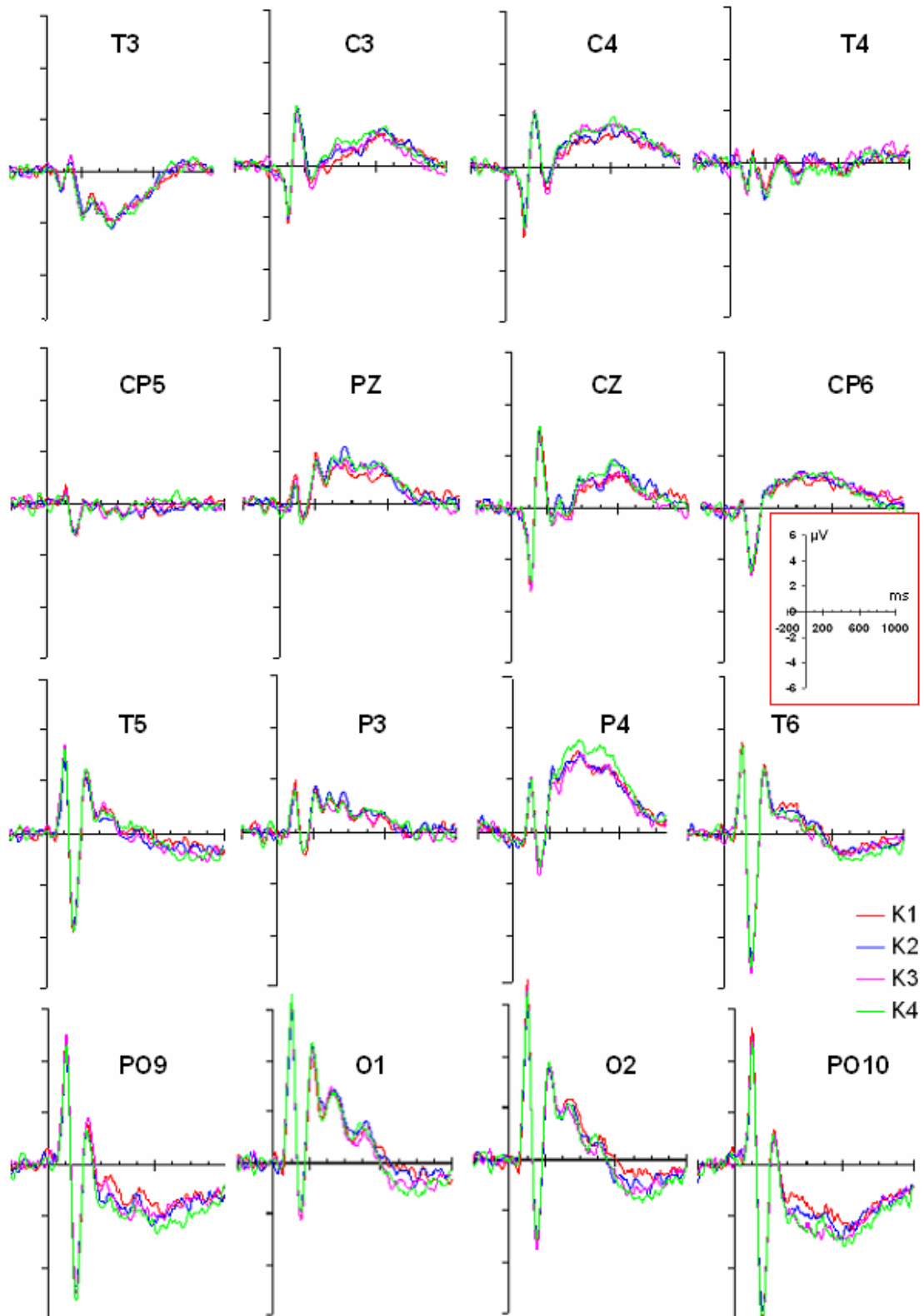


Abbildung 4.15: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag in Messung 1 an zentralen, parietalen und occipitalen Elektroden.

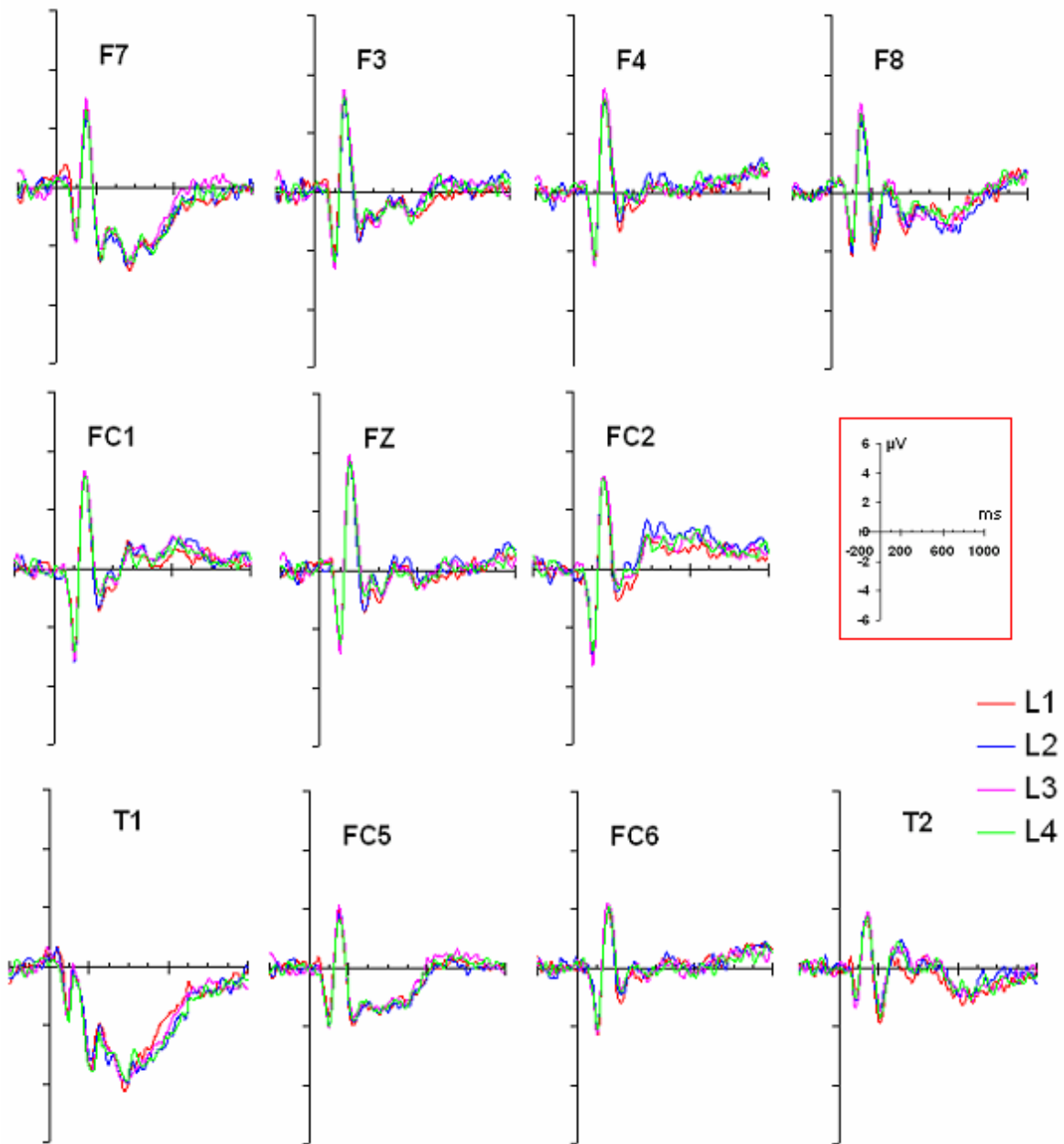


Abbildung 4.16: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit langem Lag in Messung 1 an frontalen und frontozentralen Elektroden.

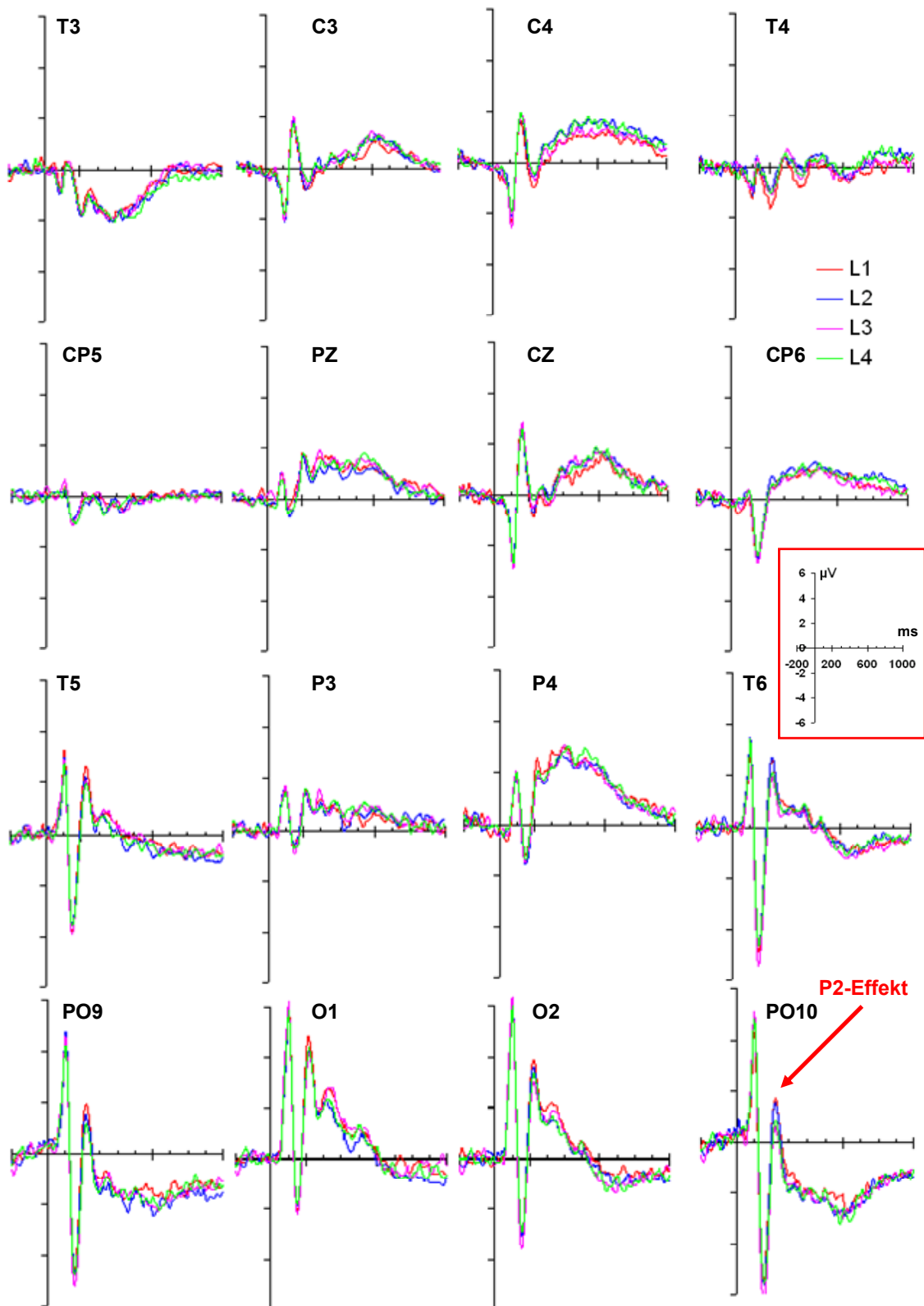


Abbildung 4.17: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit langem Lag in Messung 1 an zentralen, parietalen und occipitalen Elektroden.

Die orthogonalen Kontraste ergaben einen Unterschied zwischen erster Darbietung und den Wiederholungen erst ab der dritten Wiederholung [L1 – L2: $F_{(1, 10)} = 1.18, p = .30$; L1 – L3: $F_{(1, 10)} = 8.41, p = .016, \text{Eta}^2 = .46$; L1 – L4: $F_{(1, 10)} = 4.31, p = .065, \text{Eta}^2 = .30$], aber keine weitere Verstärkung des Effektes zur vierten Wiederholung [L3- L4: $F_{(1, 10)} = 0.39, p = .54$. An zentralen Elektroden lag der Effekt des Faktors Wiederholung knapp unter der Signifikanzgrenze [$F_{(1.9, 18.8)} = 2.88, p = .084$].

4.3.1.2 Ereigniskorrelierte Potentiale ab 300 ms

In den Zeitbereichen der ereigniskorrelierten Potentiale ab 300 ms zeigten sich in den ERP-Kurven für das kurze Lag zwei distinkte Effekte der Wiederholung. Der erste Effekt lag im Zeitbereich von etwa 300 ms bis 500 ms und bestand in einer Zunahme der Negativierung an occipitotemporalen Elektroden und einer Zunahme der Positivierung an zentralen und frontozentralen Elektroden. Um diesen Effekt statistisch zu untersuchen, wurden für jede Elektrodengruppe mittlere Potentialwerte über den Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms gebildet.

Der zweite Effekt war im Zeitbereich von circa 600 ms bis 800 ms zu beobachten und trat vor allem an occipitalen, frontalen und frontozentralen Elektroden auf. Er zeigte dieselbe Richtung wie der Effekt der Wiederholung im Bereich von 300 ms bis 500 ms. Zur Untersuchung dieses Effektes wurden auch über diesen Zeitbereich (600 ms bis 800 ms) mittlere Potentialwerte gebildet.

Die 3-faktorielle ANOVA mit den Faktoren Elektrodengruppe (6 Stufen), Lag (2 Stufen) und Wiederholung (4 Stufen) ergab für den Bereich von 300 ms bis 500 ms eine nahezu signifikante Interaktion zwischen Elektrodengruppe und Lag [$F_{(3.3, 33.1)} = 2.78, p = .052, \text{Eta}^2 = .22$] und eine ebenfalls fast signifikante Interaktion zwischen Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung [$F_{(15, 150)} = 1.61, p = .077, \text{Eta}^2 = .14$]. Die für jede der sechs Elektrodengruppen gerechneten zweifaktoriellen ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung zeigten jedoch keine signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren. Es ergaben sich in diesen Analysen einzig ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Wiederholung an der zentralen Elektrodengruppe [$F_{(3, 30)} = 9.29, p = .000, \text{Eta}^2 = .50$] und ein Haupteffekt des Faktors Lag für die temporalen Elektroden [$F_{(1, 10)} = 8.24, p = .017, \text{Eta}^2 = .45$]. An temporalen Elektroden zeigten sich zusätzlich Trends zu einem signifikanten Haupteffekt Wiederholung [$F_{(3, 30)} = 2.31, p = .097, \text{Eta}^2 = .19$] und zu einer Interaktion zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(2.25, 22.5)} = 2.58, p = .09, \text{Eta}^2 = .29$].

Die Untersuchung des Haupteffektes Wiederholung an der zentralen Elektrodengruppe mittels einfaktorieller ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung ergab sowohl für das kurze Lag [$F_{(3, 30)} = 6.33, p = .002, \text{Eta}^2 = .29$] als auch für das lange Lag [$F_{(3, 30)} = 3.83, p = .02, \text{Eta}^2 = .28$] eine signifikante Veränderung der Amplitude über die vier Wiederholungen. Orthogonale Kontraste zeigten, daß die Veränderung im kurzen Lag erst von Darbietung eins zu drei [$F_{(1, 10)} = 6.46, p = .029, \text{Eta}^2 = .39$] und auch von Darbietung eins zu vier [$F_{(1, 10)} = 16.21, p = .002, \text{Eta}^2 = .62$] bestand. Im langen Lag unterschieden sich alle Gesichterwiederholungen von der ersten Darbietung, wie die orthogonalen Kontraste zeigten [L1 zu L2: $F_{(1, 10)} = 7.86, p = .02, \text{Eta}^2 = .42$; L1 zu L3: $F_{(1, 10)} = 8.54, p = .014, \text{Eta}^2 = .44$; L1 zu L4: $F_{(1, 10)} = 9.48, p = .01, \text{Eta}^2 = .46$]. Somit zeigten sich an

zentralen Elektroden Wiederholungseffekte für das kurze und lange Lag, die jedoch in ihrer Stärke nicht vom Lag beeinflusst wurden. Für die temporalen Elektroden ergab sich in den ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die getrennt für kurzes und langes Lag durchgeführt wurden, nur ein Haupteffekt Wiederholung für das lange Lag [$F_{(3, 30)} = 3.53$, $p = .026$, $\text{Eta}^2 = .26$] und nicht für das kurze Lag [$F_{(3, 30)} = 1.29$, $p = .30$]. Orthogonale Kontraste zeigten jedoch, daß der Haupteffekt im langen Lag vor allem durch den Unterschied zwischen erster und zweiter Gesichterdarbietung entstanden war [$F_{(1, 01)} = 9.26$, $p = .01$, $\text{Eta}^2 = .46$]. Die dritte Darbietung unterschied sich nicht signifikant von Darbietung eins [$F_{(1, 10)} = 0.44$, $p = .52$] und Darbietung vier unterschied sich nur nahezu signifikant von Darbietung eins [$F_{(1, 11)} = 4.04$, $p = .07$, $\text{Eta}^2 = .27$]. So kann an temporalen Elektroden nicht von einer kontinuierlich verlaufenden Amplitudenveränderung über die Gesichterwiederholungen mit langem Lag ausgegangen werden, die bei einem Primingeffekt über mehrere Gesichterdarbietungen vorhanden sein sollte.

Für die restlichen vier Elektrodengruppen (frontal, frontozentral, parietozentral und occipitotemporal) wurden ebenfalls einfaktorielle ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung gerechnet. An frontozentralen und occipitotemporalen Elektroden ergaben sich Haupteffekte des Faktors Wiederholung nur für das kurze und nicht für das lange Lag [Haupteffekt Wiederholung kurzes Lag frontozentral: $F_{(2, 20.2)} = 4.41$, $p = .025$, $\text{Eta}^2 = .31$; Haupteffekt Wiederholung kurzes Lag occipitotemporal: $F_{(2.6, 26.3)} = 3.42$, $p = .03$, $\text{Eta}^2 = .255$]. Die orthogonalen Kontraste zwischen Darbietung eins und den weiteren Darbietungen zeigten an occipitotemporalen Elektroden denselben Verlauf des Primingeffektes, wie er vorher an zentralen Elektroden im kurzen Lag zu beobachten gewesen war. Ein Unterschied zu Darbietung eins zeigte sich erst ab der dritten Darbietung [K1 – K2: $F_{(1, 10)} = 1.19$, $p = .30$; K1 – K3: $F_{(1, 10)} = 5.11$, $p = .047$, $\text{Eta}^2 = .36$; K1 – K4: $F_{(1, 10)} = 24.32$, $p = .001$, $\text{Eta}^2 = .73$]. An frontozentralen Elektroden zeigte sich ebenfalls ein Unterschied erst von erster zu dritter Darbietung [K1 – K2: $F_{(1, 10)} = 0.72$, $p = .42$; K1 – K3: $F_{(1, 10)} = 7.55$, $p = .021$, $\text{Eta}^2 = .45$; K1 – K4: $F_{(1, 10)} = 14.16$, $p = .004$, $\text{Eta}^2 = .607$]. Die Ergebnisse aller orthogonalen Kontraste für frontale, zentrale und occipitotemporale Elektroden sind in Tabelle 8 aufgeführt. Sie zeigen, daß der Wiederholungseffekt, der an allen Elektrodengruppen im kurzen Lag erst von der ersten zur dritten Darbietung bestand, sich im Vergleich von dritter zu vierter Darbietung (K3 – K4) an keiner Elektrodengruppe weiter verstärkte. Der Effekt der Wiederholungen mit langem Lag, der an zentralen Elektroden bestand, ergab sich schon von erster zu zweiter Darbietung, verstärkte sich dann aber nicht weiter (siehe Tabelle 8).

Es wurde überprüft, ob der Wiederholungseffekt möglicherweise aufgrund der Beeinflussung des EEG von Augenbewegungen, die im EOG gemessen wurden, zustande gekommen sein könnte. Im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms zeigten sich weder im horizontalen Elektroofokulogramm (EOG) noch im vertikalen EOG Effekte der Wiederholung auf die Potentialamplitude im kurzen Lag. Die einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung ergaben keine signifikanten Effekte der Wiederholung im kurzen Lag [horizontales EOG kurzes Lag: $F_{(2.9, 29.3)} = 1.9$, $p = .15$; vertikales EOG kurzes Lag: $F_{(3, 30)} = 1.37$, $p = .28$]. Die orthogonalen Kontraste zwischen der EOG-Amplitude bei erster Darbietung mit den weiteren Darbietungen zeigten einen Trend zum Unterschied zwischen erster und zweiter Darbietung für das horizontale EOG [$F_{(1, 10)} = 4.1$, $p = .07$], zwischen erster und dritter und erster Darbietung zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied [K1 – K3: $F_{(1, 10)} = 0.49$, $p = .49$; K1 – K4: $F_{(1, 10)} = 2.6$, $p = .14$].

Tabelle 8. Orthogonale Kontraste für die Vergleiche zwischen einzelnen Faktorstufen für die signifikanten Effekte der Gesichterwiederholung im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms.

Elektrodengruppe / Lagvariation	Bedingungen	Mittlere Differenz \pm 1 SD	F-Wert	p	Eta ²
Occipitotemporal kurzes Lag	K1 – K2	0.22 \pm 0.66	1.19	.30 n.s.	
	K1 – K3	0.46 \pm 0.68	5.11	.047*	.34
	K1 – K4	0.44 \pm 0.29	24.34	.001**	.71
	K2 – K3	0.24 \pm 0.59	1.92	.19 n.s.	
	K3 – K4	-0.02 \pm 0.48	0.27	.87 n.s.	
Frontozentral kurzes Lag	K1 – K2	0.07 \pm 0.28	0.72	.42 n.s.	
	K1 – K3	0.31 \pm 0.37	7.55	.021*	.43
	K1 – K4	0.28 \pm 0.24	14.16	.004**	.59
	K2 – K3	0.24 \pm 0.26	8.77	.014*	.47
	K3 – K4	-0.03 \pm 0.49	0.47	.83 n.s.	
Zentral kurzes Lag	K1 – K2	0.19 \pm 0.45	1.99	.19 n.s.	
	K1 – K3	0.33 \pm 0.43	6.46	.029	.39
	K1 – K4	0.47 \pm 0.38	16.21	.002**	.62
	K2 – K3	0.14 \pm 0.32	1.96	.19 n.s.	
	K3 – K4	0.13 \pm 0.36	1.53	.24 n.s.	
Zentral langes Lag	L1 – L2	0.32 \pm 0.41	6.55	.03*	.40
	L1 – L3	0.14 \pm 0.17	7.12	.024*	.42
	L1 – L4	0.25 \pm 0.30	7.9	.02*	.44
	L2 – L3	-0.18 \pm 0.39	2.4	.15 n.s.	
	L3 – L4	0.11 \pm 0.25	2.41	.15 n.s.	

Anmerkungen: SD = Standardabweichung; alle df = 1, 10, * p < .05, ** p < .01, n.s.: nicht statistisch signifikant

Für das vertikale EOG zeigten die Kontraste ebenfalls einen Unterschied zwischen erster und zweiter Darbietung [$F_{(1,10)} = 7.8$, $p = .02$], aber nicht zwischen erster und den weiteren Darbietungen [K1 – K3: $F_{(1,10)} = 0.69$, $p = .42$; K1 – K4: $F_{(1,10)} = 1.8$, $p = .21$]. Für das lange Lag zeigten sich im Bereich von 300 ms bis 500 ms keine Effekte der Wiederholung auf die EOG-Amplitude [horizontales EOG: $F_{(3,30)} = 0.203$, $p = .89$; orthogonale Kontraste zum Vergleich von erster mit den weiteren Darbietungen: alle df = 1, 10, alle $F < 1$, alle $p > .56$; horizontales EOG: $F_{(3,30)} = 0.15$, $p = .77$, orthogonale Kontraste zwischen Darbietung 1 und den weiteren Darbietungen: alle df = 1, 10, alle $F < 0.4$, alle $p > .54$].

Die Zeitkurven von horizontalem und vertikalem EOG sind für die vier Wiederholungen mit kurzem und langem Lag in Abbildung 4.18 gezeigt. HEOG bezeichnet das horizontale EOG, VEOG das vertikale EOG,

K1 bis K4 die Wiederholungen mit kurzem Lag, L1 bis L4 die Wiederholungen mit langem Lag. Die Kurven zeigen, daß sich die Trends zu Wiederholungseffekten in genau der umgekehrten Richtung zeigten, die die Effekte an den EEG-Elektroden nahmen. Somit können die Primingeffekte im Bereich von 300 ms bis 500 ms nicht durch den Einfluß von Augenbewegungen auf das EEG erklärt werden.

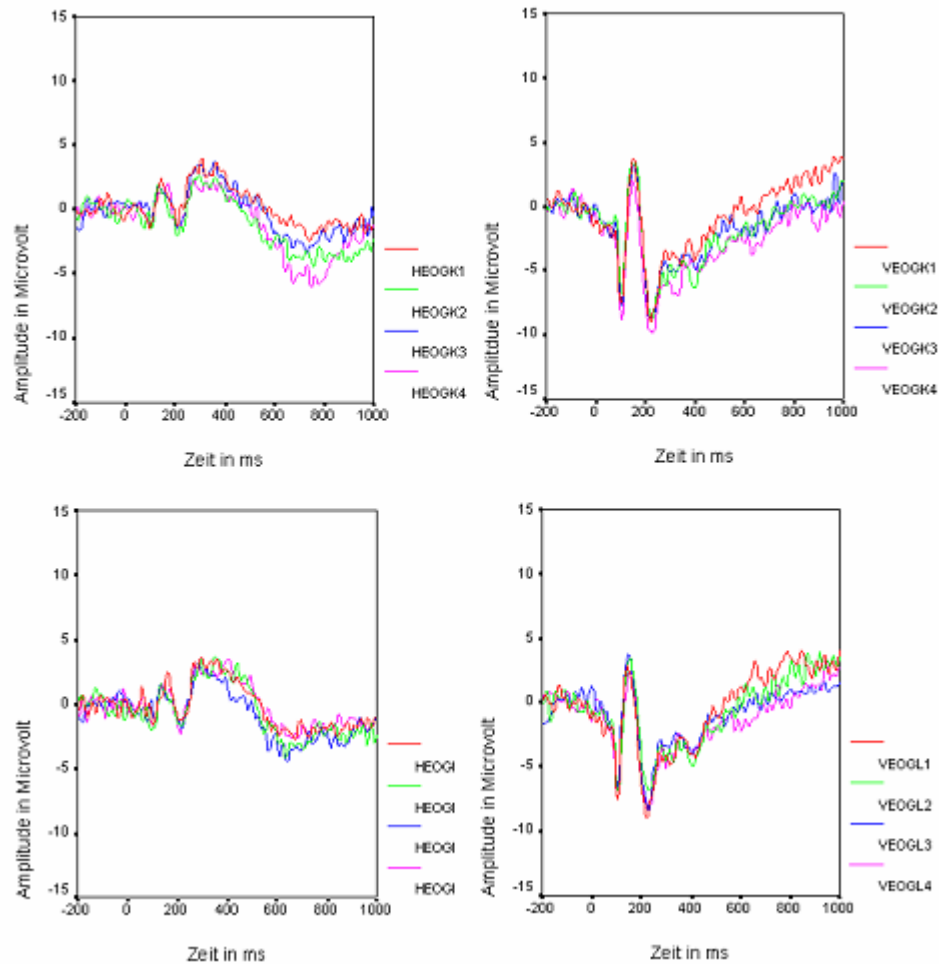


Abbildung 4.18: Zeitkurven von horizontalem EOG (HEOG) und vertikalem EOG (VEOG) für die Wiederholungen mit kurzem Lag (K1 bis K4) und langem Lag (L1 bis L4).

Für die ERP im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms wurde zunächst ebenfalls eine dreifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung gerechnet. Diese ergab einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Wiederholung [$F_{(2,04, 20,44)} = 7.35, p = .004, \text{Eta}^2 = .42$], aber keine weiteren Interaktionen oder Haupteffekte. Dieses Ergebnis war ein Hinweis darauf, daß sich in dem Zeitbereich ein Einfluss der Wiederholung auf die Potentialamplitude an mehreren Elektrodengruppen zeigen würde und möglicherweise für kurzes und langes Lag bestand. Die zweifaktoriellen ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung, die für jede der sechs Elektrodengruppen gerechnet wurden, ergaben signifikante oder nahezu

signifikante Effekte des Faktors Wiederholung an zentralen [$F_{(1.97, 19.7)} = 3.235, p = .062, \eta^2 = .24$], occipitotemporalen [$F_{(2.2, 21.7)} = 7.32, p = .003, \eta^2 = .423$], temporalen [$F_{(3, 30)} = 3.21, p = .037, \eta^2 = .423$], frontozentralen [$F_{(3, 30)} = 5.3, p = .005, \eta^2 = .35$] und frontalen [$F_{(3, 30)} = 3.08, p = .042, \eta^2 = .24$] Elektroden, aber keine Effekte der Faktoren Lag oder Interaktionen zwischen beiden Faktoren. So war die parietozentrale Elektrodengruppe die einzige Gruppe, an der sich kein Effekt der Wiederholung ergab.

In diesem Zeitintervall zeigten die einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die für kurzes und langes Lag getrennt durchgeführt wurden, einen knapp signifikanten Haupteffekt des Faktors Wiederholung an zentralen Elektroden, der nur für das lange Lag bestand [$F_{(2.01, 20.6)} = 3.27, p = .057, \eta^2 = .25$]. Die orthogonalen Kontraste zwischen einzelnen Bedingungen, die in Tabelle 9 dargestellt sind, zeigten, daß der Wiederholungseffekt in diesem Zeitintervall jedoch keinen kontinuierlichen Verlauf nahm. Er bestand zwar von erster zu zweiter und erster zu vierter, aber nicht von erster zu dritter Darbietung.

Für das kurze Lag zeigten sich in den einfaktoriellen ANOVAs signifikante Haupteffekte des Faktors Wiederholung an occipitotemporalen [$F_{(3, 30)} = 7.46, p = .001, \eta^2 = .43$], frontalen [$F_{(1.7, 17.08)} = 3.87, p = .047, \eta^2 = .28$] und frontozentralen [$F_{(3, 30)} = 9.64, p = .000, \eta^2 = .49$] Elektroden. Die temporale und parietozentrale Elektrodengruppe zeigten für keines der beiden Lags Effekte der Gesichterwiederholung. Die Aufschlüsselung des Verlaufs der Wiederholungseffekte für das kurze Lag an occipitotemporalen, frontalen und frontozentralen Elektroden mittels orthogonaler Kontraste – alle Ergebnisse dieser Kontraste sind in Tabelle 9 dargestellt – ergaben für alle drei Elektrodengruppen noch keine Unterschiede zwischen erster und zweiter Darbietung (K1 – K2), aber deutlich signifikante Unterschiede zwischen erster und dritter (K1 – K3) und erster und vierter Darbietung (K1 – K4). Dabei erschien der Wiederholungseffekt am stärksten für die frontozentrale und occipitotemporale Elektrodengruppe. An beiden Elektrodengruppen zeigte sich eine Verstärkung des Primingeffektes von dritter zu vierter Darbietung.

Tabelle 9. Orthogonale Kontraste für die Vergleiche zwischen einzelnen Faktorstufen für die signifikanten Effekte der Gesichterwiederholung im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms.

Elektrodengruppe / Lagvariation	Bedingungen	Mittlere Differenz \pm 1 SD	F-Wert	p	Eta ²
Occipitotemporal kurzes Lag	K1 – K2	0.24 \pm 0.60	1.81	.21 n.s.	
	K1 – K3	0.40 \pm 0.53	6.28	.03*	.39
	K1 – K4	0.73 \pm 0.69	12.4	.005**	.56
	K2 – K3	0.16 \pm 0.39	1.88	.20 n.s.	
Frontozentral kurzes Lag	K3 – K4	-0.33 \pm 0.47	5.27	.045*	.35
	K1 – K2	0.15 \pm 0.28	2.94	.12 n.s.	
	K1 – K3	0.30 \pm 0.41	5.89	.04*	.37
	K1 – K4	0.51 \pm 0.42	16.49	.002**	.62
Frontal kurzes Lag	K2 – K3	0.15 \pm 0.28	3.11	.11 n.s.	
	K3 – K4	0.22 \pm 0.29	6.27	.03*	.39
	K1 – K2	0.26 \pm 0.64	1.79	.21 n.s.	
	K1 – K3	0.30 \pm 0.41	5.45	.04*	.35
Zentral langes Lag	K1 – K4	0.75 \pm 1.16	4.57	.058 n.s.	.31
	K2 – K3	0.21 \pm 0.47	1.96	.17 n.s.	
	K3 – K4	0.28 \pm 0.61	2.40	.15 n.s.	
	L1 – L2	0.24 \pm 0.23	11.32	.007**	.53
	L1 – L3	0.12 \pm 0.44	0.81	.39 n.s.	
	L1 – L4	0.28 \pm 0.30	9.04	.013*	.46
	L2 – L3	-0.12 \pm 0.40	1.01	.34 n.s.	
	L3 – L4	0.15 \pm 0.23	4.64	.054 n.s.	

Anmerkungen: SD = Standardabweichung; alle df = 1, 10, * p < .05, ** p < .01, n.s.: nicht statistisch signifikant. Die Polarität ist zwecks statistischer Vergleichbarkeit für alle Elektroden auf dasselbe Vorzeichen gebracht.

Das EOG zeigte für den Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms in der visuellen Ansicht der Kurven eine Veränderung über die Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag. Die Richtung der Veränderung zeigte sich jedoch genau umgekehrt zum Effekt an weiter anterior gelegenen Elektroden, deren Zeitkurven dieselbe Polarität hatten wie die des EOG (positive N170 und späte Zeitbereiche mit positiver Amplitude). Dieser Effekt bestand damit auch umgekehrt zum Effekt an occipitotemporalen Elektroden, da sich die Polarität aller Potentiale und somit auch des EOG-Einflusses nach posterior hin umdreht. Es zeigte sich in der

einfaktoriellen ANOVA mit dem Faktor Wiederholung kein Einfluß der Gesichterwiederholung mit kurzem Lag auf das vertikale EOG [$F_{(3, 24)} = 1.36, p = .28$]. In den orthogonalen Kontrasten zum Vergleich der ersten mit den weiteren Darbietungen zeigte sich ein Unterschied zwischen erster und zweiter Darbietung [$F_{(1, 10)} = 7.9, p = .02$], zu dritter und vierter Darbietung zeigte sich allerdings kein Unterschied mehr [K1 – K3: $F_{(1, 10)} = 0.05, p = .82$; K1 – K4: $F_{(1, 10)} = 1.9, p = .19$]. Für das horizontale EOG zeigten sich keine Wiederholungseffekte im kurzen Lag auf die EOG-Amplitude [$F_{(2,1, 21,1)} = 2.3, p = .12$]. Die orthogonalen Kontraste zeigten für keine der Wiederholungen einen Unterschied zur ersten Darbietung [K1- K2: $F_{(1, 19)} = 1.8, p = .20$; K1 – K3: $F_{(1, 10)} = 0.42, p = .53$; K1 – K4: $F_{(1, 10)} = 0.31, p = .59$]. Für das lange Lag ergaben sich keine Einflüsse der Wiederholung auf das vertikale EOG [$F_{(3, 30)} = 1.57, p = .22$]. In den orthogonalen Kontrasten unterschied sich keine der Wiederholungen signifikant von der ersten Darbietung, obwohl sich für die dritte Darbietung ein Trend ergab [L1 – L2: $F_{(1, 10)} = 1.1, p = .33$; L1 – L3: $F_{(1, 10)} = 3.95, p = .08$; L1 – L4: $F_{(1, 10)} = 1.8, p = .21$]. Das horizontale EOG unterschied sich ebenfalls nicht zwischen den Wiederholungen mit langem Lag [$F_{(3, 30)} = 0.34, p = .79$; orthogonale Kontraste: alle $df = 1, 10$, alle $F < 0.31$, alle $p > .59$]. Somit können auch die Effekte der Gesichterwiederholung im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms nicht auf den Einfluß von Augenbewegungen auf das EEG zurückgeführt werden.

Zur genauen Eingrenzung der Zeitbereiche der Wiederholungseffekte im EEG wurden von 300 ms bis 900 ms und die Wiederholungen des *kurzen* Lags für frontozentrale, occipitotemporale, zentrale und frontale Elektroden gepaarte t-Tests für den Vergleich zwischen erster und vierter Darbietung (K1 – K4) gerechnet, deren Signifikanzniveau nach Bonferronikorrektur für multiple Vergleiche bei $p < .008$ lag. Die Ergebnisse dieser Tests sind in Tabelle 10 dargestellt. Die Tabelle zeigt, daß sich die zeitlich ausgedehntesten Effekte der Gesichterwiederholung an occipitotemporalen Elektroden ergaben. Hier zeigten sich Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung von 300 ms bis 600 ms, der Bereich von 600 bis 800 ms zeigte noch einen Trend zum Unterschied. In der visuellen Ansicht der Kurven zeigte sich jedoch an den occipitalen Elektroden O1 und O2 und an PO9 im kurzen Lag ein Effekt, der etwa bis 800 ms Sekunden andauerte, in der Gesamtelektrodengruppe jedoch von 700 ms bis 800 ms nicht mehr signifikant war.

Für den Zeitbereich von 700 ms bis 800 ms wurde für jede der drei Elektroden sowie für PO10 (zum Vergleich mit PO9) ein gepaarter t-Test zum Vergleich zwischen erster und vierter Darbietung gerechnet. Diese Tests ergaben vor allem für die Elektroden O1 und O2 signifikante Wiederholungseffekte [O1: $t_{(10)} = 2.43, p = .035$; O2: $3.36, p = .007$]. An PO9 und PO10 zeigten sich knapp nicht signifikante Unterschiede [PO9: $t_{(10)} = 2.22, p = .05$; PO10: $t_{(10)} = 2.09, p = .06$]. An frontozentralen Elektroden ergaben sich vor allem von 300 ms bis 400 ms und von 600 ms bis 700 ms Wiederholungseffekte. An zentralen Elektroden zeigte sich vor allem ein zeitlich früher Wiederholungseffekt zwischen 300 ms und 400 ms. Von 400 ms bis 600 ms ergaben sich hier lediglich statistische Trends. An frontalen Elektroden waren die Effekte der Wiederholung schwächer und überlebten die Bonferronikorrektur in keinem Zeitintervall, zeigten aber Trends im Bereich von 600 ms bis 900 ms. Der Effekt an frontalen Elektroden trat damit zeitlich später auf als an frontotemporalen und occipitotemporalen Elektroden. Im langen Lag zeigte der Wiederholungseffekt an zentralen Elektroden einen Unterschied bei 400 ms bis 500 ms und 700 ms bis 800 ms.

Tabelle 10. Gepaarte t-Tests zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung für Zeitfenster von 100 ms im Bereich von 300 ms bis 900 ms.

Elektrodengruppe	Zeitbereich	Mittlere Differenz \pm 1 SD	F-Wert	p
Occipitotemporal kurzes Lag	300 – 400	0.58 \pm 0.55	3.52	.006**
	400 – 500	0.52 \pm 0.51	3.35	.007**
	500 – 600	0.30 \pm 0.27	3.37	.004**
	600 – 700	0.68 \pm 0.64	2.84	.017*
	700 – 800	0.78 \pm 0.91	1.83	.09 n.s.
	800 – 900	0.50 \pm 0.92	1.02	.33 n.s.
Frontozentral kurzes Lag	300 – 400	0.33 \pm 0.33	3.63	.005**
	400 – 500	0.28 \pm 0.46	2.01	.072 n.s.
	500 – 600	0.20 \pm 0.47	1.42	.186**
	600 – 700	0.45 \pm 0.41	3.59	.005**
	700 – 800	0.58 \pm 0.52	3.72	.004**
	800 – 900	0.47 \pm 0.58	2.65	.024*
Frontal kurzes Lag	300 – 400	0.13 \pm 0.34	1.27	.232 n.s.
	400 – 500	0.10 \pm 0.47	0.74	.48 n.s.
	500 – 600	-0.06 \pm 0.29	-0.70	.49 n.s.
	600 – 700	0.50 \pm 0.88	1.89	.088 n.s.
	700 – 800	0.99 \pm 1.5	2.20	.052 n.s.
	800 – 900	0.90 \pm 1.2	2.56	.028*
Zentral kurzes Lag	300 – 400	0.51 \pm 0.47	3.65	.004**
	400 – 500	0.35 \pm 0.57	2.01	.072
	500 – 600	0.43 \pm 0.48	2.94	.015*
	600 – 700	0.26 \pm 0.57	1.47	.38 n.s.
	700 – 800	0.16 \pm 0.58	0.91	.87 n.s.
	800 – 900	0.02 \pm 0.53	0.18	.67 n.s.
Zentral langes Lag	300 – 400	0.28 \pm 0.39	2.33	.042*
	400 – 500	0.44 \pm 0.33	4.41	.001**
	500 – 600	0.24 \pm 0.33	2.41	.037*
	600 – 700	0.27 \pm 0.39	2.31	.044*
	700 – 800	0.27 \pm 0.27	.42	.007**
	800 – 900	0.08 \pm 0.25	1.08	.307 n.s.

Anmerkungen zur Tabelle: SD = Standardabweichung; alle df = 10, * p < .05, ** p < .008 (Signifikanzniveau nach Bonferronikorrektur). n.s.: nicht statistisch signifikant.

Abbildung 4.19 zeigt die Verteilung der Differenzpotentiale für den Vergleich zwischen erster und vierter Darbietung mit kurzem Lag (K1 –K4) im Zeitbereich von 300 ms bis 900 ms. Hier sind die Potentialverteilungen nicht über Zeitfenster gemittelt, sondern zum jeweils angegebenen Zeitpunkt dargestellt. Die Karten wurden in BESA 2000 durch spherical spline interpolation erzeugt. Die grauen Bereiche bezeichnen negative Polarität, die weissen Bereiche positive Polarität. In der Abbildung ist die örtliche Verschiebung des Effektes von occipitotemporalen, zentralen und frontozentralen Elektroden im frühen Zeitbereich von 300 ms bis 600 ms in Richtung frontozentraler und vor allem frontaler Elektroden im späten Zeitbereich zu erkennen.

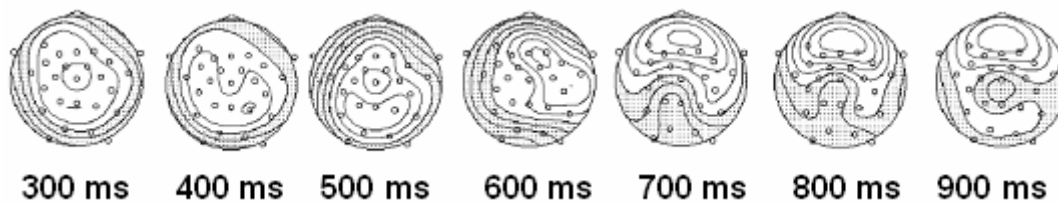


Abbildung 4.19: Verteilung der Differenzpotentiale zwischen Bedingung K1 und K4 in Messung 1 in Zeitschritten von 100 ms für den Bereich von 300 ms bis 900 ms. Der Kontourschritt beträgt $0.3 \mu\text{V}$. grauer Bereich: negativ, weisser Bereich: positiv.

Die in Kapitel 3.1 gestellten Fragen nach Primingeffekten für unbekannte Gesichter in ereigniskorrelierten Potentialen können nach Auswertung der Daten folgendermaßen beantwortet werden: Es zeigten sich bei Wiederholung unbekannter Gesichter sowohl mit kurzem als auch mit langem Lag Primingeffekte auf die Amplituden ereigniskorrelierter Potentiale. Frage 2c) nach einer differentiellen Wirkung des Lags zwischen Wiederholungen auf die Primingeffekte kann im Sinne des Bestehens eines differentiellen Effektes beantwortet werden. Dieser Effekt bestand aber, wie auch im MEG zu beobachten gewesen war, nicht im Sinne der Annahmen. Die Effekte bestanden überwiegend (mit Ausnahme der zentralen Elektrodengruppe) nur für eines der beiden Lags. Es zeigten sich die folgenden Wiederholungseffekte:

- 1). Die Amplitude der P2 nahm nur bei Gesichterwiederholungen mit langem Lag signifikant an temporalen, occipitotemporalen, frontozentralen und zentralen Elektroden ab. Dieser Effekt zeigte einen Einfluß der Häufigkeit der Wiederholungen, der jedoch an den einzelnen Elektrodengruppen unterschiedlich vorlag. Der Primingeffekt zeigte sich an zentralen Elektroden überhaupt erst im Vergleich von erster und vierter Wiederholung, an occipitotemporalen und frontozentralen Elektroden ergab sich ein Effekt von erster zu dritter Darbietung, der sich aber nicht weiter verstärkte. An temporalen Elektroden zeigte sich ein Primingeffekt schon von erster zu zweiter Darbietung, dieser verstärkte sich aber nicht weiter.
- 2). Im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms zeigte sich für die Wiederholungen mit kurzem Lag ein Primingeffekt an zentralen, frontozentralen und occipitotemporalen Elektroden. Dieser Effekt bestand in einer Zunahme der Negativierung an occipitotemporalen Elektroden und einer Zunahme der Positivierung an fronto-zentralen und zentralen Elektroden. Er bestand an allen drei Elektrodengruppen erst im Vergleich von

erster mit dritter Darbietung, verstärkte sich dann aber nicht weiter. Im selben Zeitbereich ergab sich für die Wiederholungen mit langem Lag ein Primingeffekt an zentralen Elektroden, der in derselben Richtung wie der Primingeffekt im kurzen Lag bestand, jedoch schon von erster zu zweiter Wiederholung vorlag und sich nicht weiter verstärkte.

3). Im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms zeigte sich für die Wiederholungen mit kurzem Lag ein Primingeffekt an occipitotemporalen, frontozentralen und frontalen Elektroden. Dieser Effekt bestand in derselben Weise wie auch bei 300 ms bis 500 ms in einer Verstärkung der Negativerung bei Gesichterwiederholung an occipitotemporalen und einer Verstärkung der Positiverung an frontozentralen und frontalen Elektroden. Der Effekt bestand für die occipitotemporale Elektrodengruppe in gepaarten t-Tests über Zeitfenster von jeweils 100 ms jedoch nur im Bereich von 600 ms bis 700 ms. Für die beiden occipitalen Elektroden O1 und O2 war er auch im Bereich von 700 ms bis 800 ms zu beobachten. An frontozentralen Elektroden bestand der Effekt von 600 ms bis 900 ms, und an frontalen Elektroden bestand er in diesem Zeitbereich ebenfalls im Trend. Dieser Primingeffekt war an occipitotemporalen und frontozentralen Elektroden von der Wiederholungshäufigkeit beeinflusst. Ein Effekt zeigte sich an beiden Elektrodengruppen erst von erster zu dritter Darbietung und verstärkte sich zur vierten Darbietung weiter. An frontalen Elektroden war der Effekt schwächer ausgeprägt als an den anderen beiden Elektrodengruppen. Aber auch hier kann auch hier von einer Verstärkung des Wiederholungseffektes im Laufe der Darbietungen ausgegangen werden kann, da der Effekt erst von erster zu dritter Darbietung bestand. Im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms war im langen Lag ein Effekt der Wiederholung an zentralen Elektroden zu beobachten, der jedoch in Ansicht der Zeitkurven an den Elektroden sich als sehr schwach herausstellte.

4.3.2 Ereigniskorrelierte Potentiale in Messung 2

Die Auswertung der ereigniskorrelierten Potentiale aus Messung 2 wurde analog zu Messung 1 durchgeführt. Die Abbildungen 4.20 bis 4.23 zeigen die Zeitkurven der ereigniskorrelierten Potentiale für die jeweils vier Wiederholungen der Gesichter mit kurzem Lag (Abbildungen 4.20 und 4.21) und langem Lag (Abbildungen 4.22 und 4.23).

4.3.2.1 *P100, N170 und P2*

Auch in Messung 2 zeigten sich in der Ansicht der ereigniskorrelierten Potentiale Effekte der Gesichterwiederholung erst auf der Ebene der P2. Hier war wie auch schon in Messung 1 eine Abnahme der positiven Amplitude über die Wiederholungen mit langem Lag zu beobachten. Die statistischen Auswertungen der P100-Amplitude und der N170-Amplitude ergaben für beide Potentiale keine Effekte der Gesichterwiederholung.

Für die Amplitude der P2-Komponente zeigten sich in der dreifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung signifikante Haupteffekte der Faktoren Elektrodengruppe [$F_{(2.3, 21.4)} = 2.8, p = .075, \text{Eta}^2 = .24$] und Wiederholung [$F_{(3, 27)} = 6.81, p = .001, \text{Eta}^2 = .43$] und signifikante oder nahezu signifikante Interaktionen zwischen Elektrodengruppe und Wiederholung [$F_{(10.9, 98.9)} = 3.2, p = .001, \text{Eta}^2 = .27$], zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(2, 18.3)} = 3.92, p = .037, \text{Eta}^2 = .30$] sowie zwischen Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung [$F_{(8.2, 74.3)} = 2.03, p = .05, \text{Eta}^2 = .18$]. Somit hatte wie auch schon in Messung 1 das Lag an einzelnen Elektrodengruppen einen differentiellen Effekt auf den Verlauf der Wiederholungseffekte. Die für jede Elektrodengruppe gerechneten ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung zeigten an temporalen und frontalen Elektroden einen Haupteffekt des Faktors Wiederholung [temporale Elektroden: $F_{(2.9, 26.3)} = 7.08, p = .001, \text{Eta}^2 = .44$; frontale Elektroden: $F_{(3, 27)} = 4.64, p = .01, \text{Eta}^2 = .34$] und Interaktionen zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(2.3, 20.9)} = 4.27, p = .023, \text{Eta}^2 = .32$; $F_{(1.9, 17.3)} = 5.26, p = .017, \text{EEta}^2 = .36$]. An parietozentralen Elektroden zeigte sich ebenfalls eine Interaktion zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(2.7, 24.7)} = 3.96, p = .02, \text{Eta}^2 = .30$]. An frontozentralen, occipitotemporalen und zentralen Elektroden ergaben sich lediglich Haupteffekte oder Trends zu Effekten des Faktors Wiederholung [frontozentrale Elektroden: $F_{(3, 27)} = 3.1, p = .043, \text{Eta}^2 = .256$; occipitotemporale Elektroden: $F_{(3, 27)} = 9.18, p = .000, \text{Eta}^2 = .51$; zentrale Elektroden: $F_{(3, 27)} = 1.95, p = .14$].

Die einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die für kurzes und langes Lag gerechnet wurden, zeigten an occipitotemporalen Elektroden Haupteffekte der Wiederholung im kurzen und langen Lag [kurzes Lag: $F_{(3, 27)} = 3.7, p = .024, \text{Eta}^2 = .29$; langes Lag: $F_{(2.3, 21.5)} = 5.3, p = .01, \text{Eta}^2 = .37$]. An frontozentralen und frontalen Elektroden zeigten sich ebenfalls in kurzen und langem Lag Trends zum Wiederholungseffekt oder signifikante Effekte [frontozentrale Elektroden kurzes Lag: $F_{(3, 27)} = 2.23, p = .10$; langes Lag: $F_{(2.9, 26.3)} = 2.9, p = .051$; frontale Elektroden kurzes Lag: $F_{(3, 27)} = 4.45, p = .01, \text{Eta}^2 = .33$; langes Lag: $F_{(2.7, 24.8)} = 7.27, p = .001, \text{Eta}^2 = .45$]. An parietozentralen Elektroden zeigte sich nur im langen Lag ein knapp unter der Signifikanzgrenze liegender Effekt der Gesichterwiederholung [$F_{(2.1, 19.1)} = 3.45, p = .05$], die Wiederholungen mit kurzem Lag hatten keinen Einfluß auf die Potentialamplitude [$F_{(3, 27)} = 1.65, p = .20$]. An temporalen Elektroden zeigte sich ebenfalls ein deutlicher Effekt der Wiederholungen mit langem Lag auf die Amplitude der P2 [$F_{(2.6, 23.7)} = 8.78, p = .001, \text{Eta}^2 = .49$], im kurzen Lag zeigte sich ein direkt unter der Signifikanzgrenze liegender Einfluß der Wiederholung [$F_{(2.4, 21.6)} = 2.9, p = .068$]. An zentralen Elektroden ergaben sich für keines der beiden Lags Effekte der Wiederholung [beide $F < 1.5$, beide $p > .26$].

Die orthogonalen Kontraste, die zunächst für die Wiederholungen mit langem Lag durchgeführt wurden, ergaben für die occipitotemporalen, parietozentralen und frontalen Elektroden ähnliche Ergebnisse. Die Kontraste zeigten hier schon von erster zu zweiter Darbietung einen signifikanten oder nahezu signifikanten Unterschied [(alle $df = 1, 9$) occipitemporal: $t = 3.9, p = .079$; frontal: $t = 10.23, p = .05, \text{Eta}^2 = .53$; parietozentral: $8.87, p = .015, \text{Eta}^2 = .49$], der auch im Vergleich von erster mit dritter Darbietung bestand und eine Tendenz zur Verstärkung zeigte [L1 – L3 occipitotemporal: $F = 9.2, p = .014, \text{Eta}^2 = .51$; frontal: $F = 38.9, p = .000$; parietozentral: $F = 14.37, p = .004, \text{Eta}^2 = .61$], aber nicht mehr von erster zu vierter Darbietung bestand [alle $F < 2.3$, alle $p > .18$]. Dieser Verlauf des Effektes hat eine Entsprechung im Reaktionszeiteffekt, der für das lange Lag gefunden wurde. Auch hier zeigte sich im Vergleich von

Darbietung eins zu vier kein Primingeffekt, obwohl dieser für den Vergleich von erster mit dritter (allerdings nicht von erster mit zweiter Darbietung) bestanden hatte. An temporalen Elektroden zeigten sich die deutlichsten Effekte der Wiederholung im Vergleich von erster mit zweiter Darbietung [$F = 15.09$, $p = .004$, $\text{Eta}^2 = .63$]. Für die anderen beiden Wiederholungen zeigten sich ebenfalls Unterschiede zur ersten Darbietung [alle $F > 8$, alle $p < .016$; alle $\text{Eta}^2 > .48$], der Primingeffekt verstärkte sich aber nicht signifikant über die Wiederholungen [alle $F < 3$, alle $p > .12$]. An frontozentralen Elektroden bestanden die schwächsten Primingeffekte. Hier zeigte sich nur im Vergleich von erster mit dritter Darbietung ein Primingeffekt [$F = 5.96$, $p = .037$, $\text{Eta}^2 = .40$], der sich nicht signifikant weiter verstärkte, sondern von erster zu vierter Darbietung bestand auch hier kein Primingeffekt mehr [$F = 2.06$, $p = .19$]. Somit zeigt sich an fast allen Elektrodengruppen die Tendenz zur Abwesenheit eines Primingeffektes zwischen erster und vierter Darbietung.

Die Wiederholungseffekte, die für das kurze Lag an occipitotemporalen, frontozentralen, frontalen und temporalen Elektroden bestanden, wurden ebenfalls mit Kontrasten untersucht. Hier zeigte sich an allen Elektroden ein Primingeffekt höchstens von erster zu zweiter oder erster zu dritter Darbietung, aber nicht mehr von erster zu vierter Darbietung [alle $df = 1, 9$; occipitotemporale Elektroden K1 – K2: $F = 4.13$, $p = .07$; K1 – K4: $F = 0.08$, $p = .77$; frontale Elektroden: K1 – K2: $F = 7.88$, $p = .02$, $\text{Eta}^2 = .47$; K1 – K4: $F = 0.96$, $p = .53$; frontozentrale Elektroden: K1 – K2: $F = 1.52$, $p = .25$; K1 – K4: $F = 1.22$, $p = .29$; temporale Elektroden: K1 – K2: $F = 6.2$, $p = .03$, $\text{Eta}^2 = .41$; K1 – K4: $F = 0.42$, $p = .53$].

4.3.2.2 Ereigniskorrelierte Potentiale ab 300 ms

In den ereigniskorrelierten Potentialen zeigten sich ab 300 ms in der visuellen Ansicht der Zeitkurven wie auch in Messung 1 Effekte der Gesichterwiederholung mit kurzem Lag ab etwa 300 ms, die sich an occipitotemporalen Elektroden durchgängig bis 700 ms erstreckten, an frontozentralen und zentralen Elektroden bis etwa 500 ms und an temporalen Elektroden bis etwa 600 ms andauerten. Um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von Messung 1 zu ermöglichen, wurden auch in der Auswertung von Messung 2 über die Zeitbereiche von 300 ms bis 500 ms und 600 ms bis 800 ms mittlere Amplitudenwerte für jede Elektrodengruppe berechnet. Der genaue Verlauf bestehender Effekte wurde wie auch in Messung 1 mittels gepaarter t-Tests untersucht, in denen über Zeitfenster von 100 ms gemittelt wurde, so daß ermittelt werden konnte, ob die Effekte sich über längere Zeitbereiche als in Messung 1 erstreckten, wie der visuelle Eindruck der ERP-Kurven vermittelte.

Für den Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms zeigte die dreifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung einen signifikanten Haupteffekt auf dem Faktor Elektrodengruppe [$F_{(5, 45)} = 5.06$, $p = .001$, $\text{Eta}^2 = .36$] und signifikante oder nahezu Interaktionen zwischen den Faktoren Elektrodengruppe und Lag [$F_{(3.5, 31.4)} = 4.32$, $p = .009$, $\text{Eta}^2 = .32$], Elektrodengruppe und Wiederholung [$F_{(15, 135)} = 2.82$, $p = .001$] und zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(3, 27)} = 2.63$, $p = .07$, $\text{Eta}^2 = .23$].

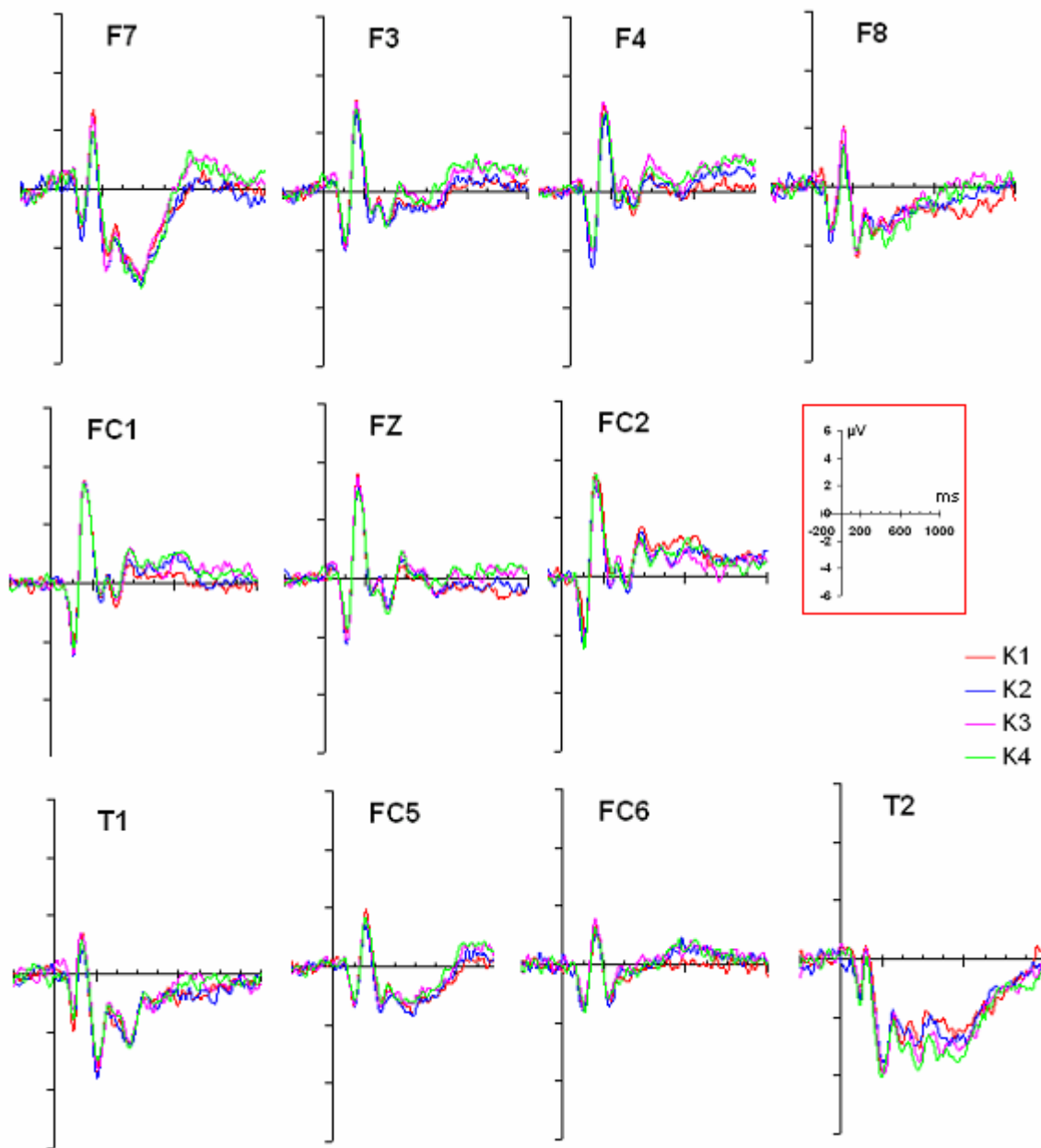


Abbildung 4.20: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag in Messung 2 an frontalen und frontozentralen Elektroden.

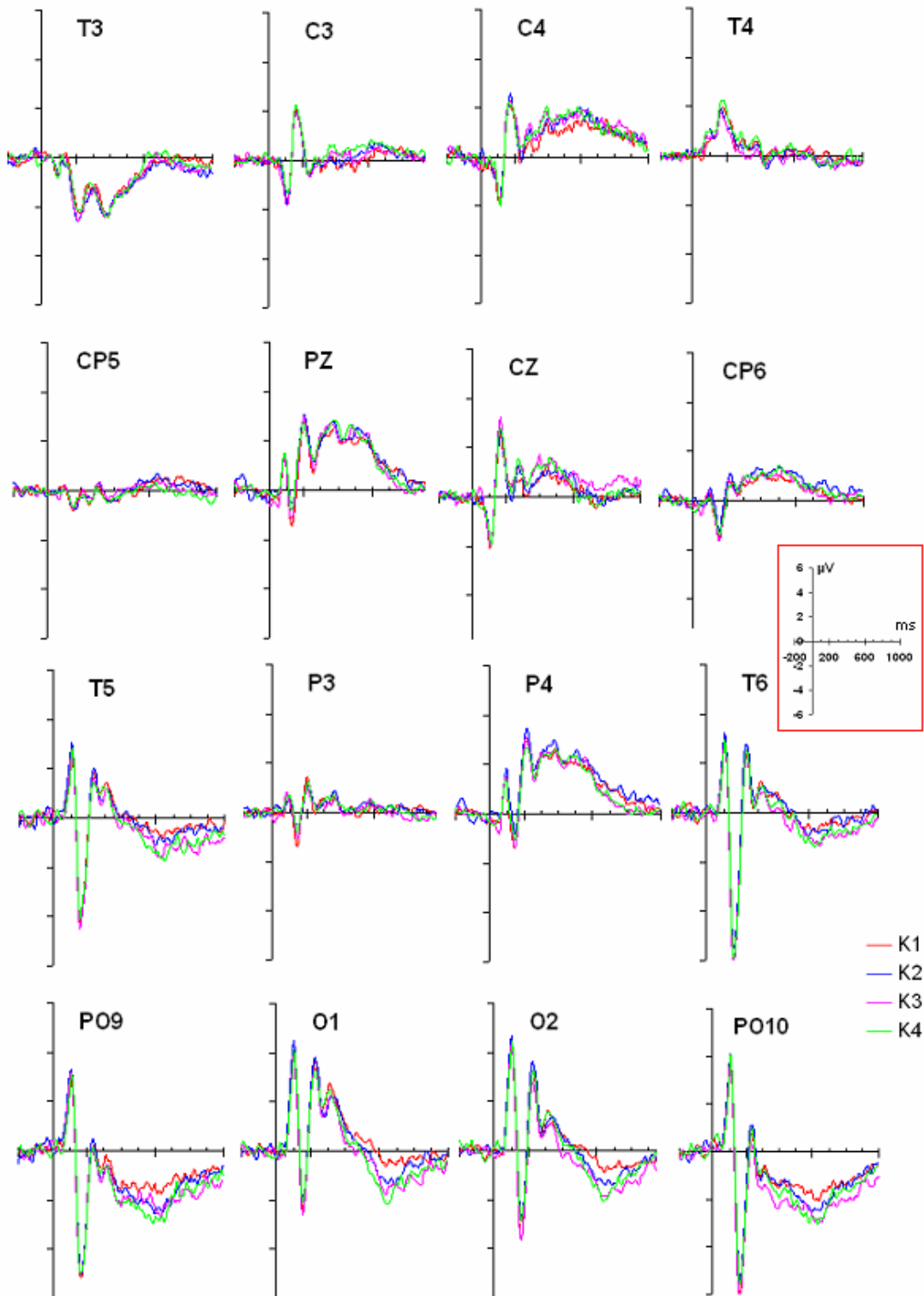


Abbildung 4.21: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag in Messung 2 an zentralen, parietalen und occipitalen Elektroden.

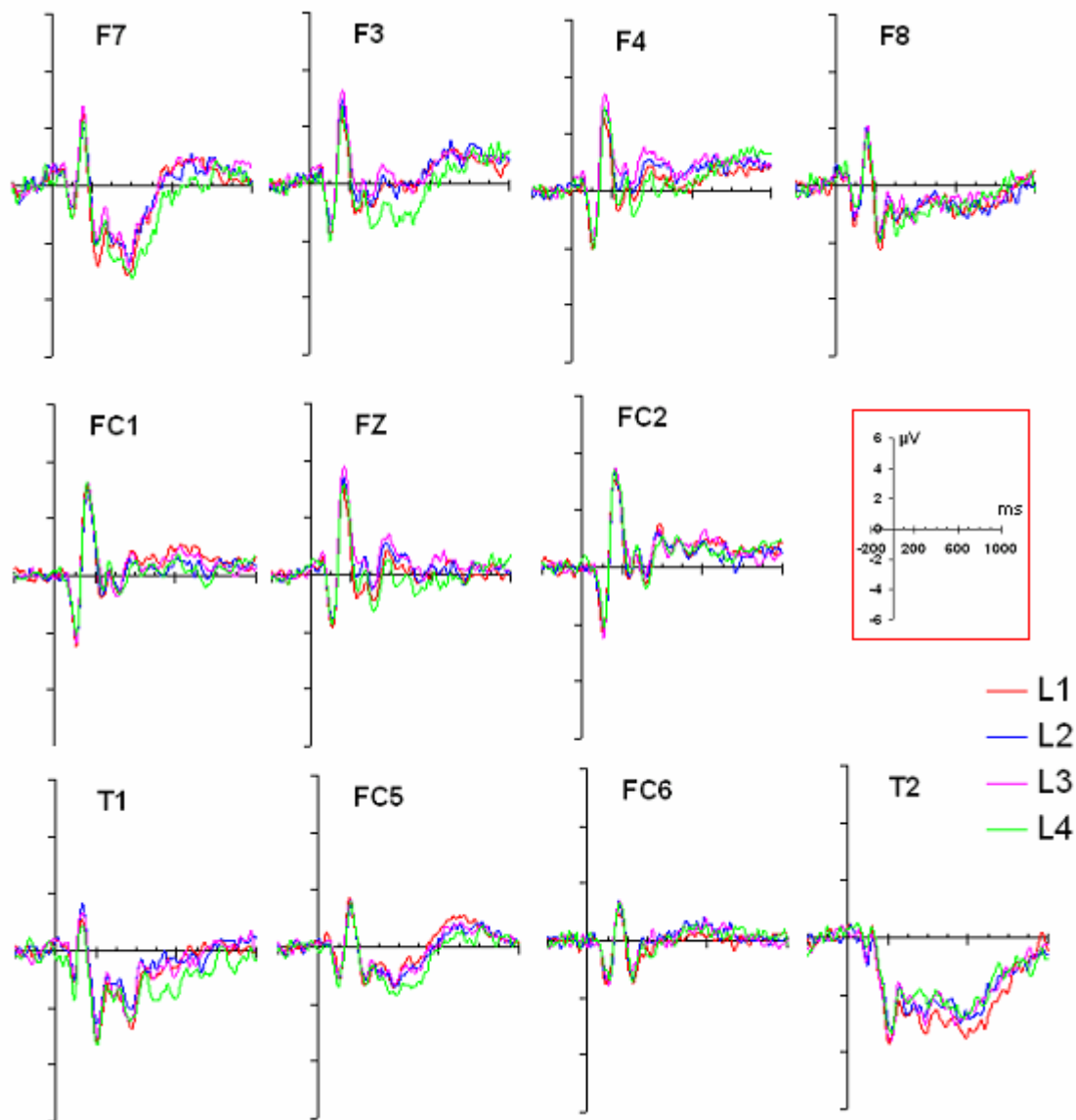


Abbildung 4.22: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit langem Lag in Messung 2 an frontalen und frontozentralen Elektroden.

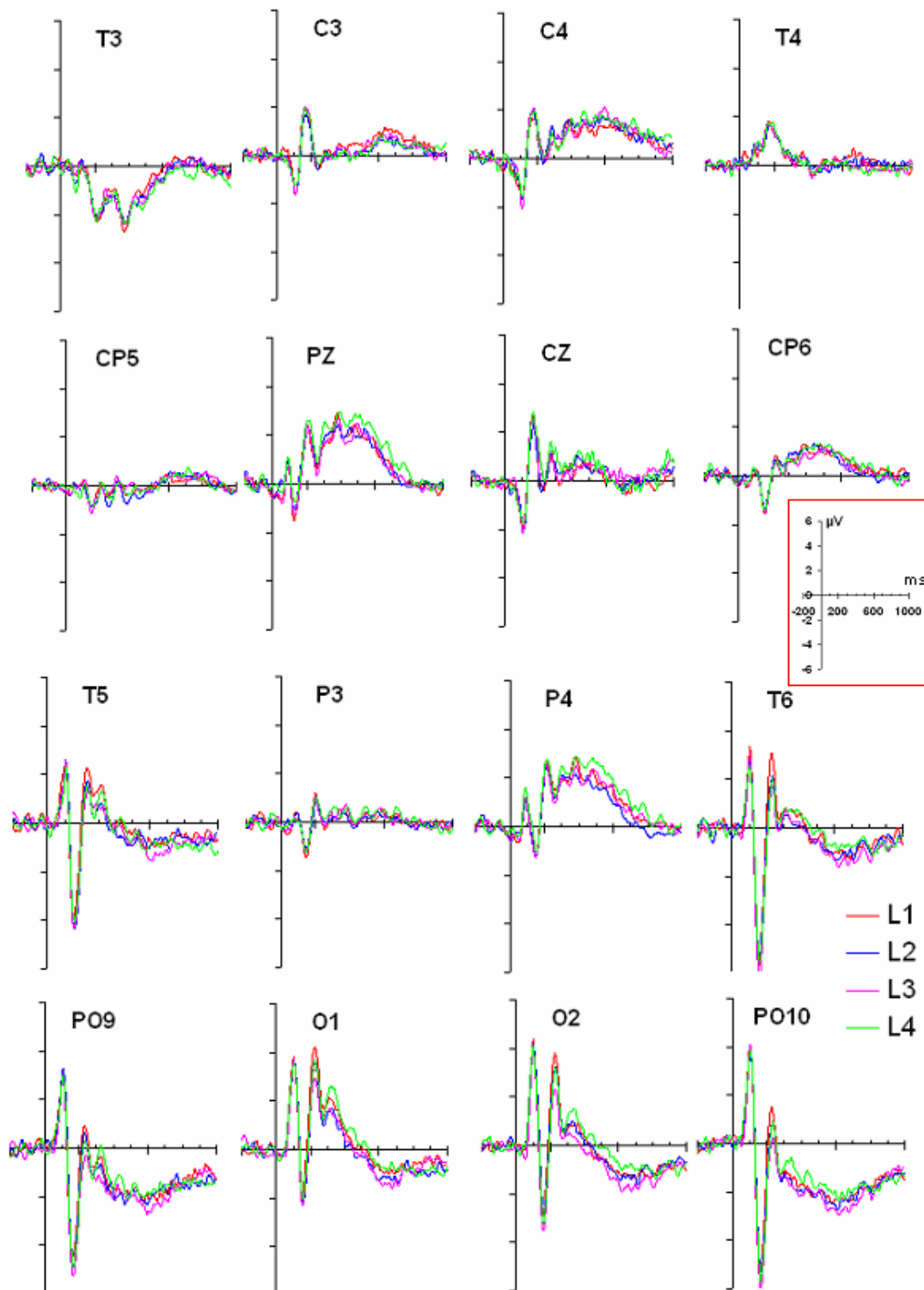


Abbildung 4.23: ERP-Kurven der vier Gesichterwiederholungen mit langem Lag in Messung 2 an zentralen, parietalen und occipitalen Elektroden.

Schließlich zeigte sich ein Trend zur Interaktion zwischen Elektrodengruppe, Lag und Wiederholung [$F_{(15, 135)} = 1.55$, $p = .097$, $\eta^2 = .15$], der auf einen differentiellen Effekt von Lag und Wiederholung an verschiedenen Elektrodengruppen hinwies.

Die daraufhin gerechneten zweifaktoriellen ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung zeigten eine Interaktion zwischen beiden Faktoren an zentralen [$F_{(3, 27)} = 8.91$, $p = .000$, $\eta^2 = .49$] und frontozentralen Elektroden [$F_{(3, 27)} = 3.33$, $p = .034$, $\eta^2 = .27$]. Haupteffekte der Faktoren Lag und Wiederholung zeigten sich an frontalen [HE Lag; $F_{(1, 9)} = 10.77$, $p = .009$, $\eta^2 = .55$; HE Wiederholung: $F_{(3, 27)} = 2.78$, $p = .06$, $\eta^2 = .23$] und parietozentralen Elektroden [HE Lag: $F_{(1, 9)} = 4.58$, $p = .06$, $\eta^2 = .34$; HE Wiederholung: $F_{(3, 27)} = 3.43$, $p = .03$, $\eta^2 = .276$]. An occipitotemporalen Elektroden ergab sich ein Haupteffekt der Wiederholung [$F_{(3, 27)} = 2.9$, $p = .05$, $\eta^2 = .244$]. An temporalen Elektroden zeigten sich keine signifikanten Effekte.

Die einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung zeigten auch in der getrennten Untersuchung von kurzem und langem Lag keine Effekte der Wiederholung auf die temporale Elektrodengruppe und, im Gegensatz zum Haupteffekt der Wiederholung in der zweifaktoriellen ANOVA, auch keine Wiederholungseffekte für kurzes oder langes Lag an parietozentralen Elektroden [kurzes Lag: $F_{(3, 27)} = 0.59$, $p = .624$; langes Lag: $F_{(3, 27)} = 2.23$, $p = .107$], obwohl ein Trend für das lange Lag zu erkennen war. Haupteffekte des Faktors Wiederholung zeigten sich nur für die Wiederholungen mit kurzem Lag an frontozentralen [$F_{(3, 27)} = 3.55$, $p = .027$, $\eta^2 = .28$], occipitotemporalen [$F_{(3, 27)} = 3.04$, $p = .046$, $\eta^2 = .253$] und zentralen Elektroden [$F_{(3, 27)} = 7.8$, $p = .001$, $\eta^2 = .46$]. Hier zeigt sich eine Entsprechung zu den Effekten, die für denselben Zeitbereich in Messung 1 bestanden.

Für das lange Lag bestanden im Gegensatz zu Messung 1 keine Effekte der Wiederholung an zentralen Elektroden [$F_{(3, 27)} = 1.09$, $p = .36$] und so zeigten sich auch an keiner anderen Elektrodengruppe Effekte der Wiederholungen mit langem Lag (mit Ausnahme des Trends an parietozentralen Elektroden, siehe oben). Für die Haupteffekte der Wiederholung, die im kurzen Lag an zentralen, frontozentralen und occipitotemporalen Elektroden bestanden, wurden zum Vergleich der einzelnen Wiederholungen orthogonale Kontraste gerechnet. Die Ergebnisse der Kontraste sind in Tabelle 11 aufgeführt. Es zeigt sich, daß ein Primingeffekt hier wie auch in Messung 1 erst von der ersten zur dritten Darbietung bestand, sich zu vierten Darbietung dann aber wie auch in Messung 1 nicht mehr weiter verstärkte.

Tabelle 10. Orthogonale Kontraste für die Vergleiche zwischen einzelnen Faktorstufen für die signifikanten Effekte der Gesichterwiederholung im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms.

Elektroden­gruppe / Lagvariation	Bedingungen	Mittlere Differenz \pm 1 SD	F-Wert	p	Eta ²
Occipitotemporal kurzes Lag	K1 – K2	0.15 \pm 0.64	0.53	.48 n.s.	
	K1 – K3	0.61 \pm 0.60	10.0	.012*	.53
	K1 – K4	0.36 \pm 0.57	4.0	.077 n.s.	
	K2 – K3	0.45 \pm 0.87	2.74	.13 n.s.	
	K3 – K4	-0.24 \pm 0.71	1.2	.30 n.s.	
Frontozentral kurzes Lag	K1 – K2	0.12 \pm 0.39	1.0	.34 n.s.	
	K1 – K3	0.35 \pm 0.42	7.06	.026*	.44
	K1 – K4	0.31 \pm 0.34	8.63	.02*	.49
	K2 – K3	0.22 \pm 0.50	2.01	.13 n.s.	
	K3 – K4	-0.04 \pm 0.39	0.08	.78 n.s.	
Zentral kurzes Lag	K1 – K2	0.09 \pm 0.34	0.71	.42 n.s.	
	K1 – K3	0.30 \pm 0.41	5.52	.043*	.38
	K1 – K4	0.45 \pm 0.31	21.26	.001**	.70
	K2 – K3	0.22 \pm 0.24	8.01	.17 n.s.	.47
	K3 – K4	0.14 \pm 0.36	1.55	.24 n.s.	

Anmerkungen: SD = Standardabweichung; alle df = 1, 9, * p < .05, ** p < .01, n.s.: nicht statistisch signifikant

Für den Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms wurde zunächst eine dreifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Elektroden­gruppe (6 Stufen), Lag (2 Stufen) und Wiederholung (4 Stufen) durchgeführt. Diese ANOVA zeigte einen Haupteffekt des Faktors Elektroden­gruppe [F (3.6, 32.4) = 12.73, p = .000, Eta² = .59] und einen nahezu signifikanten Haupteffekt der Wiederholung [F (3, 27) = 2.556, p = .076, Eta² = .22]. Interaktionen ergaben sich zwischen den Faktoren Elektroden­gruppe und Wiederholung [F (4.9, 44.26) = 1.99, p = .02, Eta² = .18] sowie zwischen Lag und Wiederholung [F (3, 27) = 2.49, p = .013, Eta² = .329], und es zeigte sich eine Dreifachinteraktion zwischen Elektroden­gruppe, Lag und Wiederholung [F (15, 135) = 1.8, p = .041, Eta² = .17]. Zur Aufschlüsselung der Effekte wurden zunächst für jede der sechs Elektroden­gruppen zweifaktorielle ANOVAs mit den Faktoren Lag und Wiederholung gerechnet. Diese zeigten im Gegensatz zu Messung 1, in der sich für alle Elektroden­gruppen mit Ausnahme der parietozentralen Gruppe ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Wiederholung ergeben hatte, diesen Effekt nur an parietozentralen [F (2.16, 25.8) = 5.63, p = .005, Eta² = .385], occipitotemporalen [F (3, 27) = 3.24, p = .038, Eta² = .265] und temporalen [F (3, 27) = 3.69, p = .024, Eta² = .29] Elektroden. Dafür zeigten sich in Messung 2 im Gegensatz zu den ausschließlichen Haupteffekten der Wiederholung in den zweifaktoriellen ANOVAs von Messung 1 Interaktionen zwischen

Lag und Wiederholung für frontozentrale [$F_{(3, 27)} = 7.5, p = .001, \eta^2 = .46$] und occipitotemporale Elektroden [$F_{(3, 27)} = 3.34, p = .034, \eta^2 = .27$]. An zentralen Elektroden zeigte sich ein Trend zur Interaktion zwischen Lag und Wiederholung [$F_{(3, 27)} = 2.36, p = .093, \eta^2 = .21$]. An frontalen Elektroden zeigten sich keinerlei Effekte der zweifaktoriellen ANOVA.

Die einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung, die für kurzes und langes Lag separat gerechnet wurden, zeigten für das kurze Lag Haupteffekte der Wiederholung wie schon in Messung 1 an occipitotemporalen [$F_{(2.5, 22.77)} = 4.66, p = .014, \eta^2 = .34$] und frontozentralen [$F_{(2.9, 26.6)} = 5.98, p = .003, \eta^2 = .40$] Elektroden und einen nahezu signifikanten Haupteffekt an frontalen Elektroden [$F_{(2.42, 21.75)} = 2.85, p = .07, \eta^2 = .24$]. Im Gegensatz zu Messung 1 zeigte sich in Messung 2 an parietozentralen Elektroden ein Wiederholungseffekt für das kurze Lag [$F_{(3, 27)} = 2.93, p = .05, \eta^2 = .245$]. Die orthogonalen Kontraste für die Haupteffekte an frontalen, occipitotemporalen, parietozentralen und frontozentralen Elektroden, die für die Vergleiche zwischen der ersten Darbietung und den Wiederholungen gerechnet wurden, ergaben nahezu signifikante Unterschiede schon zwischen der ersten und zweiten Gesichterdarbietung, einen klar signifikanten Unterschied aber erst ab der dritten Darbietung. Der Wiederholungseffekt verstärkte sich von dritter zu vierter Darbietung an keiner der Elektroden signifikant.

Somit verhielt sich der Verlauf dieses Primingeffektes anders als in Messung 1. Dort hatte sich von Darbietung 1 zu 2 noch kein Unterschied ergeben. Dagegen verstärkte sich aber der Primingeffekt von dritter zu vierter Darbietung in Messung 1 noch. In Messung 2 war das Maximum des Primingeffektes schon ab der dritten Darbietung erreicht und die vierte Darbietung brachte keine weitere Verstärkung des Primingeffektes. Die Ergebnisse aller orthogonalen Kontraste der signifikanten Primingeffekte für kurzes oder langes Lag sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11. Orthogonale Kontraste für die Vergleiche zwischen einzelnen Faktorstufen für die signifikanten Effekte der Gesichterwiederholung im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms.

Elektrodengruppe / Lagvariation	Bedingungen	Mittlere Differenz \pm 1 SD	F-Wert	P	Eta ²
Occipitotemporal kurzes Lag	K1 – K2	0.51 \pm 0.78	4.27	.069 n.s.	
	K1 – K3	0.88 \pm 0.82	11.52	.008**	.56
	K1 – K4	0.84 \pm 1.11	7.12	.041*	.16
	K2 – K3	0.37 \pm 0.89	1.73	.22 n.s.	
	K3 – K4	-0.03 \pm 0.56	0.05	.84 n.s.	
Frontozentral kurzes Lag	K1 – K2	0.30 \pm 0.46	4.37	.066 n.s.	
	K1 – K3	0.57 \pm 0.49	13.43	.005**	.59
	K1 – K4	0.56 \pm 0.64	7.66	.02*	.46
	K2 – K3	0.26 \pm 0.47	3.11	.11 n.s.	
	K3 – K4	-0.01 \pm 0.35	0.01	.92 n.s.	
Frontal kurzes Lag	K1 – K2	0.21 \pm 0.87	0.51	.49 n.s.	
	K1 – K3	0.74 \pm 1.01	1.3	.28 n.s.	
	K1 – K4	0.81 \pm 1.18	0.24	.88 n.s.	
	K2 – K3	0.54 \pm 1.36	1.78	.21 n.s.	
	K3 – K4	0.07 \pm 0.71	2.64	.24 n.s.	
Parietozentral kurzes Lag	K1 – K2	0.06 \pm 0.35	0.37	.56 n.s.	
	K1 – K3	0.20 \pm 0.27	5.38	.046*	.37
	K1 – K4	0.27 \pm 0.21	15.33	.004**	.63
	K2 – K3	0.13 \pm 1.45	0.85	.38 n.s.	
	K3 – K4	0.07 \pm 0.24	0.78	.40 n.s.	
Parietozentral langes Lag	K1 – K2	-0.16 \pm 0.38	1.88	.20 n.s.	
	K1 – K3	-0.13 \pm 0.28	2.32	.16 n.s.	
	K1 – K4	-0.42 \pm 0.45	8.57	.017*	.49
	K2 – K3	0.03 \pm 0.24	0.18	.21 n.s.	
	K3 – K4	-0.28 \pm 0.30	8.96	.015*	.50

Anmerkungen: SD = Standardabweichung; alle df = 1, 9, * p < .05, ** p < .01, n.s.: nicht statistisch signifikant

Für die Wiederholungen mit langem Lag zeigte sich der Effekt der Wiederholung, der an zentralen Elektroden in Messung 1 zu beobachten gewesen war, in Messung 2 nicht mehr [$F_{(3, 27)} = 1.83$, $p = .17$, $\text{Eta}^2 = .17$]. Stattdessen ergab sich ein Wiederholungseffekt des langen Lags an parietozentralen Elektroden [$F_{(3, 27)} = 5.07$, $p = .006$, $\text{Eta}^2 = .36$] und ein nahezu signifikanter Effekt an frontozentralen Elektroden [$F_{(3, 27)} = 2.46$, $p = .084$, $\text{Eta}^2 = .22$]. Der Effekt an parietozentralen Elektroden hatte für das lange Lag jedoch eine andere Richtung als der Effekt, der im selben Zeitbereich für das kurze Lag gefunden wurde. Er bestand in einer Zunahme der Positivierung bei Gesichterwiederholung, während der Effekt im kurzen Lag in einer Abnahme der Positivierung bei Wiederholung bestand.

Die Zeitverläufe der Wiederholungseffekte für kurzes und langes Lag wurden von 300 ms bis 900 ms mit gepaarten t-Tests, für die über Zeitfenster von 100 ms gemittelt wurde, an allen Elektrodengruppen, bei denen sich signifikante Effekte der Wiederholung gezeigt hatten, untersucht. Dabei wurden jeweils erste und vierte Gesichterdarbietung miteinander verglichen. Die Ergebnisse der t-Tests sind in Tabelle 12 gezeigt. Das Signifikanzniveau nach Bonferronikorrektur lag für alle Tests bei $p < .008$.

Die Ergebnisse der gepaarten t-Tests ergaben die deutlichsten Wiederholungseffekte für das kurze Lag im Zeitbereich von 500 ms bis 600 ms. Hier zeigten sich an frontozentralen und occipitotemporalen Elektroden signifikante Unterschiede, die die Bonferronikorrektur überlebten. Trends zu Effekten, die bei $p < .05$ signifikant waren, zeigten sich an den beiden Elektrodengruppen jedoch schon ab 400 ms. Diese reichten in ihrer zeitlichen Erstreckung an occipitotemporalen Elektroden bis 700 ms und an frontozentralen Elektroden bis 900 ms. Die Effekte der Wiederholung sind an zentralen Elektroden noch deutlicher zu erkennen. Hier waren sie von 400 ms bis 600 ms signifikant, zeigten einen Trend aber auch schon ab 300 ms.

Ein zeitlich späterer Primingeffekt, der in Messung 2 in den gepaarten t-Tests vorhanden war, bestand an parietozentralen Elektroden im Bereich von 700 ms bis 800 ms. Dieser Effekt bestand in einer Zunahme der Negativierung über die Wiederholungen mit kurzem Lag. In diesem Zeitbereich bestanden an anderen Elektroden sehr schwache oder keine Effekte der Wiederholung mehr. Dieser Effekt war mit einem Unterschied von $0.39 \mu\text{V}$ zwischen erster und vierter Darbietung schwächer ausgeprägt als der Wiederholungseffekt an occipitemporalen, zentralen und frontozentralen Elektroden, der an occipitotemporalen Elektroden eine Differenzamplitude von im Mittel etwa $1 \mu\text{V}$ erzeugte. An frontalen Elektroden bestanden in keinem der Zeitbereiche signifikante Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung. Im Zeitbereich von 700 ms bis 800 ms zeigte sich aber ein klarer Trend zum Unterschied [$t_{(9)} = 2.36$, $p = .05$].

Tabelle 12. Gepaarte t-Tests zwischen erster und vierter Gesichterdarbietung für Zeitfenster von 100 ms.

Elektrodengruppe	Zeitbereich	Mittlere Differenz \pm 1 SD	F-Wert	P
Occipitotemporal kurzes Lag	300 – 400	0.26 \pm 0.76	1.07	.31 n.s.
	400 – 500	0.46 \pm 0.55	2.64	.027*
	500 – 600	1.01 \pm 0.77	4.1	.003**
	600 – 700	1.1 \pm 1.49	2.33	.045*
	700 – 800	0.58 \pm 0.95	1.93	.086 n.s.
Frontozentral kurzes Lag	300 – 400	0.28 \pm 0.39	2.28	.048*
	400 – 500	0.34 \pm 0.36	2.97	.016*
	500 – 600	0.57 \pm 0.52	3.42	.008*
	600 – 700	0.69 \pm 0.92	2.36	.042*
	700 – 800	0.42 \pm 0.47	2.84	.01*
Frontal kurzes Lag	300 – 400	-0.08 \pm 0.67	-1.38	.71 n.s.
	400 – 500	0.01 \pm 0.77	0.07	.95 n.s.
	500 – 600	-0.77 \pm 1.9	1.22	.25 n.s.
	600 – 700	1.02 \pm 1.8	1.74	.12 n.s.
	700 – 800	0.60 \pm 0.84	2.26	.050 n.s.
Zentral kurzes Lag	300 – 400	0.34 \pm 0.37	2.97	.016*
	400 – 500	0.55 \pm 0.36	4.8	.001**
	500 – 600	0.55 \pm 0.45	3.9	.004**
	600 – 700	0.39 \pm 0.55	2.23	.052 n.s.
	700 – 800	0.02 \pm 0.40	0.17	.87 n.s.
Parietozentral kurzes Lag	300 – 400	0.09 \pm 0.37	0.77	.46 n.s.
	400 – 500	0.16 \pm 0.28	1.84	.099 n.s.
	500 – 600	0.19 \pm 0.28	2.1	.065 n.s.
	600 – 700	0.15 \pm 0.25	1.88	.09 n.s.
	700 – 800	0.38 \pm 0.39	5.42	.000**
Parietozentral langes Lag	300 – 400	-0.08 \pm 0.28	0.94	.37 n.s.
	400 – 500	-0.28 \pm 0.36	-4.46	.036*
	500 – 600	-0.38 \pm 0.50	-2.42	.038*
	600 – 700	-0.43 \pm 0.46	-2.99	.015*
	700 – 800	-0.40 \pm 0.48	-2.66	.026*
	800 – 900	-0.07 \pm 0.34	-0.66	.52 n.s.

Anmerkungen: SD = Standardabweichung; alle df = 9, * p < .05, ** p < .008.

In der Ansicht der ERP-Kurven an frontalen Elektroden war an rechtshemisphärischen Elektroden ein stärkerer Wiederholungseffekt im Bereich von 700 ms bis 800 ms zu beobachten als an linkshemisphärischen Elektroden. Der Effekt erschien an der Elektrode F4 am stärksten und wurde mittels eines gepaarten t-Tests zwischen erster und vierter Darbietung an dieser Elektrode für den Bereich von 700 ms bis 800 ms untersucht. Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen erster und vierter Darbietung [$t_{(9)} = 2.45$, $p = .032$].

Für das lange Lag zeigte sich an parietozentralen Elektroden ein schwacher Effekt der Wiederholung, der die Bonferronikorrektur allerdings nicht überstand. Deutliche Trends zeigten sich aber hier im Zeitbereich von 400 ms bis 800 ms [alle $t > -2.42$, alle $p < .039$]. Es wurde wie auch in Messung 1 untersucht, ob die Wiederholungseffekte durch einen Einfluß von Augenbewegungen entstanden sein konnten. Abbildung 4.24 zeigt die Zeitkurven des EOG für die Wiederholungen mit kurzem und langem Lag. Es zeigte sich hier vor allem im vertikalen EOG in der Ansicht der Kurven ein deutlicher Effekt der Gesichterwiederholung um 600 ms für die Wiederholungen mit kurzem Lag. Wie auch in Messung 1 bestand dieser Effekt aber in genau umkehrter Richtung zu den Effekten der Wiederholung an den EEG-Elektroden. Ein signifikanter Effekt im EOG könnte somit zu einer Abschwächung der Wiederholungseffekte im EEG geführt haben. Das EOG wurde für die Zeitbereiche von 300 ms bis 500 ms und 600 ms bis 800 ms auf Wiederholungseffekte hin untersucht. In den einfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor Wiederholung zeigte sich im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms für die Wiederholungen mit kurzem Lag kein Einfluß auf das vertikale EOG [$F_{(2.3, 18.6)} = 2.1$, $p = .14$], obwohl sich ein Trend zum Wiederholungseffekt zeigte. Die orthogonalen Kontraste zum Vergleich der ersten Darbietung mit den Gesichterwiederholungen zeigten jedoch nur für den Vergleich von erster zu dritter Darbietung einen fast signifikanten Unterschied [$F_{(1, 9)} = 5.16$, $p = .05$], die anderen Vergleiche waren nicht signifikant [K1 – K3: $F_{(1, 9)} = 0.02$, $p = .887$, K1 – K4: $F_{(1, 9)} = 0.61$, $p = .46$]. Für das lange Lag zeigte sich in der einfaktoriellen ANOVA mit dem Faktor Wiederholung ein nahezu signifikanter Effekt der Wiederholung [$F_{(1.5, 12)} = 3.2$, $p = .08$]. Es ergab sich aber in keinem der Kontraste ein signifikanter Unterschied zwischen erster Darbietung und den Wiederholungen, obwohl sich im Vergleich von Darbietung eins zu vier ein Trend zeigte [L1 – L4: $F_{(1, 9)} = 2.97$, $p = .12$; L1 – L3: $F_{(1, 9)} = 2.4$, $p = .16$; L1 – L2: $F_{(1, 9)} = 0.19$, $p = .68$]. Für den Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms ergab die ANOVA für das kurze Lag keinen Wiederholungseffekt [$F_{(3, 27)} = 1.86$, $p = .16$]. Die orthogonalen Kontraste zum Vergleich der ersten mit den weiteren Darbietungen zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen erster und vierter Darbietung [$F_{(1, 9)} = 6.2$, $p = .038$, $\eta^2 = .44$]. Die weiteren Kontraste zeigten keine Effekte [K1 – K2: $F_{(1, 9)} = 0.14$, $p = .17$; K1 – K3: $F_{(1, 9)} = 3.13$, $p = .12$]. Für das lange Lag zeigte sich kein Effekt der Wiederholungen auf die EOG-Amplitude [$F_{(1.4, 11.48)} = 0.26$, $p = .70$]. Die orthogonalen Kontraste zeigten hier in keinem der Vergleiche einen Unterschied zwischen erster und vierter Darbietung [alle $F < 1$, alle $p > .50$].

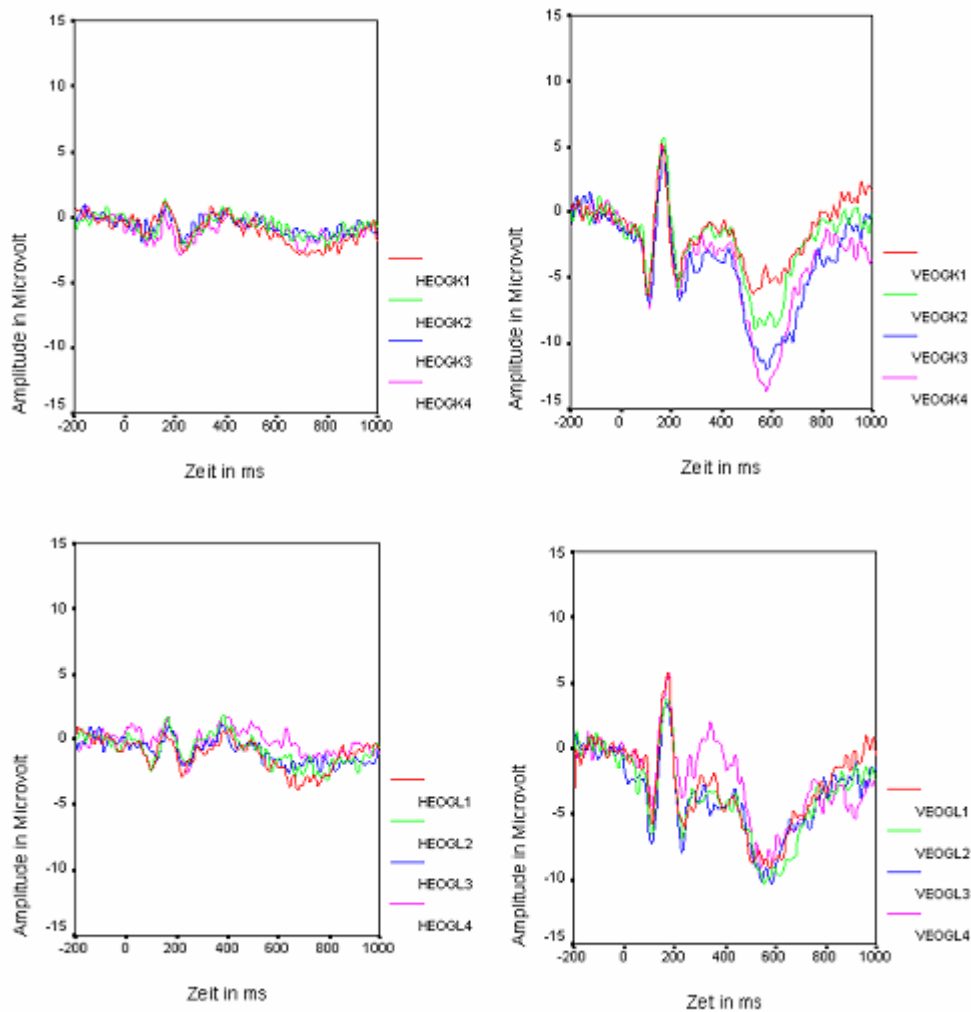


Abbildung 4.24: Zeitkurven von horizontalem EOG (HEOG) und vertikalem EOG (VEOG) für die Wiederholungen mit kurzem Lag (K1 bis K4) und langem Lag (L1 bis L4) in Messung 2.

Für das horizontale EOG zeigte sich für den Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms kein Effekt der Wiederholung mit kurzem oder langem Lag [kurzes Lag: $F_{(3, 27)} = 0.13$, $p = .93$; langes Lag: $F_{(3, 27)} = 0.55$, $p = .65$]. Für den Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms ergaben sich ebenfalls keine Effekte der Wiederholung mit kurzem oder langem Lag auf das vertikale EOG [kurzes Lag: $F_{(2.4, 21.8)} = 0.58$, $p = .54$; langes Lag: $F_{(2.9, 26.3)} = 1.18$, $p = .333$]. Zusammenfassend zeigten die Auswertungen des EOG vor allem im vertikalen EOG Trends zu Wiederholungseffekten. Diese Wiederholungseffekte bestanden in beiden untersuchten Zeitbereichen. Da die Trends zu Wiederholungseffekten des EOG genau entgegengesetzt zu den Wiederholungseffekten im EEG vorlagen, ist es möglich, daß sich eine Abschwächung der EEG-Effekte durch den Einfluß der Augenbewegungen ergab. Dieser Trend im EOG trat trotz der Durchführung von EOG-Artefaktkorrekturen in BESA auf.

Abbildung 4.25 zeigt die Verteilung der Differenzpotentiale für den Vergleich zwischen erster und vierter Darbietung mit kurzem Lag (K1 –K4) im Zeitbereich von 300 ms bis 900 ms. Hier sind die Potentialverteilungen nicht über Zeitfenster gemittelt, sondern zum jeweils angegebenen Zeitpunkt dargestellt. Die Karten wurden in BESA 2000 durch spherical spline interpolation erzeugt. Der graue Bereich bezeichnet negative Polarität, der weiße Bereich positive Polarität. Die Abbildung zeigt eine Verlagerung des Effektes von frontozentralen, parietalen und occipitalen Elektroden in früheren Zeitbereichen zu weiter frontalen Orten, wobei die Rechtslateralisierung des Effektes an frontalen Elektroden bei 800 ms gut zu erkennen ist.

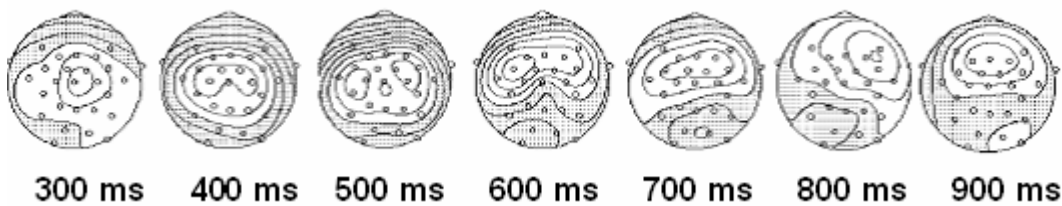


Abbildung 4.25: Verteilung der Differenzpotentiale zwischen Bedingung K1 und K4 in Messung 2 in Zeitschritten von 100 ms für den Bereich von 300 ms bis 900 ms. Der Kontourschritt beträgt $0.3 \mu\text{V}$. Grauer Bereich: negativ, weißer Bereich: positiv.

Die in Kapitel 2.1 gestellten Fragen zum Effekt der Wiederholung auf ereigniskorrelierte Potentiale können für die Daten von Messung 2 folgendermaßen beantwortet werden: Die Wiederholung der Gesichter hatte in Messung 2 sowohl für die langen Zeitabstände zwischen Wiederholungen als auch für die kurzen Zeitabstände einen Effekt auf die Stärke ereigniskorrelierter Potentiale. Es zeigten sich folgende Wiederholungseffekte:

1.) Die Wiederholungen mit kurzem und langem Lag hatten einen Einfluß auf die Amplitude der P2-Komponente. Dabei zeigte sich kein differentieller Einfluß des Lags auf die Effekte. Für das lange Lag zeigten sich signifikante oder nahezu signifikante Wiederholungseffekte an occipitotemporalen, temporalen, frontozentralen, frontalen und parietozentralen Elektroden. Der Verlauf dieser Wiederholungseffekte zeigte sich nicht als Verstärkung des Effektes über die Wiederholungen, sondern der Effekt bestand für den Vergleich von erster Darbietung mit letzter Wiederholung nicht mehr, sondern trat am stärksten im Vergleich von erster zu dritter Darbietung auf. Damit zeigt der Wiederholungseffekt nicht die Charakteristika eines Primingeffektes, der sich über die Wiederholungen verstärken sollte oder zumindest gleich stark bleiben sollte, sich jedoch nicht abschwächen sollte. Im kurzen Lag zeigte sich an occipitotemporalen, frontozentralen, frontalen und temporalen Elektroden ein Wiederholungseffekt. Dieser Effekt bestand vor allem von Darbietung eins zu Darbietung zwei oder drei, und es zeigten sich wie auch im langen Lag keine Unterschiede mehr von Darbietung eins zu vier.

2.) Es zeigte sich in Messung 2 ein Wiederholungseffekt auf die Amplitudenstärke für das kurze Lag an frontozentralen, occipitotemporalen und zentralen Elektroden im Bereich von 300 ms bis 500 ms. Dieser Effekt bestand wie auch schon in Messung 1 erst von erster zu dritter Darbietung und verstärkte sich zur vierten Darbietung nicht weiter.

Wie auch in Messung 1 zeigte sich im Bereich von 600 ms bis 800 ms ein Wiederholungseffekt für das kurze Lag an occipitotemporalen, frontozentralen und frontalen Elektroden. Im Gegensatz zu Messung 1 bestand auch ein Wiederholungseffekt an parietozentralen Elektroden. Der Wiederholungseffekt bestand an den Elektrodengruppen im Trend schon von Präsentation eins zu zwei und signifikant von Präsentation eins zu drei und vier, er verstärkte sich aber anders als in Messung 1 nicht von dritter zu vierter Wiederholung. Der zeitlich späte Wiederholungseffekt zeigte für das kurze Lag im Bereich um 700 ms bis 800 ms an frontalen Elektroden eine Lateralisierung zur rechten Hemisphäre. Diese hatte in Messung 1 nicht bestanden. In diesem Zeitbereich zeigte sich auch an parietozentralen Elektroden im Vergleich mit den anderen Elektrodengruppen der stärkste Wiederholungseffekt.

3.) Für das lange Lag ergab sich ein Wiederholungseffekt im Bereich von 400 ms bis 800 ms an parietozentralen Elektroden. Dieser Effekt bestand erst von erster zu vierter Darbietung und war relativ schwach ausgeprägt. Er hatte die umgekehrte Richtung zum Wiederholungseffekt, der im selben Zeitbereich für das kurze Lag gefunden wurde.

4.3.3 Vergleich der ereigniskorrelierten Potentiale aus Messung 1 und 2

Im Vergleich der ERP aus den Messungen 1 und 2 wurden die Komponenten P100, N170 und P2 sowie die späten Zeitbereiche von 300 ms bis 900 ms untersucht. Es wurde getestet, ob sich für irgendeine der Elektrodengruppen signifikante Unterschiede zwischen den ersten Gesichterdarbietungen (K1 und L1) beider Messungen zeigten, die auf einen Effekt unterschiedlicher Vertrautheit mit den Gesichtern hinweisen könnten. Zusätzlich wurde wie auch im MEG untersucht, ob sich ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 im Vergleich der jeweils letzten Gesichterdarbietungen mit kurzem und langem Lag (K4 und L4) ergeben würde, der auf einen stärkeren Primingeffekt in Messung 2 als in Messung 1 hinweisen könnte. Die Frage nach der unterschiedlichen Stärke der Primingeffekte wurde auch anhand des Vergleichs der Differenzamplituden der Primingeffekte zwischen Messung 1 und 2 untersucht. Vor Beginn der Darstellung der Auswertungsergebnisse ist darauf hinzuweisen, daß im EEG die Stichprobe für den Vergleich zwischen Messung 1 und 2 noch kleiner als im MEG war. Ein Vergleich zwischen Messung 1 und 2 war im EEG nur für neun Versuchspersonen möglich, da zwei Personen aus Messung 1 nicht mehr an Messung 2 teilnahmen und bei einer weiteren Person in Messung 1 kein EEG gemessen werden konnte. Alle gepaarten t-Tests haben einen df-Wert von 8.

Die Tests der P100-Amplitude zeigten an der temporalen Elektroden-Gruppe für alle Vergleiche signifikante Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [K1: $t = 2.32$, $p = .048$; K4: $t = 2.32$, $p = .049$; L1: $t = 2.53$, $p = .035$; L4: $t = 3.1$, $p = .015$]. Die Amplitude der P100 war dabei in Messung 2 größer als in Messung 1. An den übrigen Elektroden-Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Messung 1 und 2, obwohl an der occipitotemporalen Elektroden-Gruppe ebenfalls ein Trend zum Unterschied zu erkennen war. Dieser bestand jedoch nur im Vergleich der vierten Darbietungen mit langem Lag [$t = 1.92$, $p = .09$; alle anderen Tests der P100-Amplitude für die sechs Elektroden-Gruppen: $t < 1.59$, $p > .15$]. Es wurde untersucht, ob sich der Unterschied der P100 an linker und rechter Hemisphäre unterschiedlich zeigen würde. Dafür wurden alle posterioren Elektroden, die in die occipitotemporale und die temporale Elektroden-Gruppe gehörten (T5, T6, PO9, PO10, O1, O2) separat auf Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 untersucht. In diesen Tests ergaben sich jedoch keine konsistenten Unterschiede in der P100-Amplitude mehr. Es wurden signifikante Unterschiede lediglich für einzelne der Bedingungsvergleiche gefunden, so zum Beispiel für den Vergleich zwischen den ersten Darbietungen mit kurzem Lag (K1) an PO9 [-3.35 , $p = .01$]. Für den Vergleich der Bedingungen L4 ergaben sich die konsistentesten Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [T6: $t = -2.38$, $p = .04$, PO9: $t = -2.16$, $p = .06$; O2: $t = -1.99$, $p = .08$]. Die stärkeren Effekte für die Elektroden-Gruppen im Vergleich zu den Einzelelektroden können durch die Verringerung der Varianz, die durch die Mittelung der Einzelelektroden in der Elektroden-Gruppe entstanden war, bedingt sein.

Für die N170-Amplitude ergab sich in den gepaarten t-Tests ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 an temporalen Elektroden, der wie schon auf der P100 in allen vier Vergleichen bestand [K1: $t = -4.64$, $p = .002$; K4: $t = -4.29$, $p = .003$; L1: $t = -4.23$, $p = .003$; L4: $t = -3.99$, $p = .004$]. An der occipitotemporalen Elektroden-Gruppe ergaben sich ebenfalls in zwei der vier Vergleiche Hinweise auf Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [K1: $t = -2.13$, $p = .06$; K4: $t = -1.31$, $p = .22$; L1: $t = -1.01$, $p = .34$; L4: -2.32 , $p = .049$], obwohl diese weniger deutlich waren als an temporalen Elektroden. Auch an occipitotemporalen Elektroden bestand der Unterschied zwischen Messung 1 und 2 im Sinne einer negativeren Amplitude in Messung 2 als in Messung 1. An den übrigen Elektroden-Gruppen zeigten sich keine Unterschiede zwischen beiden Messungen [alle $t < -1.61$, alle $p > .15$]. In Vergleichen, die für die einzelnen occipitotemporalen und temporalen Elektroden gerechnet wurden, zeigten sich die Unterschiede in der N170 jedoch weniger konsistent. Hier zeigte sich der Unterschied zwischen Messung 1 und 2 an temporalen Elektroden (T5 und / oder T6) nur für die Bedingung L4 an Elektrode T6 [$t = -2.38$, $p = .04$] und an der Elektrode T5 für die Bedingung K4 [$t = -2.4$, $p = .04$]. An occipitalen Elektroden ergab sich ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 an der Elektrode O1 im Vergleich von K1 und L4 beider Messungen [K1: -2.62 , $p = .06$; L4: $t = -2.72$, $p = .02$]. An parietooccipitalen Elektroden (PO9 und PO10) ergaben sich Trends zum Unterschied nur für die Elektrode PO9 im Vergleich der L4-Bedingung zwischen Messung 1 und 2 [$t = -2.16$, $p = .06$]. Es ergaben sich somit Anhaltspunkte für Unterschiede, aber keine konsistenten Unterschiede zwischen den N170-Amplituden von Messung 1 und 2.

Für die P2 zeigte sich in gepaarten t-Tests (alle $df = 8$) an keiner Elektroden-Gruppe und auch an keiner der posterioren Einzelelektroden ein Unterschied zwischen den ersten Darbietungen mit kurzem oder langem Lag [alle $t < 1.53$, alle $p > .16$]. Für die jeweils vierten Darbietungen mit kurzem oder langem Lag zeigten sich

ebenfalls an keiner der Elektroden Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [alle $t < 1.4$, alle $p > .14$]. Somit führte der Primingeffekt, der in beiden Messungen auf dieser Komponente zu beobachten war, nicht zu einem generellen Unterschied der P2-Amplitude zwischen beiden Messungen. Die Untersuchung der Differenzpotentiale (Darbietung 1 – Darbietung 4) aus den P2-Primingeffekten, die in Messung 1 und 2 für das lange Lag und in Messung 2 auch für das kurze Lag bestanden, ergab für keine der sechs Elektrodengruppen einen signifikanten Unterschied zwischen Messung 1 und 2 für die Wiederholungen mit *langem* Lag. Es ergab sich einzig an parietozentralen Elektroden ein leichter Trend zum Unterschied zwischen Messung 1 und 2, der in einer größeren Differenzamplitude in Messung 2 bestand [$t = -1.54$, $p = .16$]. Dieser Unterschied gibt die Tatsache wider, daß sich an parietozentralen Elektroden in Messung 2 überhaupt erst ein Primingeffekt im langen Lag ergab [alle übrigen Tests der Differenzamplituden von langem Lag: $t < -1$, $p > .34$]. Für die Differenzamplituden der P2-Wiederholungen mit kurzem Lag, für die sich in Messung 2 ein Anhaltspunkt zum Primingeffekt ergeben hatte, zeigte sich ebenfalls für keine der Elektrodengruppen ein Unterschied zwischen beiden Messungen, ein Trend wurde an occipitotemporalen [$t = -1.51$, $p = .16$] und temporalen Elektroden [$t = -1.44$, $p = .18$] gefunden [alle anderen Elektrodengruppen: $t < -1$, $p > .40$]. Dieser Trend reflektierte hier die Tatsache, daß sich ein Effekt der Wiederholung im kurzen Lag erst in Messung 2 gezeigt hatte.

Die Untersuchung der späteren ERP wird zunächst für die Mittelwerte, die über Zeitfenster von 300 ms bis 500 ms und 600 ms bis 900 ms berechnet wurden, berichtet. Im Anschluß daran werden die Ergebnisse von Testungen dargestellt, die über gemittelte Zeitfenster von jeweils 100 ms im Bereich von 300 ms bis 900 ms durchgeführt wurden, um eine differenziertere Untersuchung der späten Zeitbereiche zu ermöglichen.

Für den über das Zeitfenster von 300 ms bis 500 ms gemittelten Bereich ergaben sich für den Vergleich zwischen ersten und vierten Darbietungen von kurzem und langem Lag zwischen beiden Messungen (K1 Messung 1 – K1 Messung 2; K4 Messung 1 – K4 Messung 2 usw.) an frontalen, temporalen, zentralen und occipitotemporalen Elektroden keine Unterschiede [frontale Elektroden: alle $t < 1$, alle $p > .50$; temporale Elektroden: alle $t < 1$, alle $p > .43$; zentrale Elektroden: alle $t < -1.1$, alle $p > .34$, occipitotemporale Elektroden: alle $t < -1.3$, alle $p > .23$]. An frontozentralen und parietozentralen Elektroden zeigten sich Trends im Sinne einer positiveren Amplitude in Messung 2 als in Messung 1 [frontozentrale Elektroden alle Vergleiche (K1, K4, L1, L4): $t > -1.6$, alle $p < .14$]. An der parietozentralen Elektrodengruppe zeigte sich der Trend zum Unterschied am deutlichsten für den Vergleich der vierten Präsentationen mit kurzem Lag [$t = -1.88$, $p = .096$]. Dieser Unterschied spiegelt möglicherweise den Unterschied im Primingeffekt zwischen Messung 1 und 2 wider. Ein Primingeffekt wurde an parietozentralen Elektroden nur in Messung 2 gefunden.

Die Stärken der Primingeffekte, die im Zeitbereich von 300 ms bis 500 ms für kurzes und langes Lag bestanden hatten, wurden anhand des Vergleiches der Differenzamplituden zwischen erster und vierter Darbietung von Messung 1 und 2 untersucht. Es zeigte sich für das kurze Lag an keiner der sechs Elektrodengruppen ein Unterschied zwischen den Differenzamplituden von Messung 1 und 2 [alle $t < -1.1$, alle $p > .32$], so daß sich in der Testung des über 200 ms gemittelten Zeitfensters kein Hinweis auf einen stärkeren Primingeffekt in diesem Bereich in einer der beiden Messungen ergab. Für das lange Lag zeigte sich an zentralen Elektroden ein Unterschied in der Differenzamplitude zwischen Messung 1 und 2 [$t = 3.91$,

$p = .004$]. Dieser Unterschied war auf die Abwesenheit eines Primingeffektes in Messung 2 zurückzuführen. Alle anderen Elektrodengruppen zeigten auch für das lange Lag keinen Unterschied in den Differenzamplituden zwischen Messung 1 und 2 [alle $t < 1.5$, alle $p > .24$].

Im Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms zeigten sich für den Vergleich erster und vierter Darbietungen zwischen Messung 1 und 2 an der frontalen Elektrodengruppe signifikante Unterschiede oder Trends zu Unterschieden sowohl in den ersten als auch in den vierten Darbietungen [K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $t = 2.18$, $p = .06$; Vergleich K4: $t = 2.31$, $p = .05$; Vergleich L1: $t = 2.11$, $p = .067$; Vergleich L4: $t = 1.66$, $p = .13$]. Diese Unterschiede bestanden in einer stärkeren Negativierung in Messung 2 als in Messung 1. An den anderen Elektroden zeigten sich keine klaren Hinweise auf Unterschiede in der Potentialstärke zwischen Messung 1 und 2. Die Untersuchung der Differenzamplituden des Primingeffektes im kurzen Lag im Bereich von 600 ms bis 800 ms ergab für keine der Elektrodengruppen einen signifikanten Unterschied, es zeigte sich lediglich an der parietozentralen Elektrodengruppe ein Trend zu einer größeren Differenzamplitude in Messung 2 als in Messung 1 [$t = -1.8$, $p = .10$; alle anderen Elektrodengruppen: $t < 1$, $p > .65$]. Hier hatte sich in Messung 2 ein Primingeffekt ergeben, der in Messung 1 noch nicht bestand.

Das nach Bonferroni korrigierte Signifikanzniveau für jeden der Tests der über 100 ms gemittelten Zeitfenster im Bereich von 300 ms bis 900 ms lag bei $p < .008$. Für den p-Wert von $p < .008$ zeigten sich in den Vergleichen der Einzelbedingungen (K1, K4, L1, L4) keine signifikanten Unterschiede zwischen Messung 1 und 2. Im Folgenden werden die Testergebnisse für Zeitbereiche und Elektroden genannt, an denen sich jedoch ein Trend zu einem Unterschied ergab. Für den Vergleich einzelner Bedingungen zwischen Messung 1 und 2 ergaben sich an occipitotemporalen Elektroden lediglich für die Bedingung L4 Hinweise auf einen Unterschied im Bereich von 300 ms bis 400 ms [$t = 2.17$, $p = .061$; alle anderen Tests für alle Bedingungen und Zeitbereiche: $t < 1.36$, $p > .20$]. An temporalen Elektroden zeigte sich nur von 600 ms bis 700 ms ein Hinweis auf eine negativere Amplitude in Messung 2 als in Messung 1 in Bedingung K4 [$t = -1.7$, $p = .12$] und L1 [$t = -1.6$, $p = .14$]. An frontalen Elektroden ergab sich im Bereich von 300 ms bis 400 ms in den Bedingungen K4 und L4 ein Trend zum Unterschied im Sinne einer weniger positiven Amplitude in Messung 2 [K4: $t = 2.41$, $p = .04$; L4: $t = 1.99$, $p = .08$]. Bei 700 ms bis 800 ms war die Amplitude an frontalen Elektroden in Messung 2 ebenfalls weniger positiv als in Messung 1 [K1: $t = -2.88$, $p = .02$; L1: $t = -2.114$, $p = .067$]. An frontozentralen Elektroden ergaben sich in drei der vier Vergleiche von 300 ms bis 400 ms Trends zum Unterschied zwischen Messung 1 und 2 [K1: $t = -1.776$, $p = .11$; K4: $t = -1.41$, $p = .19$; L1: $t = -1.63$, $p = .14$]. An parietozentralen Elektroden zeigten sich ebenfalls bei 300 ms bis 400 ms Hinweise auf Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [K4: $t = -2.02$, $p = .078$; K1: $t = -1.51$, $p = .12$; L4: $t = -2.42$, $p = .05$]. Hier zeigte sich eine positivere Amplitude in Messung 2 als in Messung 1.

Die Differenzamplituden des Primingeffektes im kurzen Lag, der in Messung 1 und / oder Messung 2 in einem der beiden späten Zeitbereiche bestanden hatte (300 ms bis 500 ms, 600 ms bis 800 ms), wurden für die 100 ms-Zeitfenster für das kurze Lag an occipitotemporalen, frontozentralen, frontalen, zentralen und parietozentralen Elektroden zwischen Messung 1 und 2 verglichen, für das lange Lag wurde der Vergleich an parietozentralen und zentralen Elektroden durchgeführt. Es zeigte sich auch hier in keinem der Tests für das Signifikanzniveau von $p < .008$ ein signifikanter Unterschied zwischen den Primingeffekten von Messung 1

und 2 in kurzem oder langem Lag. An occipitotemporalen Elektroden ergab sich jedoch von 500 ms bis 600 ms ein Trend [$t = -2.1$, $p = .06$] zum stärkeren Primingeffekt in Messung 2 für das kurze Lag (Differenzamplitude in Messung 2 K1 – K4: $1.16 \pm 0.75 \mu\text{V}$) als in Messung 1 ($0.49 \pm 0.54 \mu\text{V}$). Im Bereich von 300 ms bis 400 ms und 400 ms bis 500 ms ergaben sich für keine der Elektrodengruppe Trends zu Unterschieden oder signifikante Unterschiede [alle Elektrodengruppen: $t < 1$, $p > .42$].

Im Zeitbereich von 500 ms bis 600 ms ergab sich nicht nur an occipitotemporalen Elektroden ein Trend zum stärkeren Primingeffekt in Messung 2, sondern auch an frontozentralen Elektroden [$t = -1.53$, $p = .16$] und an frontalen Elektroden [$t = -1.39$, $p = .19$]. Von 600 ms bis 700 ms zeigte sich an parietozentralen Elektroden ein Trend zu stärkeren Primingeffekten in Messung 2 als in Messung 1 [$t = -2.36$, $p = .046$], an den übrigen Elektroden zeigten sich keine konsistenten Unterschiede [alle < -1.3 , alle $p > .22$]. Von 700 ms bis 800 ms ergab sich ebenfalls an parietozentralen [$t = -1.4$, $p = .19$] Elektroden ein schwacher Trend zum Unterschied [alle anderen Elektroden: $t < 1.2$, $p > .29$]. Im letzten Zeitbereich, von 800 ms bis 900 ms, ergaben sich keine Hinweise auf Unterschiede [alle $t < -1.13$, alle $p > .28$] zwischen den Differenzamplituden des kurzen Lags in Messung 1 und 2. Für die Wiederholungen mit langem Lag ergab sich an zentralen Elektroden ein Unterschied in der Differenzamplitude des Primingeffektes an zentralen Elektroden in den Bereichen von 300 bis 400 ms, 500 ms bis 600 ms und 700 ms bis 800 ms [alle $t > 2.5$, alle $p < .029$]. Dieser Unterschied bildete den fehlenden Primingeffekt an dieser Elektrodengruppe in Messung 2 verglichen mit Messung 1 ab.

Insgesamt ergaben die vielen durchgeführten Vergleiche zwischen den ERP in Messung 1 und 2, möglicherweise auch bedingt durch die kleine Stichprobe, die für den Vergleich zur Verfügung stand, wenig klare Hinweise auf Unterschiede in den Primingeffekten zwischen Messung 1 und 2 oder auf Bekanntheitseffekte.

An N170 ergab sich an temporalen und occipitotemporalen Elektroden ein Trend zu einer größeren Amplitude in Messung 2, der jedoch nicht konsistent über mehrere Tests gezeigt werden konnte. Die P2-Amplituden und auch der Primingeffekt auf der P2 im langen Lag unterschieden sich in ihrer Stärke nicht zwischen beiden Messungen. Ein Unterschied zwischen den Differenzamplituden von Messung 1 und 2 war im Trend für die Wiederholungen mit kurzem Lag zu erkennen, da sich hier erst in Messung 2 ein Primingeffekt ergeben hatte. Um 500 ms bis 600 ms zeigten sich Hinweise auf einen stärkeren Primingeffekt im kurzen Lag an occipitotemporalen und frontozentralen Elektroden in Messung 2 als in Messung 1. In den vorangehenden Bereichen von 300 ms bis 500 ms waren diese Trends jedoch nicht zu beobachten. An der parietozentralen Elektrodengruppe hatte sich in Messung 2 im Bereich von 600 ms bis 800 ms ein Primingeffekt im kurzen Lag ergeben, der in Messung 1 nicht vorhanden gewesen war und sich in einem Trend zum Unterschied der Differenzamplituden des kurzen Lags zwischen Messung 1 und 2 im Zeitfenster von 600 ms bis 700 ms zeigte. Konsistente Hinweise auf Amplitudenunterschiede in Einzelbedingungen zeigten sich im Bereich von 300 ms bis 400 ms an frontozentralen und parietozentralen Elektroden, an denen die Potentialamplitude sowohl in den ersten Bedingungen als auch den vierten Bedingungen in Messung 2 positiver als in Messung 1 erschien. An frontalen Elektroden schließlich zeigte sich für die Einzelbedingungen von 600 ms bis 800 ms ein Trend zur negativeren Amplitude in Messung 2 als in Messung 1.

4.4 Diskussion der Effekte von Priming und Vertrautheit mit Gesichtern auf ERP, ERF, Reaktionszeiten und Fehler

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im Bezug auf die Existenz von Primingeffekten und ihre Abhängigkeit von der Vertrautheit mit Gesichterstimuli sowie im Hinblick auf generelle Effekte der Vertrautheit diskutiert. Alle Ergebnisse werden für die gemessenen Reaktionszeiten, Fehler, ereigniskorrelierten Potentiale und ereigniskorrelierten Felder diskutiert. In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, durch die simultane Messung mehrerer Parameter ein umfassendes Bild von Prozessen der Gesichterverarbeitung und von Prozessen des Wiederholungspriming für Gesichter zu gewinnen. Daher wird insbesondere auch in der Diskussion ihrer Ergebnisse versucht, Vergleiche zwischen den Effekten in den unterschiedlichen Parametern zu ziehen.

Zunächst soll auf ein Problem der vorliegender Arbeit, das in der relativ kleinen Größe der untersuchten Stichprobe liegt, und seine Bedeutung für die Ergebnisinterpretation eingegangen werden (Kapitel 5.4.1). Im Anschluß daran werden die Primingeffekte, die in Messung 1 für die unbekanntes Gesichter gefunden wurden (Kapitel 5.4.2), und die Primingeffekte für die visuell vertrauten Gesichterstimuli in Messung 2 diskutiert (Kapitel 5.4.3). Dabei wird auch auf die Unterschiede in den Primingeffekten zwischen Messung 1 und 2 eingegangen. In Kapitel 5.4.4 werden schließlich Effekte der Vertrautheit von Gesichtern, die nicht unmittelbar im Zusammenhang mit der zeitnahen Wiederholung innerhalb der Primingaufgabe zu erklären sind, sondern eher durch den möglicherweise stattgefundenen Erwerb einer längerfristigen Bekanntheit mit den Gesichterstimuli erklärbar sind, diskutiert.

4.4.1 Stichprobengröße der vorliegenden Arbeit

Vor Beginn der Ergebnisdiskussion soll ein wesentlicher Punkt, der in der Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit berücksichtigt werden muß, angesprochen werden. Dieser Punkt betrifft die Größe der untersuchten Stichprobe. In Messung 1 umfasste die Stichprobe 12 Personen. Diese Zahl entspricht in etwa auch der Größe der Stichprobe in anderen elektrophysiologischen Studien. In der Auswertung der Verhaltensdaten erschien diese Stichprobe groß genug, um relativ klare statistische Effekte zu erhalten. Ein Beispiel dafür ist die differentielle Wirkung des Lags zwischen Wiederholungen auf die Stärke der Primingeffekte. In der Auswertung der Reaktionszeiten mittels Varianzanalysen zeigte sich diese in Form einer statistischen Interaktion zwischen den Faktoren Lag und Wiederholung.

Problematischer waren jedoch die Auswertungen von MEG- und EEG-Daten. Sowohl in EEG- als auch in MEG-Daten erwies sich die Stichprobe für einige der statistischen Tests als zu klein, um möglicherweise bestehende Effekte, wie etwa die differentielle Wirkung des Lags, statistisch eindeutig zu zeigen. Ein Beispiel dafür ist der Unterschied, der in einigen Zeitbereichen zwischen Wiederholungseffekten für das kurze und lange Lag gefunden wurde. Dieser bestand in einem Wiederholungseffekt, der in einfaktoriellem

Varianzanalysen mit dem Faktor Wiederholung nur für die Wiederholungen mit kurzem Lag gefunden wurde, während sich in der Auswertung mit langem Lag kein signifikanter Wiederholungseffekt und auch kein Trend dazu zeigte. Ein solcher Unterschied zwischen den beiden Lags weist ebenso wie in Reaktionszeiten auch auf eine differentielle Wirkung des Lags auf ERP- und ERF-Effekte hin und sollte sich wie für die Reaktionszeiten gesehen in einer statistischen Interaktion zwischen den Faktoren Lag und Wiederholung zeigen (in der zweifaktoriellen ANOVA mit den Faktoren Lag und Wiederholung). Eine solche Interaktion ergab sich aber trotz der unterschiedlichen Effekte für kurzes und langes Lag in den beiden einfaktoriellen ANOVAs oftmals nicht und ist wahrscheinlich durch die kleine Stichprobe bei großer Datenvarianz begründet, die sowohl in MEG- als auch in EEG-Daten stärker war als in den Reaktionszeiten.

Ein weiterer problematischer Effekt der Stichprobengröße zeigte sich in der Untersuchung der Verstärkung von Primingeffekten über mehrere Wiederholungen. Die mehrmalige Wiederholung von Gesichtern wurde eingesetzt, um die mögliche Verstärkung von Primingeffekten im Laufe der Wiederholungen zu untersuchen. Diese Verstärkung wurde anhand der Vergleiche einzelner Darbietungswiederholungen untersucht, etwa im Vergleich erster Gesichterpräsentationen mit zweiten Präsentationen und zweiter mit dritten Präsentationen. Es zeigte sich jedoch, daß trotz eines Trends zu einer Verstärkung von Wiederholungseffekten, der in Mittelwerten und Effektstärken zu erkennen war, oftmals keine signifikanten Unterschiede im Vergleich aufeinanderfolgender Bedingungen gefunden wurden. Auch hier waren einige Effekte wahrscheinlich zu schwach ausgeprägt, um sie in den statistischen Tests zu entdecken.

Der letzte Bereich, in dem sich die Stichprobengröße als tendenziell zu gering herausstellte, war der Vergleich des EEG zwischen Messung 1 und 2. Dort zeigten sich in Mittelwerten und auch in Ansicht der Zeitkurven teilweise deutliche Unterschiede, etwa in der Stärke der Primingeffekte zwischen Messung 1 und 2, die jedoch vor allem bei durchgeführter Bonferronikorrektur für multiple Vergleiche nicht zu klaren Effekten in statistischen Tests führten. In der Auswertung des EEG wurde zudem eine Durchschnittsreferenz berechnet, die den Vorteil hat, daß sie systematische Effekte der Referenzelektrode auf die EEG-Daten eliminiert, aber den Nachteil besitzt, zu einer Verkleinerung der Effekte führen zu können.

Die nun folgende Diskussion wird daher dort, wo sich klare Trends zu Effekten zeigten – auch wenn dieser knapp unter der Signifikanzgrenze lagen – diese Trends als Hinweise auf experimentell evozierte Unterschiede diskutieren. Es soll jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß vor allem die Unterschiede zwischen den ERP in Messung 1 und 2 und die Untersuchung der Trends zur Verstärkung von Primingeffekten einer größeren Stichprobe bedurft hätten, um sie verlässlicher interpretieren zu können.

4.4.2 Primingeffekte für unbekannte Gesichter

In der vorliegenden Arbeit wurden zunächst Effekte des Wiederholungspriming für unbekannte und visuell vertraute Gesichter an gesunden Versuchspersonen untersucht. Ein Ziel dieser Untersuchung war zu Beginn meiner Promotion, die Primingeffekte an gesunden Personen abzusichern und dabei ein Paradigma zu

entwickeln, das später an Personen mit einer beginnenden Demenz vom Alzheimer-Typ untersucht werden sollte. Dafür wurde ein Primingparadigma ausgewählt, weil Primingeffekte bei Personen mit Alzheimer vor allem für visuelle Objekte weniger untersucht sind als Effekte expliziter Gedächtnisaufgaben. Eine Primingaufgabe stellt zudem eine Aufgabe dar, in der Personen mit Alzheimerdemenz in Abgrenzung zu expliziten Gedächtnisaufgaben nicht eine grundsätzlich andere Performanz zeigen sollten als gesunde Personen, so daß sich durch die gleiche Grundleistung eine bessere Vergleichbarkeit zwischen beiden Personengruppen ergeben sollte. Der Unterschied in der Performanz bezieht sich dabei auf die gewählte Primingaufgabe. Die Entscheidung, ob ein Gesicht das eines Kindes oder einer erwachsenen Person ist, sollte von Personen mit einer beginnenden Demenz tendenziell genauso gut wie von gesunden Personen bearbeitet werden können. Die Variation des Zeitabstandes zwischen Wiederholungen und die Untersuchung ihres Einflusses auf den Primingeffekt für Gesichter wurde eingesetzt, da der zeitliche Abstand der Wiederholung von Gedächtnisinhalten bei Personen mit Alzheimer einen ganz wesentlichen Einfluß auf das Erinnern von Informationen hat. Personen mit Alzheimer haben vor allem Schwierigkeiten, Informationen über einen längeren Zeitabstand von mehreren Minuten zu erinnern.

Im Laufe meiner Promotionsarbeit verschob sich jedoch der Fokus der Aktivitäten von der Realisierung eines Paradigmas für Alzheimerpatienten zur Durchführung von Dipollokalisierungen für die in MEG und EEG gemessenen Korrelate der Gesichterverarbeitung, so daß die Entwicklung eines für Alzheimerpatienten geeigneten Primingparadigmas und eine Untersuchung an dieser Patientengruppe nicht mehr im Rahmen dieser Promotion stattfand. Die Ergebnisse des Primingparadigmas an gesunden Personen, die im folgenden diskutiert werden, bieten jedoch meines Erachtens nach auch ohne ihre Anwendung an Patienten interessante Beiträge zur Untersuchung der Bedingungen von Primingeffekten für Gesichter, die nicht nur für Patienten, sondern auch für gesunde Personen in der neurowissenschaftlichen und kognitiv-psychologischen Literatur diskutiert werden.

In Messung 1 wurde jedes von 300 unbekanntem Erwachsenengesichtern viermal identisch wiederholt. Der Zeitabstand zwischen den Gesichterwiederholungen wurde für die eine Hälfte der Gesichter in einen kurzen Abstand von sechs Sekunden (bzw. drei intervenierende Gesichter) und für die andere Hälfte der Gesichter in einen langen Abstand von drei Minuten (oder 90 intervenierende Gesichter) variiert. Die Primingaufgabe bestand in einer Entscheidung über die Zugehörigkeit zur Kategorie Kinder- oder Erwachsenengesicht, die von den Versuchspersonen für jede Gesichterpräsentation getroffen werden sollte.

In den Reaktionszeiten zeigten sich für beide Zeitabstände zwischen Wiederholungen Primingeffekte. Diese Effekte waren wie erwartet vom Zeitabstand zwischen den Wiederholungen beeinflusst. Der Primingeffekt war für das kurze Lag stärker ausgeprägt als für das lange Lag und setzte im Vergleich der ersten Gesichterpräsentationen mit den Wiederholungen im kurzen Lag früher ein. Für das kurze Lag bestand schon von erster zu zweiter Darbietung ein Primingeffekt, der sich im Laufe der Wiederholungen weiter verstärkte. Dabei war der Reaktionszeitgewinn, der als Maß der Stärke des Primingeffektes diente, von erster zu zweiter Darbietung mit einer Verkürzung von 33 ms am größten. Die zusätzlichen Wiederholungen erzeugten nur weitere Reaktionszeitverkürzungen von 7 ms (Präsentation 2 zu 3) bzw. 16 ms (Präsentation 3 zu 4). Die Tatsache, daß Primingeffekte von erster zu zweiter Präsentation größer sind als für weitere Wiederholungen,

wurde auch in anderen Reaktionszeitstudien, etwa von Hauptmann und Karni (2002) für Buchstabenfolgen, und in intracerebralen Potentialstudien der Gesichterverarbeitung (McCarthy et al., 1999) gefunden.

Trotz stärkstem Reaktionszeitgewinn von erster zu zweiter Darbietung führten die weiteren Darbietungen mit kurzem Lag zu einer Verstärkung der Primingeffekte. Hauptmann und Karni (2002) zeigten ebenfalls eine kontinuierliche Verstärkung ihres Wiederholungsprimingeffektes für Wörter bis zur sechsten Wiederholung. Sie erbrachten Hinweise dafür, daß Primingeffekte ohne eine Saturierung (keine weitere Verstärkung der Primingeffekte trotz weiterer Wiederholungen) nicht zur Bildung einer Langzeitrepräsentation der Stimuli im Gedächtnis führen, sondern die Bildung der Langzeitrepräsentation erst einsetzt, wenn der Primingeffekt eine Saturierung gezeigt hat. Bei Berücksichtigung dieser Ergebnisse und der Betrachtung des Verlaufs der Primingeffekte für die vorliegende Arbeit für die Wiederholungen im kurzen Lag kann angenommen werden, daß die vier Gesichterwiederholungen in Messung 1 noch nicht zu einer Bildung von Repräsentationen der Gesichterstimuli im Langzeitgedächtnis führten. Die Primingeffekte in Messung 1 würden demnach Resultate relativ kurzfristiger Gesichterwiederholungen im Abstand von Sekunden und Minuten darstellen.

Der Vergleich der Reaktionszeitprimingeffekte für das kurze Lag mit den Effekten in elektrophysiologischen Parametern zeigt zunächst für das MEG, daß sich in dieser Meßmethode an den untersuchten hinteren MEG-Sensoren kein mögliches elektrophysiologisches Korrelat des Reaktionszeiteffektes ergab. Die Reaktionszeiten hatten für das kurze Lag Latenzen von 650 ms bis 680 ms. Ein elektrophysiologisches Korrelat des Reaktionszeiteffektes sollte sich bis zu diesem Zeitpunkt gezeigt haben. Im MEG wurde für das kurze Lag ein Primingeffekt jedoch erst ab 700 ms gefunden. Dieser Primingeffekt bestand in einer Abnahme der Negativierung bei Stimuluswiederholung und zeigte sich am deutlichsten im Bereich von 850 ms bis 900 ms. Er lag damit 200 ms später als die Verhaltensreaktion. Der Effekt nahm auch einen anderen Verlauf über die Wiederholungen als der Reaktionszeiteffekt. Er bestand zwar – wie auch der Reaktionszeiteffekt – schon von erster zu zweiter Darbietung und zeigte sich auch im Vergleich der ersten mit den weiteren Darbietungen, aber er verstärkte sich im Gegensatz zum Reaktionszeiteffekt nicht weiter über die Wiederholungen. Es zeigte sich hier nicht nur in der Statistik, sondern auch in Ansicht der MEG-Kurven kein klarer Trend zu einer Verstärkung.

Dieser MEG-Primingeffekt liegt auf einer Zeitstufe, in der bewusste Prozesse der Gesichterverarbeitung ablaufen und die so spät nach Beginn einer Gesichterpräsentation liegt, daß Effekte in diesen Zeitbereichen, die im EEG gefunden wurden, als Korrelate postperzeptueller Verarbeitung interpretiert wurden. Schweinberger et al. (2002a) etwa nahmen an, daß diese Effekte bei bekannten Gesichtern den Zugriff auf personbezogene semantische Informationen reflektieren. Für unbekannte Gesichter können solche Informationen nur aus visuell extrahierbaren Stimuluseigenschaften gewonnen werden, so daß sie am ehesten die Verarbeitung des Geschlechts der Gesichter oder ihrer Attraktivität beinhalten könnten. Eine Aktivierung personbezogener semantischer Informationen wird sowohl im fMRT als auch im EEG eher in frontalen Arealen angenommen (z.B. Henson et al., 2003; Paller et al., 2000). Der Primingeffekt der vorliegenden Arbeit lag jedoch an hinteren MEG-Sensoren.

Eine plausiblere Interpretation des späten Primingeffektes ergibt sich im direkten Vergleich zu ERP-Primingeffekten für unbekannte Gesichter aus der Literatur. Primingeffekte wurden nur für unbekannte

Gesichter in Form einer verstärkten Negativierung von 700 ms bis 800 ms an rechten occipitotemporalen Elektroden in einem Zeitbereich gefunden, in dem sich für bekannte Gesichter kein Primingeffekt mehr zeigte (Schweinberger et al., 2002a). Sie bestanden nur bei Wiederholung derselben Aufnahmen der Gesichter und wurden als Korrelat stimuluspezifischen Primings in occipitotemporalen Kortexarealen angesehen (Schweinberger et al., 2002a). Der Primingeffekt an hinteren MEG-Sensoren erscheint so in der Tat eher als Korrelat visuell-perzeptueller Verarbeitung, obwohl er eine umgekehrte Polarität im Vergleich zum zitierten EEG-Effekt hat. Die umgekehrte Polarität kann jedoch sowohl durch die unterschiedliche Quellorientierung, die MEG und EEG teilweise messen, als auch durch die Tatsache, daß das MEG eher Korrelate intracellulärer Ionenströme und das EEG eher extracelluläre Ionenströme misst, entstanden sein (zu Unterschieden zwischen MEG und EEG Kapitel 1.6.3 und Hämäläinen et al., 1993). Zudem sind auch Bekanntheits- und Wiederholungseffekte im EEG in vergleichbaren Studien mit unterschiedlichen Richtungsveränderungen gefunden worden (siehe Kapitel 1.6.2.6).

Es ist dabei sehr wohl möglich, daß diese Primingeffekte in occipitotemporalen Kortexarealen spezifisch für *unbekannte* Gesichter sind und für bekannte Gesichter nicht auftreten. fMRT-Studien für Gesichter (Henson et al., 2002) fanden andere Primingeffekte für unbekannte als für bekannte Gesichter. Primingeffekte für unbekannte Gesichter bestanden der Studie von Henson et al. (2002) in Form einer Aktivierungsverstärkung bei Wiederholung, die unter anderem im Gyrus fusiformis gefunden wurde. Für bekannte Gesichter zeigte sich dagegen eine Abnahme der Aktivierung. Henson et al. (2002) interpretierten den Primingeffekt für unbekannte Gesichter im fMRT als Korrelat visuell-perzeptueller Gesichterverarbeitung.

Ein solcher Effekt für unbekannte Gesichter spiegelt wahrscheinlich eine deutlich stimulus- und bildspezifische Bildung von kurzfristigen Gedächtnisrepräsentationen wider, die in Teilen Ausdruck eines piktorischen Gedächtniseffektes sein könnte, der aufgrund der Wiederholung *derselben* Gesichteraufnahmen generiert wurde (Bruce und Young, 1986). Solche Effekte wurden im fMRT in occipitotemporalen Kortexarealen auch für die Verarbeitung anderer visueller Objekte gefunden (z.B. Koutstaal et al., 2001). Ein solcher Primingeffekt würde nicht auf andere Gesichtsaufnahmen übertragbar sein. Vor allem bei unbekanntem Gesichtern scheinen Effekte der Gesichterwiederholung und der Bildung von Gedächtnisrepräsentationen fast immer deutlich von der klaren Ähnlichkeit der Bildaufnahmen und meist sogar von der Darbietung derselben Aufnahme abhängig (Hancock, Bruce und Burton, 2000). Sie wurden dennoch im fMRT in Arealen gefunden, in denen gesichterspezifische Verarbeitungsprozesse ablaufen (z.B. Winston et al., 2004). Es wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht, ob sich ein Primingeffekt ebenfalls für die Wiederholung der Gesichter in anderer Perspektive oder in anderen Aufnahmen ergab, es ist aber anzunehmen, daß unter dieser Bedingung wahrscheinlich kein Primingeffekt vorgelegen hätte.

Der Primingeffekt im MEG wurde nur an der linken Hemisphäre beobachtet. Üblicherweise wird eher die rechte Hemisphäre mit der perzeptuellen Verarbeitung von Gesichtern in Verbindung gebracht (z.B. Kanwisher et al., 1997). Ergebnisse aus MEG-Studien (z.B. Halgren et al., 2000), aber auch intracerebrale Potentialstudien (Allison et al., 1999) fanden diese Lateralisierung allerdings nicht, und Primingeffekte fanden sich auch im fMRT mit wechselnder Lateralisierung an linker oder rechter Hemisphäre (z.B. Henson et al., 2000; Henson et al., 2003). Im MEG wurde somit in Messung 1 im kurzen Lag zwar ein Primingeffekt

für unbekannte Gesichter gefunden, der womöglich späte stimulluspezifische visuelle Verarbeitung der Gesichter reflektiert, aber es konnte kein magnetoenzephalographisch meßbarer Beitrag zum Primingeffekt auf Reaktionszeitebene gefunden werden.

Es ist allerdings möglich, daß über anderen Kortexarealen Primingeffekte bestanden, die aufgrund der Auswertung einer posterioren Sensorauswahl im MEG nicht entdeckt wurden. In der vorliegenden Arbeit wurden allerdings nicht nur in frühen, sondern auch in späten Bereichen des MEG die stärksten Felder bei der Mehrzahl der Versuchspersonen an occipitotemporalen MEG-Sensoren gefunden. Durch die Lage des Kopfes im MEG-Sensor passiert es bei dem eingesetzten Messgerät vor allem bei Personen, die einen kleinen Kopf haben, daß vordere Kopfbereiche nicht an den Sensoren anliegen und so zu weit entfernt von ihnen sind, um verlässliche Signale zu messen. Bei Personen, die einen großen Kopf haben, ist es dagegen möglich, daß sie ihren Kopf gar nicht so weit in den Helm legen können, daß etwa Aktivität über Arealen nahe dem Vertex gemessen werden kann. So ist die Tatsache, daß in allen Zeitbereichen im MEG wenig Aktivierung in anderen Bereichen als über dem occipitalen und temporalen Kortex gefunden wurde, möglicherweise auch durch die Beschaffenheit des MEG-Gerätes bedingt.

Das MEG misst vor allem Aktivierung in Kortexarealen relativ nahe der Kopfoberfläche. Da das Magnetfeld mit zunehmender Entfernung von der Kopfoberfläche rascher abnimmt als die im EEG gemessenen Potentialverschiebungen, ist es möglich, daß Primingeffekte in tiefer gelegenen Kortexarealen vom MEG schlechter abgebildet werden als vom EEG oder nur dann abgebildet werden, wenn sie sehr stark sind. Selbstverständlich ist es jedoch auch möglich, daß sich im MEG in Zeitbereichen bis zu 800 ms tatsächlich kein Effekt der Gesichterwiederholung zeigte, oder ein solcher Effekt durch die Art der Auswertung in der vorliegenden Arbeit nicht entdeckt wurde. Einen zusätzlichen Beitrag zur Untersuchung von Primingeffekten in Zeitbereichen um 400 ms wird jedoch die Auswertung der Quellstärken von lokalisierter MEG-Aktivität, deren Ergebnisse in Kapitel 4.6 berichtet werden, liefern. In diese Auswertungen gehen die gesamten MEG-Signale, die an der Kopfoberfläche gemessen werden, ein.

Im EEG wurde in Messung im Unterschied zum MEG schon in Zeitbereichen ab 300 ms ein Primingeffekt für die Wiederholungen mit kurzem Lag gefunden. Es ist dabei auch denkbar, daß der Primingeffekt im EEG aus einem radial orientierten neuronalen Generator entstand, der im MEG nicht abgebildet wurde. Der Primingeffekt im EEG bestand in einer Verstärkung der Negativierung bei Gesichterwiederholung an occipitotemporalen Elektroden und in einer Zunahme der Positivierung bei Gesichterwiederholung an zentralen und frontozentralen Elektroden. Dieser Effekt zeigt große Ähnlichkeit mit dem sogenannten Wiederholungseffekt (ERP repetition effect), der im Bereich von 400 ms bis 600 ms zum Beispiel von Henson et al. (2003), Sommer, Komoss und Schweinberger (1997) und Itier und Taylor (2002) gefunden wurde. Dieser Effekt wird sowohl für unbekannte als auch für bekannte Gesichter berichtet, er wurde jedoch für bekannte Gesichter konsistenter gefunden (siehe dazu Kapitel 1.6.2.6). Allerdings konnten andere Autoren wie Schweinberger et al. (2002) einen Primingeffekt für unbekannte Gesichter erst ab 600 ms bis 700 ms finden, der nur an occipitotemporalen Elektroden bestand. Ein Grund dafür könnte aber sein, daß sie die Gesichter lediglich einmal wiederholten. Der Primingeffekt der vorliegenden Arbeit wurde erst im Vergleich von erster zu dritter Präsentation gefunden. Der Wiederholungseffekt hatte für bekannte Gesichter

bei Henson et al. (2003) einen früheren Beginn als für unbekannte Gesichter. In Übereinstimmung mit Itier und Taylor (2002) fand sich in der vorliegenden Arbeit kein Wiederholungseffekt an parietalen Elektroden. Itier und Taylor (2002) fanden einen Wiederholungseffekt an parietalen Elektroden für unbekannte Gesichter nur bei unmittelbaren Gesichterwiederholungen und beobachteten keinen Effekt mehr bei der Einführung von einem intervenierenden Gesicht zwischen Wiederholungen.

Welchen kognitiven Prozess könnte dieser Primingeffekt abbilden? Er verhielt sich in der vorliegenden Arbeit in seinem Verlauf über die Wiederholungen an allen drei Elektrodengruppen (occipitotemporal, frontozentral und zentral) gleich, hatte seine größte Stärke jedoch an occipitotemporalen und zentralen Elektroden. Diese Verteilung des Effektes legt einen posterioren Generator nahe, der sich mit umgekehrter Polarität an frontozentralen und zentralen Elektroden widerspiegelt.

Henson et al. (2003) nahmen an, daß der Wiederholungseffekt einen Primingprozeß, der bekannten und unbekanntem Gesichtern gemeinsam sei, reflektiere, da in ihrer Studie er für beide Arten von Gesichtern bestand, und sahen diesen Effekt als mögliches Korrelat erleichterter struktureller Enkodierung durch die Gesichterwiederholung an. Die verschiedenen Teilschritte struktureller Enkodierung wurden jedoch von vielen Autoren sowohl in MEG (Halgren et al., 2002; Liu et al., 2002) als auch in EEG (z.B. Rossion et al., 1999a; Shibata et al., 2002) schon in Zeitbereichen zwischen 130 ms und 200 ms angenommen, und es ist aufgrund der Schnelligkeit, mit der Gesichter im Gehirn verarbeitet werden – gesichterspezifische Aktivierung in wesentlichen Arealen des Gesichternetzwerkes wurde in intracerebralen Potentialstudien schon um 200 ms nach Stimulusbeginn gefunden (Allison et al., 1994) – und bewusst erkannt werden eher unwahrscheinlich, daß erst in einem Zeitbereich um 400 ms die strukturelle Enkodierung von Gesichtern vorgenommen wird. Diese stellt auch in der rein kognitiven Modellbildung der Sequenz von Gesichterverarbeitungsprozessen eine relativ frühe Stufe der Verarbeitung dar (Bruce und Young, 1986).

Itier und Taylor (2002) nahmen aufgrund der Dominanz ihres Wiederholungseffektes an bilateralen occipitotemporalen Elektroden an, daß der Effekt Ausdruck von Aktivierung des Gyrus fusiformis sei und das Erkennen bekannter *und* unbekannter Gesichter abbilde. Puce et al. (1999) fanden in intracerebralen Ableitungen vom Gyrus fusiformis eine gesichterspezifische Potentialverschiebung um 400 ms bis 900 ms (N700), die in ihrem frühen Anteil bei 400 ms bis 650 ms durch die identische Wiederholung unbekannter Gesichter, die im Abstand von zwei Sekunden stattfand, beeinflusst wurde. Sie wiederholten die Gesichter achtmal und fanden eine kontinuierliche Veränderung der N700 über die Stimuluswiederholungen.

Henson et al. (2003) fanden in ERP im Zeitbereich von 400 ms bis 600 ms wie auch die intracerebrale Potentialstudie von Puce et al. (1999) Hinweise auf eine Gesichterspezifität der elektrophysiologischen Prozesse. Sie fanden in diesem Zeitbereich an allen Elektroden Amplitudenunterschiede zwischen normalen und randomisierte Gesichtern.

Wenn dieser Effekt die Verarbeitung unbekannter und bekannter Gesichter im occipitotemporalen Kortex, möglicherweise sogar im Gyrus fusiformis reflektiert, dann könnte er die Stufe der Gesichtsidentifizierung im Sinne eines bewussten Erkennens der individuellen Identität von Personen widerspiegeln. Eine solche Verarbeitungsstufe muss auch für unbekannte Gesichter bestehen und ist dort unabhängig von verbalen

Personeninformationen. Man kann sich diese Verarbeitungsstufe anhand eines Alltagsbeispiels vorstellen. Wenn ich einen mir völlig unbekanntem Menschen auf der Straße sehe, dann entwickle ich trotzdem ein Bewusstsein von seiner individuellen Identität, das unabhängig davon ist, ob ich diese Person nun kenne oder nicht. Gerade die automatische Identifizierung auf individuellem Niveau wurde als das der Gesichtererkennung besondere Merkmal in Abgrenzung zum Erkennen vieler anderer visueller Objekte angesehen (z.B. Tanaka, 2001, siehe Kapitel 1.4). Eine solche Verarbeitungsstufe unterscheidet sich von der strukturellen Enkodierung, die im Modell von Bruce und Young (1986) ebenfalls als Stufe angesehen wird, auf der Gesichter auf individuellem Niveau verarbeitet werden. Bei der strukturellen Enkodierung werden die Einzelelemente und die konfigurale Information des individuellen Gesichts verarbeitet. Diese Verarbeitungsstufe wird in ERP und ERF bei 170 ms angesiedelt (siehe oben) und ist ein Mechanismus, der auch ohne eine bewusste Wahrnehmung der Gesichter ablaufen kann. Hoshiyama et al (2003) zeigten im MEG, daß eine gleichartige M170 für bewusst wahrgenommene Gesichter und für unter der bewussten Wahrnehmungsschwelle erkannte Gesichter evoziert wird. Die strukturelle Enkodierung bei 170 ms ist von der Ansichtsperspektive der Gesichter abhängig.

Hinweise darauf, daß ein Erkennen der Identität von Gesichtern, das unabhängig von der Ansichtsperspektive ist, bei Verarbeitung bekannter und unbekannter Gesichter im Gyrus fusiformis angesiedelt ist, wurden im fMRT gefunden (z.B. Winston et al., 2004). Diese Primingeffekte können sich elektrophysiologisch nur in einem Primingeffekt nach 170 ms zeigen. In den später berichteten Ergebnissen der Dipollokalisierungen der vorliegenden Arbeit (siehe Kapitel 4.6) wurde die in MEG und EEG um 400 ms bis 500 ms gemessene Aktivität ebenfalls im Gyrus fusiformis lokalisiert. So erscheint eine Interpretation des Primingeffektes um 300 ms bis 600 ms im EEG als Korrelat der Gyrus fusiformis-Aktivität und des Erkennens individueller Gesichter nicht unplausibel und würde aufgrund seiner Latenz einen Beitrag zum Primingeffekt in Reaktionszeiten liefern.

Im EEG zeigte sich für das kurze Lag nicht nur bei 300 ms bis 500 ms, sondern auch im Bereich von 600 ms bis 900 ms und damit mit früherem Beginn als im MEG ein Primingeffekt. Dieser Primingeffekt bestand wie auch der Effekt bei 300 ms bis 500 ms an occipitotemporalen und frontozentralen Elektroden, im Gegensatz zum früheren Effekt aber auch an frontalen Elektroden und nicht an zentralen Elektroden. Der Effekt war in seiner Erscheinung nicht vom EOG im selben Zeitbereich generiert und stellt somit kein Messartefakt dar. Dieser Effekt zeigte auch wie im Bereich von 300 ms bis 500 ms einen ähnlichen Verlauf an frontozentralen und occipitotemporalen Elektroden, so daß ein gemeinsamer Generator der Effekte an beiden Elektroden nicht unwahrscheinlich erscheint. An beiden Elektrodengruppen setzte der Effekt erst von erster zu dritter Darbietung ein und verstärkte sich nochmals zur vierten Darbietung. An frontalen Elektroden war der Effekt ebenfalls erst von erster zu dritter Darbietung zu erkennen, verstärkte sich dann aber nicht weiter. Allerdings war in den Mittelwerten von dritter zu vierter Darbietung auch an frontalen Elektroden eine Tendenz zur Verstärkung der Differenzamplitude, die im Vergleich von erster zu dritter Darbietung bei $0.3 \mu\text{V}$ lag, auf $0.75 \mu\text{V}$ von erster zu vierter Darbietung zu erkennen. Möglicherweise wurde diese Verstärkung des Primingeffektes durch den Einfluß des EOG abgeschwächt, da sich im EOG in dem Zeitbereich einen Trend

zur Veränderung in umgekehrte Richtung zeigte und der Einfluß von Augenbewegungen an frontalen EEG-Elektroden meist am stärksten ist.

Der späte Primingeffekt im EEG war an occipitotemporalen und frontozentralen Elektroden in einem Zeitbereich von 600 ms bis 800 ms am stärksten und bei 800 ms bis 900 ms nicht mehr vorhanden. An der gesamten occipitotemporalen Elektrodengruppe bestand er sogar nur im Bereich von 600 ms bis 700 ms klar signifikant. Gepaarte t-Tests über 100 ms-Zeitfenster, die die Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung mit kurzem Lag von 300 ms bis 900 ms nach Stimulusbeginn genauer untersuchten, zeigten, daß sich an occipitotemporalen Elektroden durchgängig von 300 ms bis 700 ms Primingeffekte im kurzen Lag ergaben. Eine differenzierte Betrachtung der Primingeffekte an einzelnen posterioren Elektroden fand einen Primingeffekt im Bereich von 700 ms bis 800 ms auch noch an den occipitalen Elektroden O1 und O2. Aufgrund der durchgängigen Unterschiede im Bereich von 300 ms bis etwa 700 ms ist es möglich, daß der Effekt an occipitotemporaler Elektrodengruppe auch noch im Bereich von 500 ms bis 700 ms den Wiederholungseffekt abbildet, der in dem früheren Bereich ab 300 ms gefunden und oben bereits diskutiert wurde. Eine Beschränkung des Effektes im Bereich von 700 ms bis 800 ms auf die occipitalen Elektroden legt jedoch eine Veränderung in Ort oder Stärke des neuronalen Generators im Laufe der Zeit nahe. Der Effekt an den Elektroden O1 und O2 bei 700 ms bis 800 ms könnte dann auch ein Korrelat des späten Primingeffektes, der im MEG gefunden wurde, sein. Seine Latenz liegt im MEG jedoch immer noch früher als die des MEG-Primingeffektes und diese Herstellung einer Verbindung zwischen den Primingkorrelaten dieses Zeitbereichs in MEG und EEG soll eher hypothetisch bleiben.

An frontalen Elektroden zeigte sich in der Untersuchung der 100 ms-Zeitfenster ein klarer Primingeffekt im kurzen Lag erst ab 800 ms bis 900 ms. Der Primingeffekt an frontalen Elektroden könnte den zusätzlichen Beitrag eines frontalen neuronalen Generators abbilden, der deutlich später als der posteriore Generator aktiv wurde, aber dessen Aktivierung auch länger andauerte als die Aktivierung des posterioren Generators. Die frontozentralen Elektroden spiegelten möglicherweise aufgrund ihrer Nähe zu den frontalen Elektroden nicht nur den posterior generierten Effekt bei 300 ms bis 600 ms wider, sondern auch den späteren Effekt bei 800 ms bis 900 ms. An allen weiter posterior gelegenen Elektroden (zentral, parietal, occipitotemporal, temporal) wurde von 800 ms bis 900 ms kein Anhaltspunkt mehr für einen Primingeffekt gefunden.

Aktivierung an frontalen Elektroden, wie sie im Wiederholungseffekt der vorliegenden Arbeit bei 800 ms bis 900 ms gefunden wurde, wurde in ERP-Studien mit der bewussten Gedächtnisverarbeitung von Gesichtern (Paller et al., 2001) oder mit dem Abruf von personenspezifischen Informationen, wie sie in den Person Identity Nodes (Bruce und Young, 1986) für bekannte Gesichter vorliegen, in Verbindung gebracht (z.B. Guillem et al., 2001). Beide Prozesse sollten im vorliegenden Primingparadigma für unbekannte Gesichter nicht evoziert werden. Es ist aber zwei Quellen dieses Effektes vorstellbar: zunächst ist es möglich, daß die häufige Wiederholung der Gesichter ein automatisches bewusstes Wiedererkennen der Gesichterwiederholungen vor allem im kurzen Lag ausgelöst haben kann. Bei den Wiederholungen mit kurzem Lag wurde dasselbe Gesicht innerhalb von 18 Sekunden viermal gesehen.

Ein zufälliges Wiedererkennen der Gesichter wäre durch eine andere kognitive Verarbeitung als durch die bewusste Gedächtnissuche in expliziten Aufgaben ausgelöst. Ergebnisse aus Verhaltensstudien von Priming

weisen aber darauf hin, daß Primingprozesse und Wiedererkennensprozesse (Recognition) für Stimuli auf einem gemeinsamen Gedächtnissystem basieren können und in vielen Primingaufgaben einen positiven Zusammenhang miteinander zeigen (Shanks, Wilkinson und Channon, 2003). So könnte der späte Wiederholungseffekt mit Fokus an frontalen und frontozentralen Elektroden im EEG ein bewusstes, inzidentelles Wiedererkennen der Gesichterwiederholungen aufgrund der zeitlichen Nähe der Wiederholungen abbilden. Ostergaard (1998) zeigte, daß es gerade unter Bedingungen der schwierigen Stimulusidentifizierung und damit auch unter schwierigen Bedingungen der Primingaufgabe einen positiven Zusammenhang zwischen Primingeffekten und dem Erkennen (recognition) der Stimuli geben kann, der unter leichten Aufgabenbedingungen nicht besteht. Die Aufgabe der Entscheidung über Erwachsenen- / Kindergesichter in der vorliegenden Arbeit war für die Versuchspersonen schwierig, wie sich anhand von Fehlerraten und persönlichen Berichten der Probanden zeigte, und bedurfte einer genauen und holistischen Verarbeitung der Gesichter. Eine zweite Interpretationsmöglichkeit ist die Verarbeitung visuell vermittelter semantischer Informationen wie Attraktivität und Geschlecht der Gesichter, die auch für unbekannte Gesichter bestehen können.

In der vorliegenden Arbeit wurden nicht nur reine Stimuluswiederholungen, sondern auch ihre Abhängigkeit vom Lag zwischen den Wiederholungen untersucht. Es wurde nach Studium der Literatur zur Gesichtsverarbeitung, in der ein Einfluss des Lagst systematisch untersucht worden war – bei Henson et al. (2004) etwa im EEG für andere visuelle Objekte als Gesichter, bei Henson et al. (2000) im fMRT für Gesichter – vor allem erwartet, dass ein größeres Lag seinen Einfluss auf die Primingeffekte am ehesten in Form rein quantitativer Abschwächung der Effekte ausüben würde. Ein solcher Effekt des Lagst wurde in eindeutiger Form in der vorliegenden Arbeit nur für die Reaktionszeiten gefunden, für die sich die in beiden Abständen Primingeffekte auftraten, sich aber deutlich zwischen kurzem und langem Lag unterschieden. In Reaktionszeiten wurde nicht nur für die Wiederholungen mit kurzem Lag, sondern auch für das lange Lag ein Primingeffekt gefunden. Dieser setzte jedoch erst ab der dritten Wiederholung signifikant ein und zeigte anders als im kurzen Lag nicht von erster zu zweiter Präsentation die größte Abnahme der Reaktionszeiten, sondern von zweiter zu dritter Präsentation. Die Stärke des Primingeffektes betrug im langen Lag nur etwa ein Drittel vom Primingeffekt des kurzen Lags.

Reaktionszeiteffekte über Wiederholungen von mehreren Minuten wurden auch bei Henson et al. (2003), dort jedoch schon bei einmaliger Wiederholung, gefunden. Schweinbürger et al. (2002a) konnten für einen Zeitabstand von 15 Minuten bei einmaliger Wiederholung der unbekanntes Gesichter keinen Primingeffekt in einer Bekanntheitsentscheidungsaufgabe finden. Der Abstand von drei Minuten in der vorliegenden Arbeit schien jedoch aufgrund der mehrmaligen Wiederholung der unbekanntes Gesichter und aufgrund der anspruchsvollen Aufgabe geeignet, einen klaren Primingeffekt zu erzeugen. Wie für die Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag profitierte auch der Primingeffekt im langen Lag von der mehrmaligen Wiederholung.

Die Reaktionszeiteffekte fanden in ihrem differentiellen Einfluss des Lagst keine unmittelbare Entsprechung in MEG und EEG. Es wurde sowohl im MEG an den untersuchten posterokoren Sensoren, als auch im EEG an occipitotemporalen, frontozentralen und temporalen Elektroden – ein Primingeffekt *nur* für das lange Lag auf

der P2- (EEG) / M200- (MEG) Komponente gefunden. Dieser Effekt bestand für beide Verfahren in Form einer Abnahme der Positiverung bei Gesichterwiederholung. Ein solcher Effekt erschien sehr ungewöhnlich, da Primingeffekte üblicherweise für kurze Lags größer als für lange Lags sind. Seine Existenz wurde aber durch sein Auftreten in beiden Meßverfahren bekräftigt. Die EEG-Elektroden und MEG-Sensoren, an denen der Effekt auftrat, legen einen posterioren neuronalen Generator nahe. Dieser Generator liegt aber möglicherweise an einem anderen Ort als der Generator des Primingeffektes, der im EEG bei etwa 300 ms bis 500 ms im kurzen Lag gefunden wurde. Im Gegensatz zum P2-Effekt hatte sich der ERP-Wiederholungseffekt bei 300 ms bis 500 ms nicht an temporalen Elektroden gezeigt. Itier und Taylor (2004) lokalisierten den Generator der P2-Komponente bei Gesichterdarbietung im parietooccipitalen Kortex (genauere Angaben zum neuroanatomischen Ort finden sich in ihrem Artikel nicht).

Die P2-Komponente wurde vor allem als Korrelat nicht gesichterspezifischer kognitiver Prozesse markiert (z.B. Rossion et al., 1999; Jemel et al., 2003). Damit steht sie im Gegensatz zur ihr vorangehenden M170- / N170-Komponente, die von vielen Autoren als Korrelat gesichterspezifischer Verarbeitung angesehen wurde (z.B. Liu et al., 2002; Halgren et al., 2000; Bentin und Deouell, 2000; Caharel et al., 2002). So fand sich bei Jemel et al. (2003) ein Primingeffekt auf der P2-Komponente nur für unbekannte Gesichter und nur für Wiederholungen *derselben* Gesichtsaufnahmen. Jemel et al. (2003) fanden diesen Effekt jedoch für kurze Wiederholungsintervalle. Trenner et al. (2004) fanden stärkere Effekte auf der P2-Komponente für bekannte Gesichter, die in einer Gedächtnisaufgabe wiederholt wurden, als wenn die Gesichter in einer Primingaufgabe wiederholt wurden. Rossion et al. (1999) fanden die P2-Komponente bei Gesichterverarbeitung ebenfalls von der Manipulation „Primingaufgabe versus explizite Gedächtnisaufgabe“ beeinflusst.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind mit einer Verortung nicht gesichterspezifischer kognitiver Prozesse auf der P2-Komponente vereinbar. Die Tatsache, daß der hier gefundene Primingeffekt in Messung 1 nur für lange und nicht für kurze Wiederholungen bestand, lässt ihn nicht als Indikator perzeptuellen Primings aufgrund reiner Stimuluswiederholung erscheinen, sondern eher als Indikator eines frühen kognitiven Prozesses, der nur bei Wiederholungen mit langem Zeitabstand zwischen den Wiederholungen getriggert wurde. In der Literatur ist der sogenannte 'cued spacing effect' bekannt (z.B. Greene, 1989). Dieser Effekt wurde zunächst für explizite Gedächtnisaufgaben gezeigt, wurde dann aber auch für Primingaufgaben berichtet. Der Effekt besteht in einer besseren Erinnerung von Items, die nach einigen intervenierenden Stimuli wiederholt werden, als für Items, die ohne intervenierende Stimuli gezeigt wurden. Es wurde in Verhaltensdaten gezeigt (Mammarella et al., 2002), daß für die Wiederholung unbekannter Gesichter dieser Effekt in einer Primingaufgabe besteht und sehr stark abhängig von der Wiederholung der identischen Gesichteraufnahmen ist. Eine Interpretation des Effektes (Mammarella et al., 2002) bestand darin, daß bei einer direkten Wiederholung der Gesichter das perzeptuelle Priming größer ist als bei einer Wiederholung mit intervenierenden Gesichtern und deshalb die perzeptuelle Verarbeitung der Gesichter bei ihrer direkten Wiederholung verringert ist. Eine solche Verringerung in Form des Primingeffektes setze jedoch nicht ein, wenn die Gesichter in langen Zeitabständen wiederholt würden. Dadurch würde der

Stimulus bei seiner Wiederholung mit langem Zeitabstand genauso intensiv verarbeitet wie bei seiner ersten Darbietung und aus diesem Grund besser erinnert.

In dieser Erklärungsweise beziehen sich die Prozesse des Primings durch Wiederholung und der Erinnerung offensichtlich auf zwei unterschiedliche Verarbeitungsstufen. Bei Mammarella et al. (2002) wurden die Gesichter im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit mit null intervenierenden oder bis zu 12 intervenierenden Gesichtern präsentiert. Es ist jedoch möglich, daß ein solcher Mechanismus auch bei der vorliegenden experimentellen Manipulation für drei intervenierende Gesichter versus 90 intervenierende Gesichter auftrat. Eine Besonderheit der vorliegenden experimentellen Aufgabe bestand im Gegensatz zu vielen anderen Primingparadigmen, in denen jeweils Paare von Gesichtern oder drei Gesichter hintereinander gezeigt werden und dann nach einer kurzen Pause ein neuer Trial beginnt, in der seriellen Präsentation der Gesichter in Blöcken von fünf Minuten Länge. Es wurde für die Wiederholungen mit kurzem Lag, möglicherweise auch aufgrund der häufigen seriellen Wiederholung, ein deutlicher Primingeffekt im kurzen Lag erzeugt, dadurch eventuell jedoch kein Effekt der Wiederholung auf der P2-Komponente für das kurze Lag. Für die Gesichterwiederholungen mit langem Lag wurden in der vorliegenden Arbeit keine dem kurzen Lag vergleichbaren Primingeffekte in ERP und ERF beobachtet. Es ist aber möglich, daß gerade aus diesem Grund (wie in der Interpretation des Spacing effects angenommen) auf einer bestimmten Verarbeitungsebene das Wiedererkennen der Gesichter mit langem Lag größer war als mit kurzem Lag. Dies bestand vielleicht auch dadurch noch stärker, daß die jeweils vier Wiederholungen vor allem im kurzen Lag vollständig vermischt waren, so daß etwa für Stimuluswiederholungen im kurzen Lag Präsentationssequenzen von A B C A D B A C vorkamen (jeder Buchstabe bezeichnet ein Gesicht). In einer solchen Sequenz wird nicht innerhalb von 6 Gesichterpräsentationen nicht nur Gesicht A, sondern auch B und D wiederholt. Solche extrem häufigen Wiederholungen, wenn sie dann mit den Wiederholungen der Gesichter in langem Lag vermischt waren, die nur nach 90 anderen Stimuli passierten, vor allem für die Stimuli mit langem Lag einen großen Wiedererkennenswert erzeugt haben. Der sogenannte 'cued spacing effect' stellt die einzige plausible Interpretationsmöglichkeit dar, die mir auf der Suche nach einer Erklärung des P2-Effektes in der Literatur begegnete. Es ist jedoch auch möglich, daß der P2-Effekt ein reiner Effekt im Unterschied der Aufmerksamkeitsfokussierung ist, die den selteneren und dadurch stärker salienten Ereignissen der Wiederholungen mit langem Lag zugewandt wurde. Festzuhalten bleibt, daß der P2-Effekt wahrscheinlich kein durch die Gesichterwiederholung ausgelöster perzeptueller Primingeffekt ist.

Es zeigte sich im MEG auch im Zeitbereich, der auf die M200-Komponente folgte (von 300 ms bis 500 ms) nur für das lange Lag ein Wiederholungseffekt, der in einer Zunahme der Negativierung bei Gesichterwiederholung bestand und auch wie der vorangehende Effekt bei der M200 schon von erster zu zweiter Darbietung vorhanden war, sich aber nicht über die weiteren Wiederholungen verstärkte. Es ist möglich, daß im MEG dieser Effekt eine Fortsetzung des M200-Effektes darstellte. Auch hier fand er keine Entsprechung im kurzen Lag. Im EEG wurde an zentralen Elektroden ein Primingeffekt im langen Lag gefunden, der sich über einen Zeitraum von 300 ms bis 800 ms erstreckte. Dieser Effekt bestand ebenfalls schon von erster zu zweiter Wiederholung, aber zeigte keine Verstärkung über die Wiederholungen. Wenn aber wie angenommen Aktivierung um 300 ms bis 500 ms durch einen neuronalen Generator im Gyrus

fusiformis in MEG und EEG entstehen würde, dann wäre vor allem der Effekt im MEG nicht einleuchtend erklärbar, da er nur für das lange Lag bestand. Der Effekt im EEG bestand nur an zentralen Elektroden und könnte daher auch durch einen anderen neuronalen Generator entstanden sein. An zentralen Elektroden war im Zeitraum von 300 ms bis 500 ms auch im kurzen Lag ein Primingeffekt zu beobachten gewesen. Der Primingeffekt in diesem Zeitbereich zeigte jedoch keinen differentiellen Einfluß des Lags im Sinne einer statistischen Interaktion zwischen Lag und Wiederholung, und es bestand auch kein Trend dazu.

Alle Effekte der Wiederholung, die im langen Lag erzeugt wurden, unterschieden sich in beiden Meßverfahren vom Primingeffekt in Reaktionszeiten dadurch, daß sie schon von erster zu zweiter Wiederholung bestanden. Ein Reaktionszeitpriming setzte jedoch erst zur dritten Wiederholung ein. Es ist jedoch anzumerken, daß der P2-Effekt und der Effekt im Bereich von 300 ms bis 500 ms die einzigen möglichen elektrophysiologischen Korrelate eines Wiederholungseffektes in Reaktionszeiten darstellen.

Aus den Ergebnissen zu Primingeffekten für unbekannte Gesichter der vorliegenden Arbeit bleibt fraglich, ob die Primingeffekte, die in Reaktionszeiten für kurzes und langes Lag gefunden wurden, dieselben Phänomene mit rein quantitativem Unterschied darstellen. Henson et al. (2004) als Verfechter der Annahme eines rein quantitativen Einflusses des Lags auf die Primingeffekte untersuchten die Wiederholungen mit kurzem Lag für Objektpriming für einen Zeitabstand von 4 Sekunden, die Wiederholungen mit langem Lag dagegen für einen Zeitabstand von 96 Sekunden. In der vorliegenden Arbeit wurde ein langer Zeitabstand von drei Minuten realisiert, während der kurze Zeitabstand 6 Sekunden betrug. Der hier eingesetzte Wiederholungsabstand war damit im langen Lag doppelt so lang wie bei Henson et al. (2004) und war möglicherweise zu lang, um im langen Lag Effekte auf denselben Ebenen wie im kurzen Lag auszulösen. So ist nicht nur denkbar, daß im langen Lag unterschiedliche Primingprozesse abliefen als im kurzen Lag, sondern auch, daß die Effekte im langen Lag, auch wenn sie prinzipiell dieselben Prozesse widerspiegeln wie die Effekte im kurzen Lag in der vorliegenden Studie zu schwach waren, um gemessen zu werden, und daß es einer größeren Stichprobe oder häufigerer Gesichterpräsentation bedurft hätte, um die Effekte abzubilden.

In den Fehlern über die Entscheidung der Zugehörigkeit der Gesichter zur Kategorie Kind oder Erwachsener zeigten sich für die unbekanntes Gesichter keine Primingeffekte. Die Fehlerzahl lag mit etwa 20% falschen Entscheidungen in allen Wiederholungen gleich hoch und unterschied sich nicht zwischen kurzem und langem Lag. Der abwesende Primingeffekt für die Fehler bedeutet, daß trotz viermaliger Wiederholung der Gesichter die Entscheidung über die Zugehörigkeit des Gesichts zur Kategorie Erwachsener oder Kind nicht mit steigender Korrektheit zu führen war. Sie zeigt damit auch die Dissoziation zwischen dem Primingeffekt in den anderen Meßparametern und der bewussten experimentellen Aufgabe. Ein Primingeffekt in der Aufgabe kann somit nicht auf die bewusst erleichterte Stimulusentscheidung zurückgeführt werden.

Die experimentelle Aufgabe wurde von den Personen als schwer erlebt. Sie war aber möglicherweise gerade deshalb geeignet, einen Primingeffekt in Reaktionszeiten zu bewirken. Ostergaard (1998) zeigte, daß unter Bedingungen, in denen Wortstimuli schwieriger zu erkennen waren, Wiederholungsprimingeffekte größer waren als unter Bedingungen der leichten Identifizierbarkeit. Ostergaards (1998) Interpretation dieser Unterschiede lag darin, daß unter schwierigen Bedingungen von einer vorangehenden Stimuluspräsentation mehr profitiert wurde als unter leichten Bedingungen und somit die Primingeffekte größer waren.

Zusammenfassend ergab Messung 1 folgende Hinweise auf die Beantwortung der gestellten Fragen nach Primingeffekten für unbekannte Gesichter und ihre Zusammenhänge in verschiedenen Primingparametern. Die Reaktionszeiten zeigten einen Primingeffekt für Wiederholungen mit kurzem und langem Lag, der im kurzen Lag stärker ausgeprägt war. Der Wiederholungseffekt, der im EEG von etwa 300 ms bis 600 ms an frontozentralen, zentralen und occipitotemporalen Elektroden beobachtet wurde, stellt möglicherweise ein Korrelat der Aktivierung des Gyrus fusiformis bei Verarbeitung unbekannter Gesichter dar. Diese Aktivierung könnte Ausdruck eines Erkennens der individuellen Identität der Gesichter sein und wurde durch die Wiederholungshäufigkeit im Primingexperiment beeinflusst. Dieser Primingeffekt könnte auch ein Korrelat des Reaktionszeiteffektes darstellen. Der Effekt fand im MEG kein Pendant, ein Grund dafür könnte jedoch ein radialer Generator des Effektes oder eine fehlende Sensitivität des MEG für den schwachen Primingeffekt für unbekannte Gesichter aufgrund der schwächeren Meßsensitivität des Verfahrens für tiefe Quellen sein. Ein später Wiederholungseffekt im MEG wurde bei 700 ms bis 900 ms an posterioren Sensoren gefunden. Dieser Effekt konnte aufgrund seiner späten Latenz kein Pendant des Reaktionszeiteffektes sein und bildet möglicherweise stimuluspezifische visuelle Verarbeitung in occipitotemporalen Kortexarealen ab.

Im EEG wurde an frontalen Elektroden und im Trend an frontozentralen Elektroden ein Primingeffekt, der vor allem im Bereich von 800 ms bis 900 ms bestand, beobachtet. Dieser Effekt wurde als mögliches Korrelat inzidenteller Wiedererkennung der Gesichterwiederholung, die durch die häufige Wiederholung der Gesichter generiert wurde, oder als Korrelat der Verarbeitung visuell extrahierbarer semantischer Gesichtsinformation interpretiert, fand aber ebenfalls nach Ende der Verhaltensreaktion statt und ist kein Korrelat des Reaktionszeiteffektes.

4.4.3 Primingeffekte für visuell vertraute Gesichter in Messung 2 und Unterschiede zu den Primingeffekten aus Messung 1

In Messung 1 der vorliegenden Arbeit war mit der lediglich viermaligen Wiederholung wahrscheinlich noch keine Langzeitgedächtnisspur für die Gesichter hergestellt worden. Drei Monate nach dem Ende von Messung 1 nahmen zehn der zwölf Versuchspersonen aus Messung 1 an mehreren Lernsitzungen für die Gesichter statt, die eine längerfristige Bekanntheit der Gesichter bewirken sollten, und durchliefen nach deren Abschluß nochmals das Primingexperiment. Es konnte so der Unterschied zwischen der Verarbeitung der Gesichter, wenn sie vorher im Lerntraining gesehen worden waren, und der Verarbeitung derselben Gesichter, als sie unbekannt waren, untersucht werden. Die längerfristige Bekanntheit der Gesichter, die in den Lernsitzungen hergestellt werden sollte, sollte jedoch nicht im Sinne des Aufbaus von Face Recognition Units, wie sie für bekannte Gesichter von Bruce und Young (1986) angenommen wurden, interpretiert werden. Dazu hätten die Gesichter wahrscheinlich aus unterschiedlichen Ansichtsperspektiven und in unterschiedlichen Bildaufnahmen gelernt werden müssen. Dennoch könnten die im Folgenden diskutierten Unterschiede in Primingeffekten als Resultat einer längerfristigen visuellen Bekanntheit von Gesichterstimuli interpretiert werden und in diesem Sinne als Untersuchung visueller Gedächtnisprozesse am Beispiel von

Gesichtern angesehen werden. Die Gesichterspezifität und die Unterschiede der Primingeffekte in Abhängigkeit von verschiedenen Ansichtsperspektiven oder Bildaufnahmen waren nicht Thema der vorliegenden Arbeit und können nur in Bezug auf andere Ergebnisse aus der Literatur erschlossen werden.

Welche Effekte hatte die Vertrautheit mit den Gesichterstimuli, die in Messung 2 bestehen sollte, auf die Primingeffekte? In den Reaktionszeiten wurde in Messung 2 eine schnelle Saturierung des Primingeffektes für die Wiederholungen mit kurzem Lag beobachtet, die schon nach der zweiten Wiederholung einsetzte. Der Primingeffekt bestand im kurzen Lag schon von erster zu zweiter Darbietung, alle weiteren Wiederholungen brachten jedoch keine signifikante Verstärkung des Effektes. Diese Saturierung steht im Gegensatz zu Befunden, die stärkere Primingeffekte für bekannte als für unbekannte Gesichter zeigten (z.B. Henson et al., 2003). Diese Effekte wurden jedoch für persönlich bekannte oder berühmte Gesichter berichtet, bei deren Gedächtnisverarbeitung Primingeffekte auch auf der Aktivierung verbal vermittelter semantischer Informationen und auf Aktivierung der Face Recognition Units beruhen können. Die Studien unterscheiden sich von dem hier durchgeführten Experiment zusätzlich darin, daß die berühmten Gesichter nicht vorher in einer Messung desselben Primingparadigmas gesehen worden waren, wie es in der vorliegenden Arbeit geschah.

Ein Vergleich des hier bestehenden Saturierungseffektes mit dem Verlauf des Reaktionszeiteffektes der schon in vorhergehenden Abschnitten zitierten Studie von Hauptmann und Karni (2002) für die Wiederholung von Buchstabenfolgen liegt eher nahe. Dort wurde ebenfalls dasselbe Primingparadigma zweimal, allerdings innerhalb von 24 Stunden durchgeführt. Die Autoren fanden schon in der ersten Primingsitzung für Buchstabenfolgen nach sechsmaliger Wiederholung eine Saturierung des Primingeffektes und sahen ihn als Bedingung für die Herstellung einer Langzeitgedächtnisspur für die Stimuli an. In der vorliegenden Arbeit war diese Vertrautheit in Messung 1 wahrscheinlich noch nicht hergestellt worden, da dort der Primingeffekt in beiden Lags keine Anhaltspunkte für eine Saturierung zeigte und die Primingeffekte in EEG und MEG ebenfalls keine Anzeichen einer Saturierung zeigten.

Hauptmann und Karni (2002) beobachteten jedoch nicht nur in ihrem ersten Primingexperiment eine Saturierung, sondern diese war in der Wiederholung des Primingexperimentes noch deutlicher, und der Primingeffekt erreichte seine maximale Stärke schon nach der ersten Wiederholung. Dieses Ergebnis wurde in der vorliegenden Arbeit für die Wiederholungen mit kurzem Lag in Messung 2 ebenfalls gefunden. Möglicherweise hatten die Lernsitzungen einen ähnlichen Effekt auf das Priming in Messung 2 wie die Vertrautheit der Stimuli aufgrund der Primingdarbietungen bei Hauptmann und Karni (2002).

Es zeigten sich in der vorliegenden Arbeit nicht nur in Reaktionszeiten Anhaltspunkte für eine durch die Lernsitzungen erzeugte Vertrautheit mit den Stimuli in Messung 2, die unabhängig von einem kurzzeitigen Primingeffekt war, sondern auch in EEG und MEG. Diese Effekte werden in Kapitel 4.4.4 genauer diskutiert werden. An dieser Stelle soll jedoch erwähnt werden, daß die Latenz der Reaktionszeiten in Messung 2 sowohl in kurzem als auch in langem Lag auf demselben Niveau, auf dem sie bei den letzten Gesichterwiederholungen von Messung 1 lagen, lag und sich somit im Vergleich mit den Reaktionszeiten auf die *ersten* Gesichterdarbietungen in Messung 1 signifikant verkürzt hatte. Für die visuell vertrauten Stimuli zeigte sich nicht nur eine schnelle Saturierung des Primingeffektes im kurzen Lag, sondern die Stärke des

Primingeffektes war in Messung 2 damit auch signifikant geringer als in Messung 1. Diese Beobachtung war spezifisch für das kurze Lag, während der Primingeffekt im langen Lag in seiner Stärke sich nicht zwischen Messung 1 und 2 unterschied.

Fand die Saturierung des Primingeffektes im kurzen Lag ein Korrelat in der Saturierung in MEG und EEG? Die Frage muß für sowohl für das MEG als auch für das EEG mit nein beantwortet werden. Im MEG wurde in der Auswertung von Messung 2 erst ein Primingeffekt gefunden, der in Teilen ein Korrelat des Reaktionszeiteffektes sein konnte, auch wenn er sich mit der Latenz der Verhaltensreaktionen überlappte. Die Reaktionszeiten hatten in Messung 2 Latenzen von 619 ms bis 652 ms. Im MEG wurde ein Primingeffekt im Bereich von etwa 550 ms bis 800 ms gefunden, der einen deutlichen Trend zu einer Verstärkung über die Wiederholungen zeigte. Dieser Primingeffekt hatte eine um etwa 300 ms frühere Latenz als der Primingeffekt in Messung 1, der nur an der linken Hemisphäre bestanden hatte, hatte aber dieselbe Richtung wie in Messung 1. Es ist möglich, daß aufgrund der Vertrautheit der Gesichter der Primingeffekt in Messung 2 mit einer früheren Latenz begann, wie Henson et al. (2003) für den Wiederholungseffekt des EEG zeigten, aber es ist wahrscheinlicher, daß in Messung 2 ein Primingeffekt gefunden wurde, der in Messung 1 im MEG nicht gemessen worden war.

Der Primingeffekt des MEG fand eine Entsprechung im EEG. Dort konnte der Wiederholungseffekt aus Messung 1 an occipitotemporalen, frontozentralen und zentralen Elektroden repliziert werden. Dieser Effekt setzte erst ab der dritten Gesichterwiederholung ein und zeigte somit eine Verstärkung über die Wiederholungen. Der Effekt war für die unbekanntes Gesichter in Messung 1 als mögliches Korrelat von Gyrus fusiformis-Aktivierung interpretiert worden, die im Zusammenhang mit einem Erkennen der individuellen Gesichter stehen könnte. Im Bereich von 500 ms bis 700 ms schien dieser Primingeffekt vor allem an der occipitotemporalen, aber auch an frontozentraler und zentraler Elektrodengruppe in Messung 2 stärker als in Messung 1. Zusätzlich ergab sich ein Unterschied zum Wiederholungseffekt von Messung 1 im Auftreten des Wiederholungseffektes an parietalen Elektroden in Messung 2. Henson et al. (2003) fanden im EEG erst für bekannte Gesichter einen Effekt an parietalen Elektroden, so daß sich hier möglicherweise ebenfalls ein Effekt der Gesichtertrautheit auf Primingeffekte fand.

Eine Verstärkung des Primingeffektes im EEG in Messung 2 könnte auch erklären, warum in Messung 1 im MEG in diesem Zeitbereich kein Primingeffekt gefunden wurde, in Messung 2 dieser Effekt dagegen im Zeitbereich ab 500 ms zu beobachten war. Der Primingeffekt war im MEG eventuell in Messung 1 tatsächlich zu schwach, um gemessen werden zu können. Die Evidenz von MEG und EEG weist so insgesamt darauf hin, daß der Primingeffekt in Messung 2 stärker war als in Messung 1 und eine umgekehrte Tendenz zum Reaktionszeiteffekt zeigte. Hier würde sich auf neurophysiologischer Ebene eine Entsprechung zum Befund stärkerer Primingeffekte für bekannte als unbekannte Gesichter zeigen, die in occipitotemporalen Kortexarealen im fMRT gefunden wurde (Henson et al., 2000). Damit bilden Reaktionszeiten und elektrophysiologische Korrelate unterschiedliche Teilprozesse des Phänomens Priming ab. Die stärkeren Primingeffekte in EEG und MEG würden dann die Bildung und Aktivierung längerfristiger Gedächtnisrepräsentationen von Gesichtern im occipitotemporalen Kortex abbilden.

Dieser Einfluß der Gesichtervertrautheit wurde dennoch nur für die zeitnahe Wiederholung der Stimuli im kurzen Lag gefunden und erzeugte keine Primingeffekte im langen Lag. Ein Einfluß des Zeitabstandes zwischen Wiederholungen wurde im EEG auch für den Primingeffekt für berühmte Gesichter auf der N250r-Komponente, der als Korrelat der Aktivierung von Face Recognition Units für berühmte Gesichter angenommen wurde (z. B. Herzmann et al., 2004), gezeigt (Schweinberger et al., 2002a). Solche Effekte stellen Phänomene der Interaktion von längerfristiger Bekanntheit mit kurzfristiger Aktivierung durch Wiederholungen dar.

Beim Versuch der Herstellung eines Zusammenhanges zwischen den Primingeffekten in den unterschiedlichen Meßparametern darf nicht vergessen werden, daß alle Korrelate neuronaler Aktivität, die in MEG und EEG und letztendlich auch in Reaktionszeiten gemessen werden, sehr indirekte Korrelate dieser Aktivität sind, und ihre Ergebnisse durch viele unbekannte oder schwer erschließbare Einflußfaktoren wie die Anzahl und Lage der neuronalen Generatoren und die Richtungen der Aktivierungsveränderungen, aber auch durch Meßartefakte beeinflusst werden können. Um ein Beispiel für die schwierige Vergleichbarkeit verschiedener Primingparameter aus der Literatur zu nennen, soll die schon mehrmals zitierte, umfassende Messung von Priming- und Bekanntheitseffekten bei Gesichterverarbeitung, die Henson et al. (2003) mit der Messung von EEG, Reaktionszeiten und fMRT durchführten, angeführt werden. In dieser Studie wurde für die Wiederholung unbekannter Gesichter ein Primingeffekt in Reaktionszeiten und ein Wiederholungseffekt im EEG gefunden, aber es konnte im fMRT trotz der hohen räumlichen Auflösung des Meßverfahrens kein Primingeffekt für unbekannte Gesichter gefunden werden.

Für die Wiederholungen mit kurzem Lag konnte auch in Messung 2 der späte Primingeffekt an frontalen Elektroden gemessen werden, der in Messung 1 als Korrelat des bewußten Wiedererkennens der Gesichterverholungen interpretiert wurde. Dieser Effekt zeigte in der Ansicht der ERP-Kurven in Messung 2 eine Verstärkung im Vergleich zu Messung 1 und eine stärkere Lateralisierung zur rechten Hemisphäre. Eine Verstärkung des Effektes konnte statistisch aber nicht gezeigt werden. Auch in Messung 2 besaßen die Versuchspersonen keine verbalen semantischen Informationen über die Gesichter, so daß im Vergleich mit der schon in Kapitel 4.4.2 genannten Literatur zu Wiederholungseffekten an frontalen Elektroden ein Korrelat dieses Effektes am ehesten im inzidentellen Erkennen der Gesichterverholungen oder der Verarbeitung visuell extrahierbarer semantischer Information zu sehen sein könnte.

Für das lange Lag ergaben sich im MEG in Messung 2 trotz des Reaktionszeitprimings in keinem der beiden Zeitbereiche (M200 und 300 ms bis 500 ms), in denen sich in Messung 1 Primingeffekte ergeben hatten, Wiederholungseffekte. Im EEG war dagegen der schon aus Messung 1 bekannte Primingeffekt auf der P2-Komponente zu beobachten, der in derselben Richtung wie in Messung 1 bestand und sich in seiner Stärke nicht von dem Effekt in Messung 1 unterschied. Interessanterweise ergab sich hier ein ähnlicher Verlauf des elektrophysiologischen Primingeffektes im Vergleich mit dem Reaktionszeiteffekt. Während der Reaktionszeiteffekt sich im Vergleich von Präsentation eins zu drei in beiden Parametern (Reaktionszeiten und P2) am deutlichsten zeigte, ergaben sich in beiden Parametern keine Unterschiede zwischen erster und vierter Darbietung. Diese Ähnlichkeit macht einen Beitrag des P2-Effektes zum Primingeffekt in Reaktionszeiten für das lange Lag nicht unplausibel. Dies würde auch unterstreichen, daß der Primingeffekt

in Reaktionszeiten im langen Lag wahrscheinlich kein perzeptueller und gesichterspezifischer Primingeffekt war, der nur schwächer als im kurzen Lag ausgeprägt war, sondern eher, daß dieser Effekt durch den langen zeitlichen Abstand und die Art der experimentellen Gesichterpräsentationen (siehe die ausführliche Diskussion des Effektes in Kapitel 4.4.2) entstanden war. Im EEG fand sich in Messung 2 im Gegensatz zu Messung 1 ein Wiederholungseffekt im langen Lag an parietozentralen Elektroden, der in einem Zeitbereich von 400 ms bis 700 ms lag, aber in anderer Richtung bestand als der Effekt im kurzen Lag. Die funktionale Bedeutung dieses Effektes für das lange Lag, der so selektiv nur an einer Elektrodengruppe bestand, und zudem in einem Zeitbereich begann, in dem sich im EEG im kurzen Lag an der Elektroden noch kein Primingeffekt zeigte, ist schwer zu erschließen.

Es war so auch in Messung 2 trotz Anzeichen, daß die Lernsituationen eine Vertrautheit der Gesichter nicht nur für die Wiederholungen mit kurzen Lag, sondern auch für die mit langen Lag wiederholten Gesichter erzeugt hatte, nicht möglich, Primingmechanismen im langen Lag zu finden, die eine qualitative Ähnlichkeit mit den Prozessen im kurzen Lag aufwiesen oder eine eindeutige funktionale Interpretation nahe legten. Wahrscheinlich war auch in Messung 2 das Lag von 3 Minuten zu lang, um einen klaren, messbaren Primingeffekt zu generieren.

4.4.4 Effekte der Vertrautheit von Gesichtern auf die Meßparameter

Unabhängig von den Unterschieden in Primingeffekten für die vertrauten Gesichter in Messung 2 wurden auch Anhaltspunkte für eine generell veränderte Verarbeitung der Gesichter in Messung 2, die im Sinne eines Bekanntheitseffektes bestand, gefunden. Diese Effekte bestanden in Reaktionszeiten in einer generellen Verkürzung der Reaktionszeiten im Vergleich zu Messung 1. Diese Verkürzung bestand trotz unterschiedlicher Stärke der Primingeffekte in beiden Lags in derselben Weise für kurzes und langes Lag und weist damit daraufhin, daß dieser Effekt unabhängig von den Primingprozessen in Messung 1 war. Die Verkürzung der Reaktionszeiten zeigte sich im Vergleich der jeweils ersten Präsentationen von Messung 1 und 2.

Ein weiterer Hinweis auf einen Erwerb der Vertrautheit für die Gesichterstimuli zeigte sich im Vergleich der Fehler von Messung 1 und 2. Die Fehlerzahl hatte sich für kurzes und langes Lag von Messung 1 zu 2 halbiert. In Kapitel 4.1.3 wurde bereits diskutiert, daß dieser Unterschied auch durch eine Unterscheidung der Gesichter aufgrund ihrer Wiederholungshäufigkeit in den Lernsituationen sein könnte. Diese Möglichkeit wurde allerdings eher als unwahrscheinlich angesehen, da eine Entscheidung Erwachsenen- / Kindergesicht aufgrund der Wiederholungshäufigkeit für 380 Gesichter subjektiv schwieriger erscheint als eine Stimulusentscheidung aufgrund perzeptueller Verarbeitung. Hier hätte jedoch im experimentellen Design der Lernsituationen die Konfundierung von Kategorie und Präsentationshäufigkeit ausgeschlossen werden müssen, um eine genaue Aussage treffen zu können. Wenn die Halbierung der Fehler wirklich als Ausdruck der Vertrautheit mit den Gesichtern angesehen werden konnte, dann würde dies heißen, daß die vertrauten Gesichter anders enkodiert wurden als die unbekanntes Gesichter.

Ein Hinweis auf eine möglicherweise veränderte Enkodierung der Gesichter in Messung 2 zeigte sich in Trends zur Veränderung der N / M170-Amplitude. Im MEG wurde eine generelle Verringerung der M170-Amplitude zwischen Messung 1 und 2 an der linken Hemisphäre gefunden. Im EEG wurde an temporalen und occipitotemporalen Elektroden ein Hinweis auf eine Vergrößerung der N170-Amplitude in Messung 2 gefunden, allerdings zeigten sich hier keine über mehrere Tests konsistenten Anzeichen dafür. Die N / M170 wird in der Literatur vor allem mit der strukturellen Enkodierung von Gesichtern in Verbindung gebracht (z.B. Halgren et al., 2000). Eine Beeinflussung dieser Stufe durch die Bekanntheit der Gesichter unabhängig von ihrer kurzfristigen Wiederholung wurde jedoch bislang in keiner Studie gezeigt. Weitere Hinweise auf die Veränderung der N / M170 zwischen Messung 1 und 2 wird jedoch die Untersuchung der Quellstärken beider Komponenten, in die die Daten aller Messkanäle eingehen, in der vorliegenden Arbeit erbringen (siehe Kapitel 4.5.5).

Die Vertrautheit mit den Gesichterstimuli erzeugte im MEG in der rechten Hemisphäre trotz der Tatsache, dass dort die Primingeffekte durchweg schwächer gewesen waren als in der linken Hemisphäre, einen Unterschied in der Quellstärke im Sinne einer stärkeren Positivierung in Messung 2 als in Messung 1 bei 700 ms bis 800 ms. Dieser Unterschied wurde nicht nur für Darbietungen mit kurzem Lag, sondern im Trend auch für die Darbietungen mit langem Lag gefunden. Dieser Unterschied würde dann ein Korrelat längerfristiger Vertrautheit mit Gesichtern sein, die zumindest über einen Zeitabstand von mehreren Stunden – von letzter Gesichterpräsentation in den Lernsituationen zum Primingexperiment – gemessen wurde. Die rechtshemisphärische Lateralisierung des Effektes und seine Lage an occipitotemporalen MEG-Sensoren ist mit den Ergebnissen aus fMRT-Studien vereinbar, in denen Effekte der Bekanntheit von Gesichtern im occipitotemporalen Kortex im fMRT ebenfalls überwiegend an der rechten Hemisphäre gefunden (Henson et al., 2000 und 2003) und würde dafür sprechen, daß diese Effekte im fMRT zeitlich späte Verarbeitungsstufen abbilden.

Im EEG wurden in der vorliegenden Arbeit an occipitotemporalen Elektroden in keinem Zeitbereich eindeutige Bekanntheitseffekte gefunden. Damit fand die vorliegende Arbeit keinen dem bei Paller et al. (2000) an posterioren Elektroden im Bereich von 300 ms bis 600 ms gefundenen analogen Effekt rein visueller Vertrautheit mit Gesichtern. Paller et al. (2000) fanden den Effekt jedoch in einer bewussten Wiedererkennungsaufgabe und nicht in einer Primingaufgabe. Sie fanden einen Unterschied zwischen der Verarbeitung bekannter und unbekannter Gesichter im selben Zeitbereich auch an parietalen Elektroden. In der vorliegenden Arbeit wurden an parietalen Elektroden und an frontozentralen Elektroden Trends zu einer größeren Positivierung in Messung 2 als in Messung 1 gefunden, die aber nur im Bereich von 300 ms bis 400 ms bestanden. Eimer (2000) beobachtete ebenfalls im Bereich von 300 ms bis 400 ms eine stärkere Positivierung für bekannte (allerdings berühmte) Gesichter an parietalen und an zentralen Elektroden. Die Effekte der Bekanntheit im EEG sind allerdings zu schwach, um eine klare Aussage über das Vorliegen von Bekanntheitseffekten im ERP treffen zu können.

4.5 Dipollokalisierungen von N170 und M170

Im Kapitel 4.5 werden die Ergebnisse der Dipollokalisierungen von N170 und M170 dargestellt. Die Dipollokalisierungen wurden separat für M170 und N170 und die Daten von Messung 1 und 2 durchgeführt. Die Lokalisierungen wurden für 12 Personen auf den MEG-Daten von Messung 1 und für 10 Personen auf den MEG-Daten von Messung 2 berechnet. Für die EEG-Daten von Messung 1 wurden die Lokalisierungen bei 11 Personen und für Messung 2 bei 10 Personen durchgeführt. Alle in den Kapiteln 4.5.1 bis 4.5.5 dargestellten Lokalisierungsergebnisse beziehen sich auf die MEG- und EEG-Daten von Messung 1 und wurden für die Ganzkopf-MEG-Daten (93 Kanäle) nach Artefaktbereinigung mittels Independent Component Analysis (ICA) und die Ganzkopf-EEG-Daten ohne ICA-Korrektur berechnet. Zunächst werden die Latenzen und Amplituden von N170 und M170 dargestellt (Kapitel 4.5.1). Im Anschluß daran werden die Ergebnisse zum Goodness of Fit-Wert der Lokalisierungsergebnisse in Kapitel 4.5.2 vorgestellt. Die Ergebnisse der Dipollokalisierungen werden in Kapitel 4.5.3 für alle Einzelpersonen im Hinblick auf die neuroanatomischen Orte von N / M170 dargestellt. Daran anschließend finden sich die Ergebnisse der Bildung von Gruppenmittelwerten der Dipolorte und des statistischen Vergleichs der Orte von N170 und M170 in Kapitel 4.5.4. In Kapitel 4.5.5 werden die Quellkurven von N170 und M170 im Hinblick auf ihre Latenzen und Amplituden untersucht.

Die Kapitel 4.5.6 bis 4.5.9 zeigen die Vergleiche der Lokalisierungsergebnisse von MEG und EEG zwischen Messung 1 und 2 und zwischen Lokalisierungen für fokale Sensorauswahlen, sowie die Untersuchung von Effekten der ICA-Artefaktkorrektur auf MEG-Lokalisierungen. Diese Kapitel betreffen die Beantwortung methodischer Fragen zu einer Dipollokalisierung, die in Kapitel 2.3 gestellt wurden. Im Anschluß an die Darstellung aller Lokalisierungsergebnisse von N170 und M170 werden in Kapitel 4.5.10 die Ergebnisse im Hinblick auf die Beantwortung der in Kapitel 2.3 gestellten Fragen zur Dipollokalisierung zusammengefasst.

Für die vorliegende Arbeit wurden für jede Person insgesamt vier verschiedene Lokalisierungen der M170 auf unterschiedlichen MEG-Datensätzen und zwei N170-Lokalisierungen auf verschiedenen EEG-Datensätzen durchgeführt. Auf eine Darstellung der Einzelpersonenergebnisse aller dieser Lokalisierungen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. So werden mit Ausnahme der in Kapitel 4.5.3 dargestellten Einzelergebnisse die anderen für diese Arbeit durchgeführten Dipollokalisierungen von N170 und M170 überwiegend anhand der Resultate für die Gesamtgruppe der Versuchspersonen dargestellt. Hierbei wird jeweils angegeben, auf welchem MEG- oder EEG-Datensatz die Lokalisierungsergebnisse beruhen. Lokalisierungen von Einzelpersonen werden dann nur noch berichtet, wenn sie für die Klärung bestimmter Fragestellungen der vorliegenden Arbeit besonders relevant erscheinen. In den Ergebnisdarstellungen werden Mittelwerte mit plus / minus (\pm) einer Standardabweichung berichtet. Die statistischen Vergleiche zwischen Dipolorten und Goodness of Fit-Werten wurden in Form von Wilcoxon-Tests mit Rangbindung durchgeführt und werden in ihren Ergebnissen mit dem Wilcoxon-Z-Wert (Z) und dem exakten empirischen

Signifikanzniveau p aufgeführt. Die Ortskoordinaten der Dipole werden in Talairachkoordinaten in mm angegeben.

4.5.1 Latenzen und Amplituden von N170 und M170

Die Latenzen der N170 wurden für die linke Hemisphäre an Elektrode PO9 und für die rechte Hemisphäre an PO10 bestimmt. Die mittleren Latenzen der N170 waren 158 ± 11 ms für PO10 und 158 ± 12 ms für PO9. Die mittleren Amplituden waren -7.05 ± 3.66 μ V für PO10 und -6.34 ± 3.2 μ V für PO9. Latenzen und Amplituden der N170 zeigten keine signifikanten hemisphärischen Unterschiede [Latenz: Wilcoxon $Z = -0.25$, $p = .80$; Amplitude: $Z = -0.62$, $p = .533$].

Für die Bestimmung der M170-Latenzen und -Amplituden wurde für jede Person der MEG-Sensor mit dem größten Signal zum Zeitpunkt der maximalen Feldstärke der M170 in rechter und linker Hemisphäre ausgewählt. Die mittlere Latenz der M170 lag bei 158 ± 16 ms in der rechten Hemisphäre und bei 158 ± 15 ms in der linken Hemisphäre. Die mittlere Amplitude der linken M170 betrug -183.06 ± 45.25 femtoTesla (fT), die Amplitude der rechten M170 lag bei -164.61 ± 81.07 fT. M170-Latenzen und -Amplituden zeigten keine signifikanten Hemisphärenunterschiede [Latenz: $Z = 0.000$, $p = 1.0$; Amplitude: $Z = -1.25$, $p = .233$]. Für den Vergleich von N170- mit M170-Latenzen ergaben sich ebenfalls keine Unterschiede an rechter [$Z = -0.14$, $p = .922$] oder linker [$Z = -0.51$, $p = 1.0$] Hemisphäre.

Insgesamt zeigen sich in den Zeitkurven von ereigniskorrelierten Potentialen und Feldern keine Lateralisierungstendenzen von N170- oder M170-Peakstärke und Peaklatenz und auch keine Unterschiede zwischen den Latenzen von N170 und M170. Abbildung 5.26 zeigt links die Zeitkurven der N170 an PO9 und PO10. Die schmalen Linien repräsentieren die Zeitkurven der Einzelpersonen, die breiten Linien das jeweilige Gruppenmittel. Rechts in Abbildung 5.26 sind die Zeitkurven der M170 für linke und rechte Hemisphäre dargestellt. Hier wird der jeweilige Messkanal mit dem größten Signal in linker und rechter Hemisphäre dargestellt. Im Vergleich von beiden Abbildungen ist die stärkere Varianz der Einzelpersonendaten im MEG verglichen mit dem EEG zu erkennen, die Ausdruck der fokaleren Meßeigenschaften des MEG ist. Im MEG scheint visuell ein Unterschied zwischen der Latenz an linker und rechter Hemisphäre zu bestehen. Dieser Unterschied bestand jedoch nicht in der Testung der Latenzwerte. Er wurde in der Abbildung vor allem aufgrund der Bildung eines Mittelwertes über alle Zeitkurven der Einzelpersonen erzeugt, während die statistische Testung für die Latenzen jeder Einzelperson durchgeführt wurde.

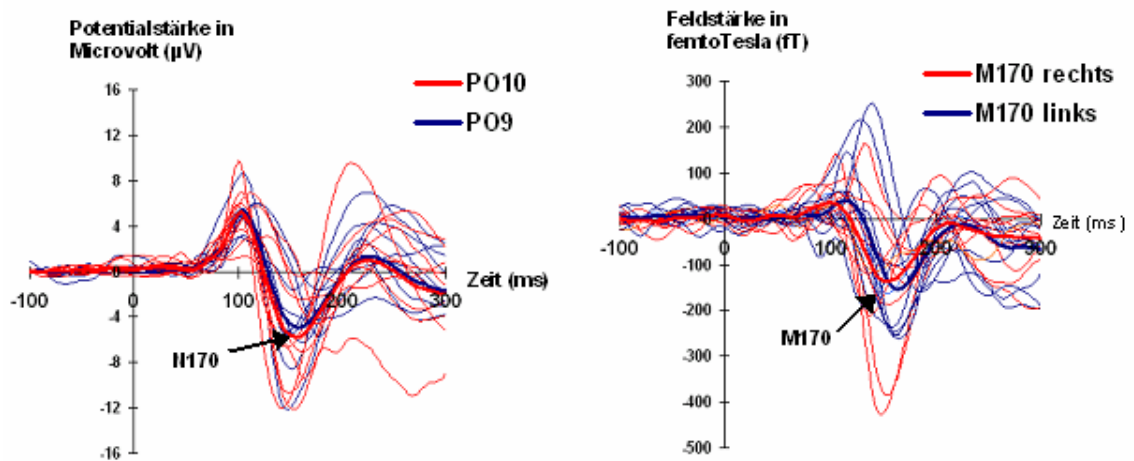


Abbildung 4.26: Zeitkurven der ereigniskorrelierten Potentiale und Felder für Einzelpersonen und Gruppenmittel.

4.5.2 Goodness of Fit der Dipollokalisierungen von N170 und M170

Der Goodness of Fit (GOF)-Wert gibt den Anteil der durch die lokalisierten Dipolorte erklärten Datenvarianz an der Gesamtvarianz der Daten in Prozent an und ist ein Maß für die Passung der gefundenen Dipollösung an die Daten. Der GOF wurde am Peak der globalen Feldstärke (Global Field Power, GFP) der M / N170 bestimmt. Die globale Feldstärke ist die Quadratsumme der MEG- oder EEG-Aktivität über alle Meßkanäle.

Für 10 der 11 Versuchspersonen hatte die für die Daten von Messung 1 gefundene N170-Lösung mit zwei symmetrischen Dipolen mindestens einen Goodness of Fit von 84%, für das Lokalisationsergebnis einer Person lag der GOF-Wert der N170 nur bei 67%. Der Gruppenmittelwert des GOF betrug $92 \pm 10\%$ [Range: 67% bis 99%]. Die Dipollösung der M170 mit allen 93-MEG-Kanälen hatte für 10 Personen einen Goodness of Fit von mindestens 79%. Für zwei Personen betragen die GOF-Werte lediglich 70% beziehungsweise 75%. Der mittlere GOF-Wert der M170-Lokalisierungen lag bei $84 \pm 7\%$ [Range: 79% bis 92%]. Der Wilcoxonstest zeigte einen signifikant höheren GOF-Wert der N170-Lokalisierungen [$Z = -2.54$, $p = .011$].

Der Unterschied zwischen den GOF-Werten von MEG und EEG kann zwei Ursachen haben. Das MEG misst Aktivierung fokaler als das EEG. So wird bei theoretisch gleich guter Dipollösung für beide Meßmethoden eine Dipollösung im EEG mehr Varianz über alle EEG-Kanäle am gesamten Kopf erklären als eine Dipollösung im MEG. Eine andere Interpretationsmöglichkeit des Unterschiedes in den GOF-Werten ist, daß die für die M170 gefundenen Dipollösungen die M170 schlechter modellieren als die N170-Dipollösungen die N170. Die Gründe des höheren GOF-Wertes für EEG als für MEG wurden anhand einer späteren Lokalisation, deren Ergebnisse in Kapitel 4.5.9 dargestellt werden, genauer untersucht. Bis dahin wird die Beantwortung der Frage nach den Gründen des Unterschiedes zwischen den GOF-Werten von MEG und EEG zurückgestellt. Es kann jedoch auch hier schon festgestellt werden, daß – obwohl niedriger als im EEG

– der GOF-Wert der M170-Lokalisierungen mit einem Wert von im Mittel 84% im Vergleich mit Werten aus der Literatur (z.B. 88% bei Halgren et al., 2000 für Gesichteraktivität um 165 ms mit einer Auswahl hinterer Sensoren) als völlig zufriedenstellend angesehen werden kann.

4.5.3 Dipolorte von M170 und N170 für die Einzelpersonen

Im folgenden werden die Ergebnisse der Dipollokalisierungen von M170 und N170 für die Einzelpersonen dargestellt. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die 93-Kanal-MEG-Daten von Messung 1, die mittels ICA-Artefaktkorrektur vor allem von Herzartefakten bereinigt wurden, und auf die 27-Kanal-EEG-Daten von Messung 1. Die genauen Daten der Lokalisationsergebnisse der Einzelpersonen sind in Tabelle 13 gezeigt. In der Tabelle sind für jede Person die rechts- und linkshemisphärischen Latenzen von N170 und M170, die Orte der Dipole in Talairachkoordinaten, die Orientierungen der Dipole sowie die neuronanatomischen Orte der Dipole, die anhand der MRT-Aufnahmen bestimmt wurden, aufgeführt. Da die Lokalisierungen mit Symmetriebeschränkung durchgeführt wurden, liegen die Dipolorte in den gleichen Hirnarealen beider Hemisphären, und die neuroanatomischen Orte werden aus diesem Grund für jede Person und Komponente nur einmal genannt. Visuell werden die Lokalisationsergebnisse für alle Einzelpersonen in den Abbildungen 4.27 bis 4.33 gezeigt.

In der ersten Reihe zeigen die Abbildungen jeweils die N170- und M170-Feldmuster in einer zweidimensionalen Kopfansicht von oben. Die Stärke der Feldmuster ist anhand von Höhenlinien dargestellt. Die Feldkarten sind durch eine Auffaltung der dreidimensionalen MEG- und EEG-Kopfansichten in eine planare Ebene entstanden. Die Punkte in den N170-Kopfansichten zeigen die Positionen der EEG-Elektroden am Kopf, die Kreuze in den M170-Feldkarten zeigen die Lage der MEG-Sensoren. In den Ansichten von N170 und M170 ist die fokalere Messfähigkeit des MEG im Vergleich zum EEG gut zu erkennen. Während die Feldmuster der N170 an der ganzen Kopfoberfläche, vor allem auch zentrofrontal, zu erkennen sind, zeigen sich die Feldmuster der M170 an wenigen Sensoren sehr deutlich und nehmen mit der Entfernung von den Sensoren, die das maximale Messsignal anzeigen, schnell in ihrer Stärke ab.

Neben den Kopfansichten befinden sich die entsprechenden Zeitkurven der Globalen Feldstärke (GFP) und des Goodness of Fit (GOF) für die N170- und M170-Dipollösungen. Der Zeitbereich, für den die Dipollokalisierungen durchgeführt wurden, ist in der Zeitkurvendarstellung von GOF und GFP als senkrechter grauer Balken dargestellt. Die Höhe des GOF-Wertes im Zeitbereich der Lokalisation ist ein Hinweis auf die Passung der gefundenen Dipollösung an die Daten. Unter den Kopfansichten sind die Orte der Dipole im Vergleich von N170 und M170 in den individuellen MRT-Aufnahmen zu sehen.

Für die Personen 5 und 10, für die keine individuellen MRT-Aufnahmen vorlagen, wurden die Dipolorte in ein Standardgehirn projiziert. Die Mittelpunkte der Dipolaktivität sind in allen MRT-Bildern als Kreise (weiß für die M170, schwarz für die N170) dargestellt. Die an die Kreise anschließenden Linien zeigen die Richtung des dipolaren Stromflusses an. Zur Vermittlung eines dreidimensionalen Eindruckes der Dipolorte

wird die Lage der Dipole in zwei verschiedenen Schichtansichten des MRT – coronarer (COR) und transversaler (TRA) Ansicht – mit Angabe der Schichtkoordinate gezeigt. Zwischen den beiden MRT-Ansichten sind die genauen Talairachkoordinaten der Dipolorte aufgeführt.

Für fünf Personen (# 4, 5, 9, 10 und 11) wurden sowohl N170 als auch M170 im rechten und linken Gyrus fusiformis lokalisiert. Die Dipole lagen überwiegend im mittleren und posterioren Gyri fusiformis zwischen den Talairach-Koordinaten $y = -51$ mm und -68 mm in der anterior – posterior-Dimension. Nur bei Person 4 war die N170 im anterioren Teil des Gyri fusiformis bei $y = -37$ mm lokalisiert.

Bei drei Personen (# 1, 6 und 8) lag nur die dipolare Quelle der N170 in den Gyri fusiformes, auch hier meistens im posterioren Teil (zwischen $y = -62$ mm und $y = -68$ mm). Die Quellen der M170 lagen in folgenden Strukturen des temporalen und occipitalen Kortex: Gyri linguales inferiori (# 1), Gyri occipitales inferiori (# 6) und auf der Grenze zwischen Gyri fusiformes und Gyri linguales inferiori am Sulcus occipitotemporalis medialis (# 8). Für Person 7, bei der nur ein MEG gemessen wurde, lag der Ort der M170 an der Grenze zwischen anterioren Gyri fusiformes und Gyri linguales inferiori. Bei zwei weiteren Personen (# 3 und 12) lagen nur die dipolaren Quellen der M170 in den Gyri fusiformes (bei $y = -55$ mm und $y = -67$ mm). Die Quellen der N170 wurden in den Gyri temporales medii (# 3) und in der weißen Substanz nahe den Gyri temporales medii (# 12) lokalisiert. Lediglich bei einer Person (# 2) lagen weder N170 noch M170 in den Gyri fusiformes, sondern wurden in den Gyri occipitales inferiori (N170) und superiori (M170) lokalisiert.

Tabelle 13. Ergebnisse der Dipollokalisierungen von N170 und M170 für Messung 1.

VP	N170 / M170	H	Peak-latenz	Fit-intervall	Gof	Dipolkoordinaten	Dipolorientierung	Ort im MRT
1	N170	L	156	136-172	97	±34.5,-62.1,-16.9	0.7,0.5,0.4	G. fusiformes
		R	164				0.9,-0.3,-0.3	
	M170	L	164	144-192	92	±12.4,-70,-14.6	-0.4,-0.1,0.9	G.linguales inf.
		R	164				0.5,0.4,-0.8	
2	N170	L	144	128-160	95	±36.7,-72.1,-24.6	0.8,0.6,0.2	G. occipitales inf.
		R	152				-0.9,0.3,0.4	
	M170	L	148	132-168	90	±44.3,-77.4,-0.4	-0.5,0.5,-0.7	G. occipitales sup.
		R	148				-0.3,-0.3,0.9	
3	N170	L	180	164-188	92	±46.8,-55.7,-16.0	0.7,0.1,0.7	G. temporales medii
		R	180				-0.7,0.7,0.1	
	M170	L	184	176-204	87	±39a.4,-55.2,-34.1	-0.7,0.7,0.3	G. fusiformes
		R	188				-0.4,-0.9,0.3	
4	N170	L	172	168-188	97	±29.6,-68.5,-20.6	-0.8,0.4,-0.5	G. fusiformes
		R	176				-0.7, 0.6, 0.2	
	M170	L	184	172-184	87	±28.2,-37.0,-20.1	0.2,-0.7,0.6	G. fusiformes
		R	184				-0.3,0.9,0.3	
5	N170	L	148	136-168	98	±29.7,-67.8,-11.9	-0.8,-0.1,-0.6	G. fusiformes
		R	148				0.8,-0.6,0.2	
	M170	L	152	136-180	75	±38.9,-59.7,-17.4	-0.1,-0.2,1.0	G. fusiformes
		R	148				0.5,0.1,0.9	
6	N170	L	148	132-168	98	±36.2,-46.4,-22.7	-0.6,-0.8,-0.2	G. fusiformes
		R	152				-0.9,0.4,0.0	
	M170	L	160	148-180	85	±29.4,-86.0,-25.1	-0.7,0.6,-0.5	G. occipitales inf.
		R	164				-0.4,0.1,-0.9	
7	N170					keine Messung		
	M170	L	128	112-144	92	±14.4,-76.5,-27.5	0.5,0.2,-0.8	G. fusiformes / ling. inf.
		R	132				-0.1,0.4,-0.9	
8	N170	L	168	132-176	67	±36.5,-68.4,-13.9	-0.2,0.1,1.0	G. fusiformes
		R	160				0.3,-0.9,-0.3	
	M170	L	140	128-176	70	±23.4,-67.2,1.0	-0.8,0.5,0.4	S.occipitotemp. mediali
		R	152				-0.1,0.0,-1.0	
9	N170	L	168	136-192	88	±42.5,-68.5,-11.7	-0.9,-0.3,-0.4	G. fusiformes
		R	148				0.7,-0.6,-0.4	
	M170	L	164	136-188	82	±38.7,-58.7,0.1	-0.6,0.8,-0.1	G. fusiformes
		R	152				0.1,0.1,-1.0	
10	N170	L	148	136-176	99	±36.7,-50.8,-17.1	0.5,0.8,0.4	G. fusiformes
		R	148				-0.7,0.7,0.3	
	M170	L	148	136-184	89	±36.6,-59.4,-9.5	-0.3,0.1,0.9	G. fusiformes
		R	152				0.4,-0.3,-0.9	
11	N170	L	160	140-176	84	±29.6,-36.6,-22.3	0.5,-0.2,0.8	G. fusiformes
		R	152				0.6,-0.7,-0.4	
	M170	L	160	144-180	90	±20.7,-51.3,-22.7	-0.2,0.7,-0.7	G. fusiformes
		R	152				-0.4,0.7,-0.6	
12	N170	L	152	140-168	95	±39.5,-30.3,-1.7	-0.3,-0.9,-0.2	G. temporales medii
		R	160				-0.6,0.8,0.4	
	M170	L	168	152-184	80	±21.3,-67.9,-22.2	0.8,-0.1,0.5	G. fusiformes
		R	156				0.9,0.4,0.2	

Anmerkungen zu Tabelle 13: VP: Versuchsperson; H.: Hemisphäre; L: links, R: rechts; Gof in %; Dipolkoordinaten in Talairachstandardisierung; G: Gyri, inf.: inferiori, sup.: superiori, S.: Sulci

Die Reihenfolge der nun folgenden visuellen Darstellung der Einzelergebnisse stimmt mit der schriftlichen Ergebnisdarstellung überein: die Abbildungen 4.27 bis 4.29 zeigen die Fälle, in denen sowohl N170 als auch M170 im Gyrus fusiformis lokalisiert wurden. Die Abbildungen 4.30 und 4.31 zeigen die Lokalisierungsergebnisse für die Personen, für die die Dipolorte der N170 im Gyrus fusiformis, die der M170 dagegen in anderen Strukturen lokalisiert wurden. Abbildung 4.32 zeigt die Ergebnisse für Personen, bei denen nur die M170 und nicht die N170 im Gyrus fusiformis lokalisiert wurde, und Abbildung 4.33 zeigt das Lokalisierungsergebnis von Person 2, bei der als einziger Person M170 und N170 in einem anderen Hirnareal als dem Gyrus fusiformis lagen. Gezeigt werden zunächst N170 und M170-Feldmuster (Kontourschritt im EEG 2 μ V, im MEG 20 fT). Rechts neben den Feldmustern der Zeitverlauf des Goodness of Fit (GOF) allen und Global Field Power (GFP) von 0 bis 300 ms nach Stimulusbeginn. Unten die Dipolorte in der MRT-Aufnahme des Gehirns mit Talairachkoordinaten und anatomischen Strukturen der Dipolorte. L ist links, R ist rechts.

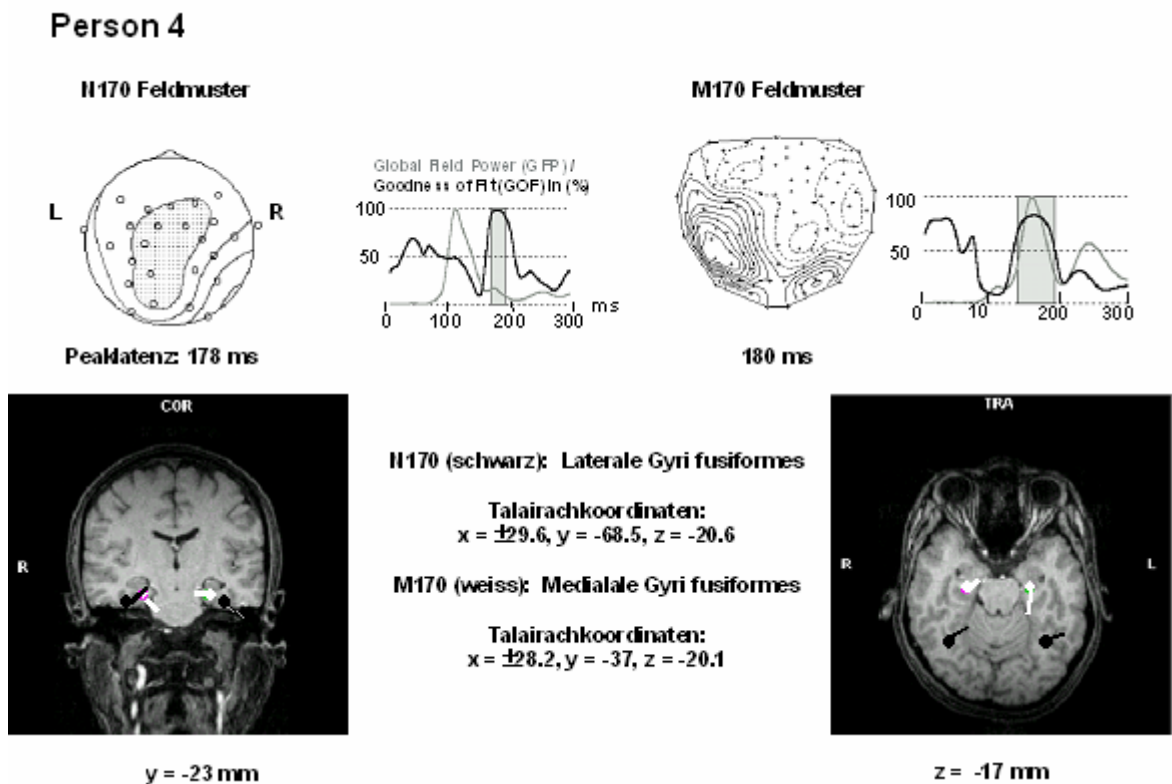
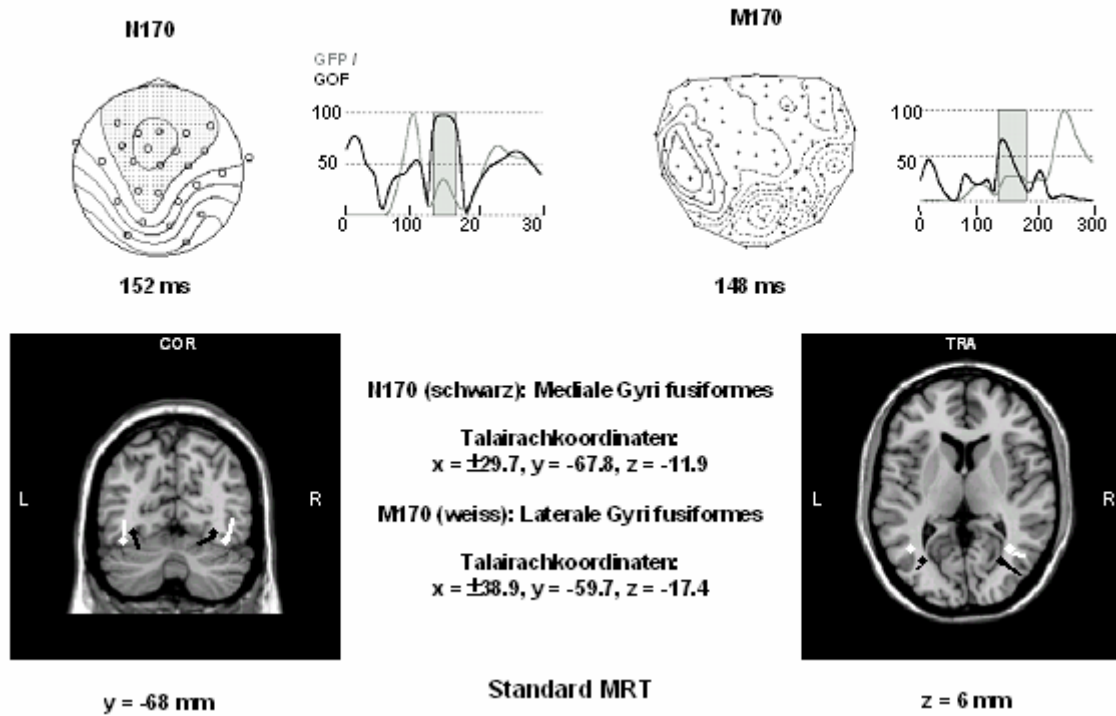


Abbildung 4.27: Lokalisierungsergebnisse für die Person 4, bei der N170 und M170 in den Gyri fusiformes lokalisiert wurden.

Person 5



Person 9

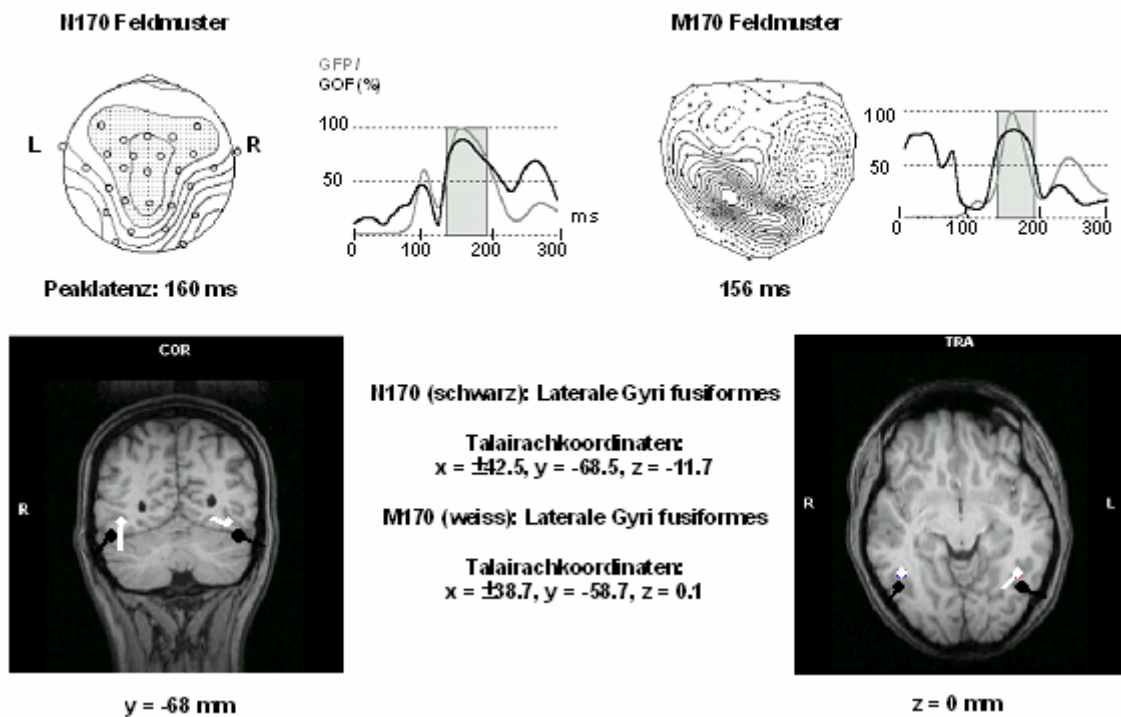


Abbildung 4.28: Personen 5 und 9, bei denen N170 und M170 in den Gyri fusiformes lokalisiert wurden.

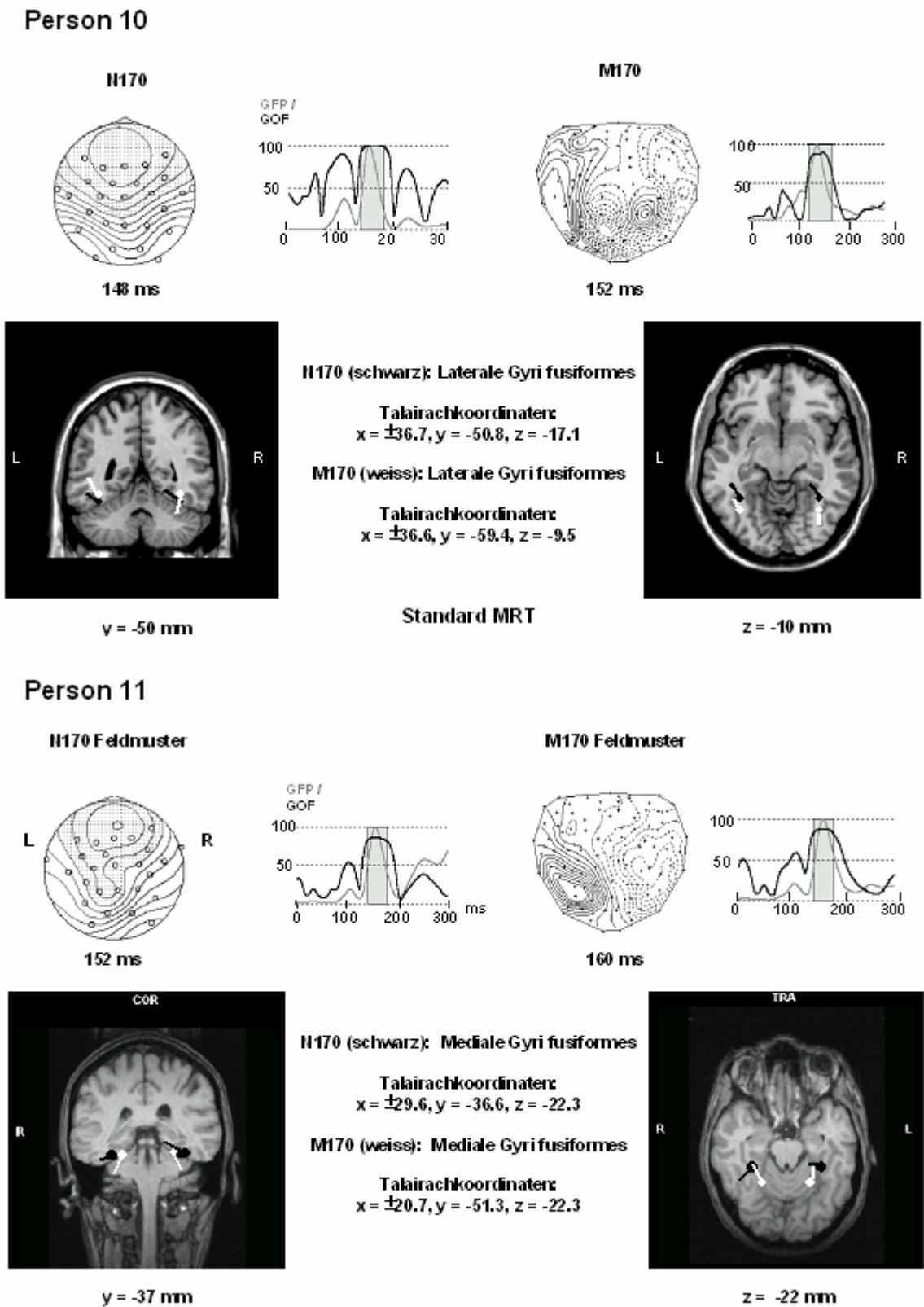
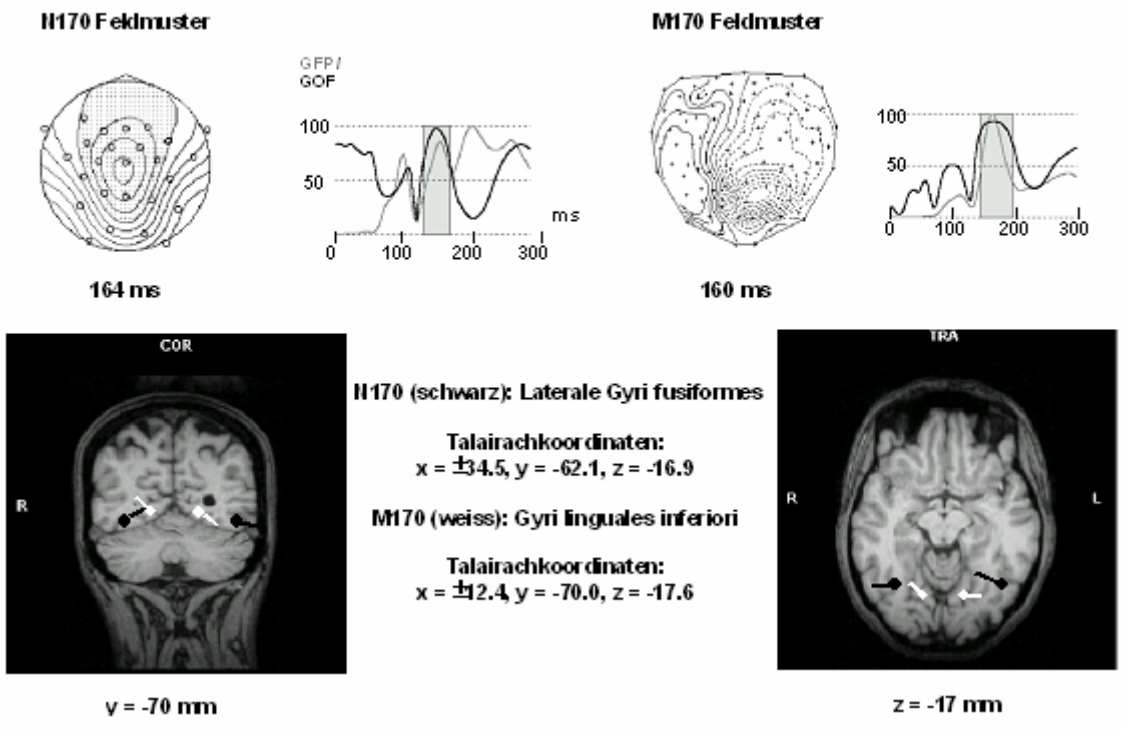


Abbildung 4.29: Personen 10 und 11, bei denen N170 und M170 in den Gyri fusiformes lokalisiert wurden.

Person 1



Person 6

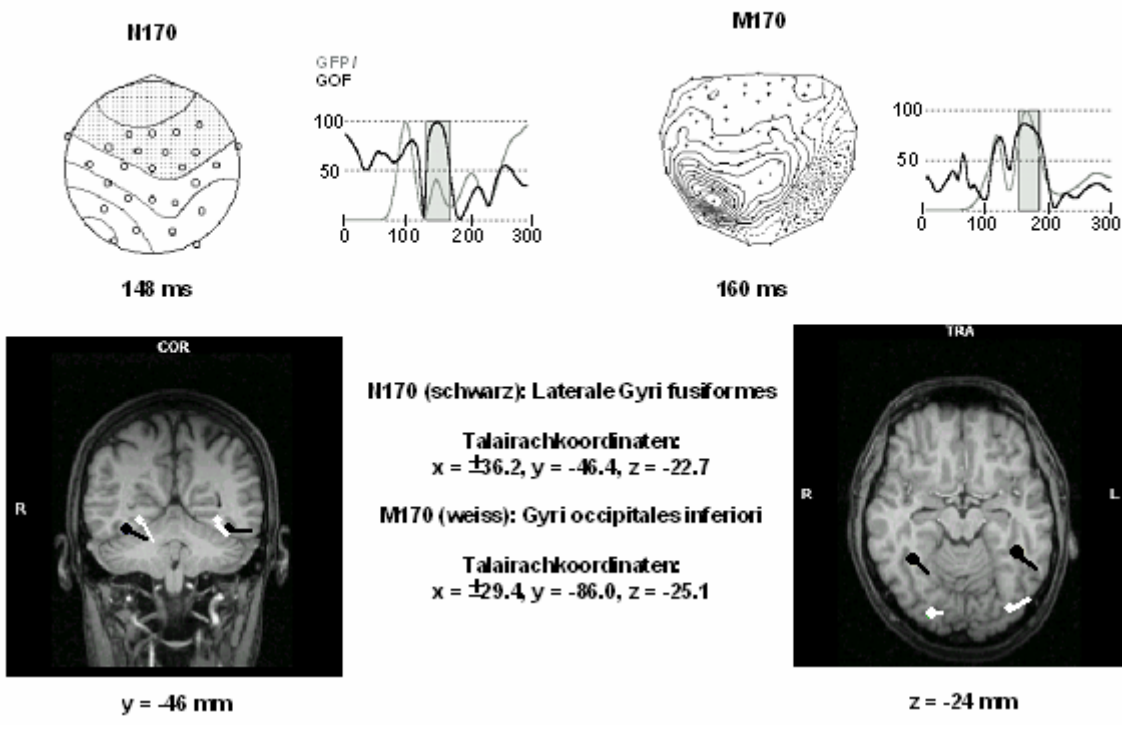
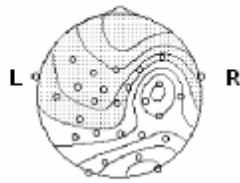


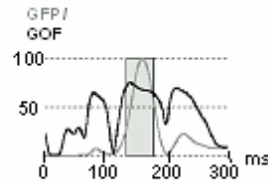
Abbildung 4.30: Person 1 und 6, bei denen nur die N170 in den Gyri fusiformes und die M170 an anderen Orten lokalisiert wurden.

Person 8

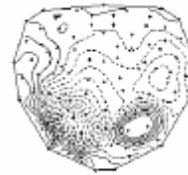
N170 Feldmuster



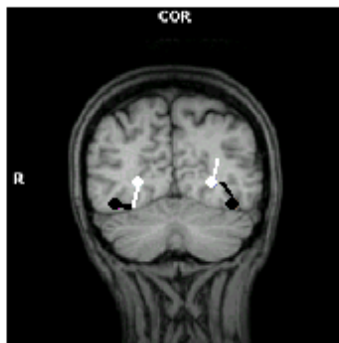
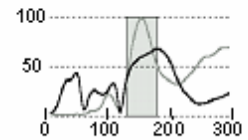
160 ms



M170 Feldmuster



152 ms



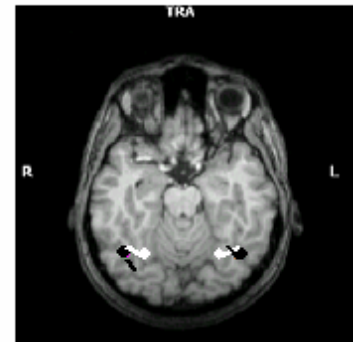
y = -68 mm

N170 (schwarz): Laterale Gyri fusiformes

Talairachkoordinaten:
x = ±36.5, y = -68.4, z = -13.9

M170 (weiss): Sulci occipitotemporalis Medialis

Talairachkoordinaten:
x = ±23.4, y = -67.2, z = 1



z = -14 mm

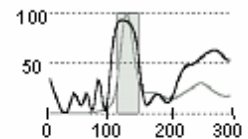
Person 7

keine EEG-Messung
vorhanden

M170 Feldmuster

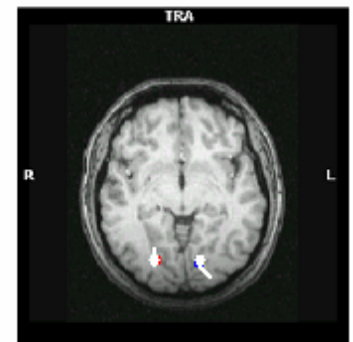


132 ms



M170 (weiss): Gyri fusiformes / Gyri linguales inferiori

Talairachkoordinaten:
x = ±14.4, y = -76.6, z = -27.5

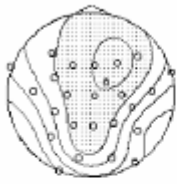


z = -28 mm

Abbildung 4.31: Lokalisierungsergebnisse für die Personen 7 und 8, bei denen die M170 in anderen Arealen als den Gyri fusiformes lokalisiert wurde.

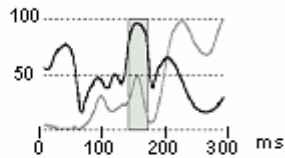
Person 3

N170 Feldmuster



164 ms

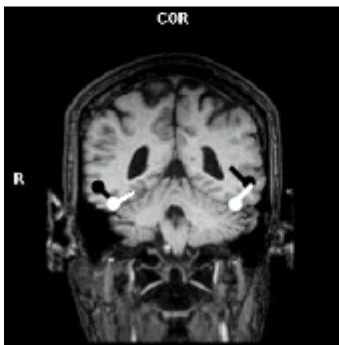
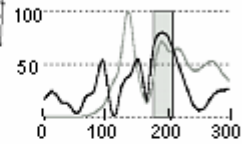
GFP / GOF



M170 Feldmuster



184 ms

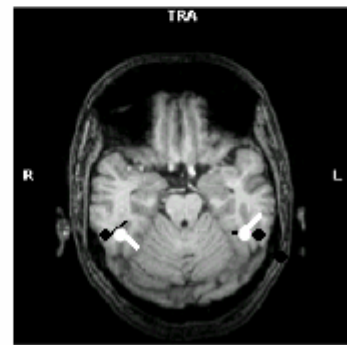


N170 (schwarz): Gyri temporales medii

Talairachkoordinaten:
 $x = \pm 16.8, y = -55.7, z = -16.0$

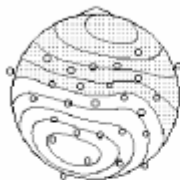
M170 (weiss): Laterale Gyri fusiformes

Talairachkoordinaten:
 $x = \pm 39.4, y = -55.2, z = -34.1$



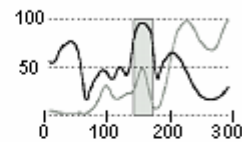
Person 12

N170



160 ms

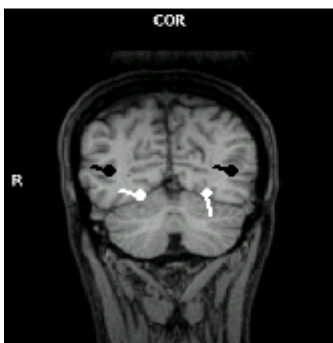
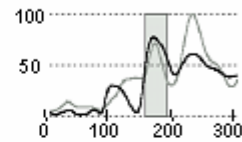
GFP / GOF



M170



168 ms



$y = -66 \text{ mm}$

N170 (schwarz): weiße Substanz, nahe Gyri temporales medii

Talairachkoordinaten:
 $x = \pm 36.2, y = -46.4, z = -22.7$

M170 (weiss): Mediale Gyri fusiformes

Talairachkoordinaten:
 $x = \pm 29.4, y = -86.0, z = -25.1$



$z = -22 \text{ mm}$

Abbildung 4.30: Lokalisierungsergebnisse für Person 3 und 12, bei denen die M170 in den Gyri fusiformes, die N170 dagegen in den Gyri temporales medii lokalisiert wurden.

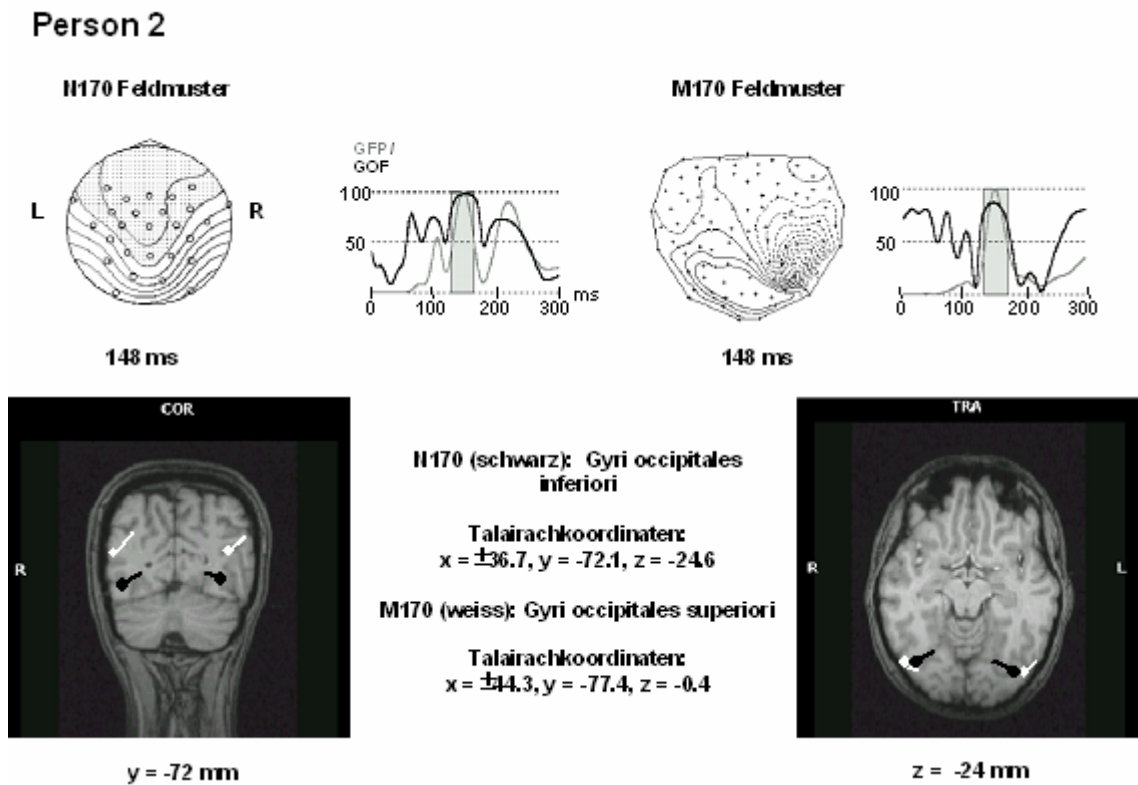


Abbildung 4.31: Lokalisierungsergebnisse für Person 2, für die beide Komponenten in den Gyri occipitales lokalisiert wurden.

Zusammenfassend zeigen die Lokalisierungsergebnisse eine klare Konsistenz der neuronalen Quellen der N170 über die einzelnen Personen. Die dipolaren Quellen der N170 wurden bei acht von elf Personen im Gyrus fusiformis lokalisiert. Für die übrigen drei Personen lagen die Orte der Dipolaktivität in temporalen oder occipitalen Kortex. Die Lokalisierungsergebnisse der M170 zeigten mehr Variabilität. Dennoch wurde für die Hälfte der zwölf Personen die Quelle der M170 in den Gyri fusiformes und für zwei weitere Personen (#7 und 8) an der Grenze zwischen Gyri fusiformes und Gyri linguales lokalisiert. Für die übrigen vier Personen wurden M170-Quellen in den Gyri linguales und Gyri occipitales modelliert. Alle modellierten Orte sind im Hinblick auf den Vergleich zu intracerebralen Potentialstudien und fMRT-Studien der Gesichterverarbeitung plausible Quellorte der N / M170.

Um einen vergleichenden Überblick über die Lokalisierungsergebnisse der Einzelpersonen für MEG und EEG zu ermöglichen, werden in den Abbildungen 4.33 a) und b) die Dipolorte und -orientierungen von N170 und M170 für alle Personen in verschiedenen Ansichten eines Kopfmodells des Lokalisierungsprogramms BESA (Brain Electrical Source Analysis) gezeigt. In Abbildung 4.33 a) ist die geringe Streuung der N170-Orte in x- (medial – lateral) und z- (superior – inferior) Dimension zu erkennen, eine stärkere Streuung zeigt sich aber in der y- (anterior – posterior) Dimension. Diese Streuung bildet vor allem interindividuelle Unterschiede in den Dipolorten im Gyrus fusiformis ab. Die Quellen der N170 liegen für einige Personen im hinteren Teil des Gyrus fusiformis, während sie bei anderen Personen eher im mittleren Teil angesiedelt sind. Ähnliche

Unterschiede zwischen Einzelpersonen in der Aktivierung des Gyrus fusiformis wurden auch in intracerebralen Ableitungen gesichtersensitiver Aktivität im Gyrus fusiformis um 200 ms gefunden. Allison et al. (1999) fanden bei ihren Einzelpersonen Quellen der intracerebralen N200 auf der ganzen Länge des Gyrus fusiformis zwischen $y = -91$ mm bis $y = -24$ mm. Die Orte der M170 zeigen ebenfalls eine Streuung in der y -Dimension, aber sie zeigen zusätzlich auch eine größere Varianz als die N170-Orte in x - und z -Dimension. Das MEG hat eine bessere räumliche Auflösung als das EEG. Diese Eigenschaft könnte sich in der stärkeren Abbildung interindividueller Unterschiede im MEG als im EEG zeigen, die aufgrund von Unterschieden in der Hirnanatomie und in der Lokalisierung kognitiver Funktionen zwischen verschiedenen Personen bestehen.

4.5.4 Dipolorte von M170 und N170 für die Gruppe der Versuchspersonen

Der Gruppenmittelwert der Dipolkoordinaten sollte einen guten Anhaltspunkt für die Lage der Quellorte geben, an denen M170 und N170 bei vielen Personen entstehen. Die über die Dipolkoordinaten der Einzelpersonen gemittelten Orte der N170 lagen bei den Talairachkoordinaten $x = \pm 36 \pm 5$ mm, $y = -57 \pm 14$ mm und $z = -16 \pm 7$ mm. Die Projektion der mittleren Dipolkoordinaten auf ein Standard-MRT zeigte einen Ort der N170-Dipole im rechten und linken lateralen Gyrus fusiformis an. Die mittleren Dipolorte der M170 lagen bei den Talairachkoordinaten $x = \pm 28 \pm 11$ mm, $y = -63 \pm 16$ mm und $z = -16 \pm 12$ mm. Die Koordinaten entsprechen ebenfalls Quellen im linken und rechten Gyrus fusiformis, allerdings im medialen Anteil der Gyri. Der statistische Vergleich der Dipolkoordinaten von M170 und N170 zeigt einen fast signifikanten Trend zwischen N170 und M170 in der x -Dimension (N170: $x = \pm 36$ mm, M170 $x = \pm 28$ mm) im Sinne einer weiter lateral gelegen Quelle von N170 als von M170 [$Z = -1.87$, $p = .067$]. In y - (anterior-posterior) und z -Dimension (superior-inferior) zeigen sich keine Unterschiede zwischen N170 und M170 [y -Dimension: $Z = -0.62$, $p = .58$, z -Dimension: $Z = -0.45$, $p = .70$]. Abbildung 4.33c) zeigt die mittleren Orte der N170 als schwarze Punkte und die Orte der M170 als weiße Punkte in einem Standardgehirn in coronarer und transversaler Ansicht.

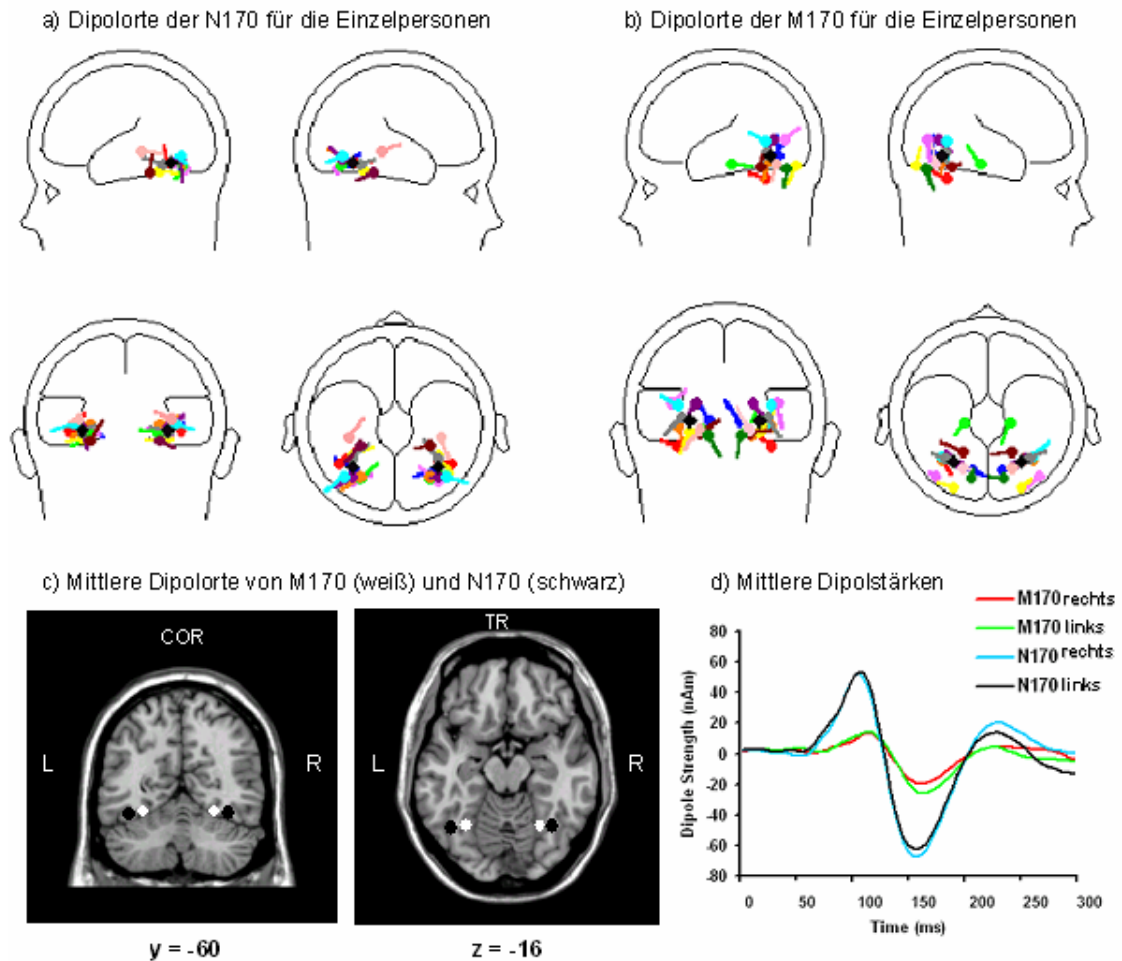


Abbildung 4.33: a) und b) Dipolorte und –orientierungen für die Einzelpersonen für N170 und M170 im BESA-Kopfmodell. Die Farben sind für die Personen dieselben. Die Gruppenmittel der Dipolorter sind als schwarze Quadrate gezeigt. c) Mittlere Dipolorte von M170 (weiss) und N170 (schwarz) in coronarer (COR) und transversaler (TRA) eines Standard-MRT. D) Mittlere Zeitkurven der Dipolstärken von N170 und M170 in Nanoamperemeter (nAm).

4.5.5 Zeitkurven der Dipolstärken von N170 und M170

Die Zeitkurven der Dipolstärken wurden in BESA für die modellierten Dipolorte von N170 und M170 für alle Einzelpersonen berechnet. Der Vergleich der Dipolstärken zwischen rechter und linker Hemisphäre zeigte sowohl für M170 als auch für N170 keine hemisphärischen Unterschiede in den Peakamplituden [für M170: rechte M170 = -30 ± 24 Nanoamperemeter (nAm), linke M170 = -34 ± 26 nAm, Wilcoxon $Z = 0.85$, $p = .39$; für N170: rechte N170 = -77 ± 37 nAm, linke N170 = -73 ± 37 nAm, Wilcoxon $Z = -0.53$, $p = .5$].

Es gab ebenfalls keine hemisphärischen Unterschiede in den Peaklatenzen der Quellkurven von M170 oder N170 [für M170: rechte M170 = 163 ± 18 ms, linke M170 = 164 ± 16 ms, Wilcoxon $Z = -0.42$, $p = .67$; für

N170: rechte N170 = 156 ± 11 ms, linke N170 = 159 ± 12 ms, Wilcoxon $Z = -0.91$, $p = .37$]. Die Peakamplitude der N170 war jedoch sowohl in linker als auch in rechter Hemisphäre größer als die Amplitude der M170 [Vergleich zwischen N170 und M170 für die rechte Hemisphäre: $Z = 2.58$, $p = .01$; Vergleich zwischen N170 und M170 für die linke Hemisphäre: $Z = 2.58$, $p = .01$]. Im Vergleich der Peaklatenzen zeigten sich für rechte und auch linke Hemisphäre keine Unterschiede zwischen N170 und M170 [Vergleich der Peaklatenzen zwischen N170 und M170 für die rechte Hemisphäre: $Z = -1.40$, $p = .16$; linke Hemisphäre: $Z = -1.41$, $p = .16$]. Abbildung 4.33 d) zeigt die Gruppenmittel der Quellkurven von linkshemisphärischer und rechtshemisphärischer N170 und M170 in einer Abbildung. Die unterschiedliche Stärke der Quellen zwischen MEG und EEG im Sinne einer größeren Dipolstärke für N170 als für M170 liegt möglicherweise darin begründet, daß das MEG nur den tangentialen Anteil einer neuronalen Quelle abbildet, während das EEG den tangentialen und radialen Quellanteil misst und in den Quellkurven auch beide Quellanteile wiedergibt.

4.5.6 Vergleich der M170-Dipollokalisierungen für Ganzkopf-MEG-Daten mit und ohne ICA-Korrektur

Für die MEG-Daten aus Messung 1 wurden neben den in den Kapiteln 4.5.1 bis 4.5.5 berichteten Dipollokalisierungen, die an ICA-korrigierten Daten modelliert wurden, auch Lokalisierungen für denselben Messdatensatz ohne ICA-Korrektur berechnet. Um den Effekt der ICA auf die Qualität der Lokalisierungen zu untersuchen, wurden die Lokalisierungsergebnisse für die nicht mittels ICA korrigierten Daten statistisch mit den Ergebnissen der ICA-korrigierten Daten verglichen.

Das Gruppenmittel der M170-Lokalisierungen für die Daten ohne ICA lag bei den Talairachkoordinaten $x = \pm 24 \pm 14$ mm, $y = -64 \pm 20$ mm und $z = -21 \pm 7$ mm. Die Unterschiede zu den M170-Lokalisierungen ICA-bereinigter Daten (mittlere Dipolorte $x = \pm 29$ mm, $y = -63$ mm, $z = -16$ mm) betragen im Mittel 5 mm für die x-Koordinate, 1 mm für die y- und 5 mm für die z-Koordinate. Ein statistischer Vergleich zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Dipolorten der beiden Lokalisierungen [x-Koordinate: $Z = -1.4$, $p = .18$; y-Koordinate: $Z = -0.15$, $p = .90$; z-Koordinate: $Z = -0.78$, $p = .47$]. Abbildung 4.34 zeigt die beiden Orte der M170 im Vergleich in einem Standard-MRT. Zu erkennen ist, daß trotz fehlender statistischer Unterschiede zwischen den Dipolorten für ICA-korrigierte und nicht ICA-korrigierte Daten der Ort der M170 ohne ICA außerhalb des Gehirns im Cerebellum direkt unterhalb der Gyri fusiformes liegt. Die Durchsicht der Lokalisierungsergebnisse für die Einzelpersonen zeigte, daß bei einigen Personen nach ICA-Korrektur die Dipolquellen zu einem deutlich weiter superior gelegenen Ort verschoben werden.

Diese „Bewegung“ kann durch die Unterdrückung der Herzaktivität im MEG-Signal aufgrund der ICA erklärt werden. Das Herzsignal ist am stärksten an den am weitesten inferior gelegenen MEG-Sensoren, die dem Herz am nächsten sind, so daß eine Dipollokalisierung bei Vorhandensein der Herzartefakte in den Daten weiter nach inferior wandern kann als ohne Herzartefakt (Sander et al., 2002). In den Goodness of Fit-Werten

zeigten sich keine Unterschiede zwischen beiden M170-Lokalisierungen [$Z = -0.99$, $p = .33$]. Beide hatten einen mittleren GOF-Wert von 84% (Standardabweichung der nicht ICA bereinigten Daten = 7%). Die ICA-Korrektur kann somit – wenn auch im Gruppenmittel statistisch nicht signifikant – bei einzelnen Personen eine Verbesserung der Lokalisationsergebnisse im Sinne einer Reduktion von Lokalisationsungenauigkeiten aufgrund besserer Datenqualität bewirken.

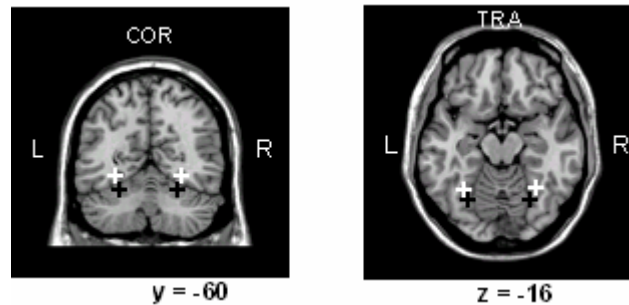


Abbildung 4.34: Mittlere Orte der M170 für den Unterschied zwischen Lokalisationsergebnissen für die ICA-korrigierten MEG-Daten (weisse Kreuze, Lokalisationen für Ganzkopf-MEG-Daten) und dieselben Daten ohne ICA-Artefaktkorrektur.

4.5.7 Vergleich von N170 und M170-Lokalisierungen für die Daten von Messung 1 und 2

Das Gesichterparadigma, das für die vorliegende Arbeit eingesetzt wurde, wurde an denselben Versuchspersonen einmal wiederholt gemessen. So bestand die Gelegenheit, die Dipolorte von N170 und M170 für beide Messungen zu modellieren und die Lokalisationsergebnisse miteinander zu vergleichen. Der Vergleich ermöglichte eine weitere Prüfung der Reliabilität der Dipollokalisierungen. Diese Prüfung ist für die Interpretation der Lokalisationsergebnisse wichtig, da eine Dipollokalisierung letztlich eine Modellierung darstellt. Die wahren Orte dipolarer Quellen von MEG und EEG können nicht mit Gewissheit bestimmt werden, und Modellierungsfehler, die zu falschen Dipolorten führen, können niemals ausgeschlossen werden. Ein Vergleich zweier Messungen kann hier jedoch einen Anhaltspunkt geben, wie plausibel die modellierten Dipolorte sind.

Bei der Lokalisation der N170 in Messung 2 wurde eine Person (# 3) aus der Mittelung ausgeschlossen, da der Lokalisationsalgorithmus hier mit dem gegebenen Modell keinen Ort im Kortex finden konnte. Die mittleren Orte der N170, die für die EEG-Daten von Messung 2 modelliert wurden, lagen bei den Talairachkoordinaten $x = \pm 27 \pm 7$ mm, $y = -60 \pm 16$ mm und $z = -12 \pm 17$ mm. Der mittlere Goodness of Fit betrug für diese Lokalisation $95 \pm 3\%$. Bei der M170-Lokalisation von Messung 2, die für ICA-korrigierte Daten und alle 93-MEG-Kanäle durchgeführt wurde, wurde eine Person (# 6) aus der Bildung der Gruppenmittelwerte ausgeschlossen, da ihre M170 vom Lokalisationsalgorithmus außerhalb des Gehirns lokalisiert wurde. Die mittleren Dipolorte der M170 in Messung 2 lagen bei $x = \pm 28 \pm 12$ mm, $y = -62 \pm 12$

mm und $z = -18 \pm 13$ mm. Der mittlere Goodness of Fit lag bei $85 \pm 7\%$. Die Orte der Dipole unterschieden sich für die Lokalisierungen von Messung 2 nicht zwischen N170 und M170 [x-Koordinate: $Z = -0.533$, $p = .65$; y-Koordinate: $Z = -0.56$, $p = .64$; z-Koordinate: $Z = -0.84$, $p = .46$]. Die Abbildungen 4.35 a) und b) zeigen die mittleren Dipolorte für N170 und M170 im Vergleich von Messung 1 und 2. Für beide Komponenten liegen die Dipolorte im rechten und linken medialen Gyrus fusiformis. Die Goodness of Fit-Werte (95% für N170 und 85% für M170) der Lokalisierungen von Messung 2 unterschieden sich wie auch schon in Messung 1 signifikant zwischen N170 und M170 [$Z = -2.4$, $p = .01$] im Sinne eines höheren GOF-Wertes für die N170 als für die M170.

Der Vergleich zwischen den Dipollokalisierungen aus Messung 2 mit den Ergebnissen von Messung 1 (für die 93-Kanal-MEG-Daten mit ICA-Korrektur und die 27-Kanal-EEG-Daten) zeigt für die M170 fast exakt dieselben mittleren Dipolkoordinaten in beiden Messungen (zum Vergleich: M170 Messung 1 = ± 29 , -63 , -16 ; M170 Messung 2 = ± 28 , -62 , -18). Der größte Unterschied in den mittleren Dipolwerten für alle drei Dimensionen betrug 2 mm in der z-Koordinate. Die anderen beiden Dimensionen wichen im Mittel um einen Millimeter zwischen beiden Messungen ab.

Für die Lokalisierungsergebnisse der N170 zeigte sich ein anderes Bild als für die M170. Hier war der Unterschied zwischen den Lokalisierungen beider Messungen größer als im MEG. Der Vergleich der mittleren N170-Dipolkoordinaten zwischen Messung 1 und Messung 2 (mittlerer Ort der N170 in Messung 1 = ± 36 , -57 , -16 ; mittlerer Ort der N170 in Messung 2 = ± 27 , -60 , -12) zeigt in der x-Koordinate (± 36 mm versus ± 27 mm) einen Unterschied von 9 mm. Die Orte der N170 in Messung 2 lagen statistisch signifikant weiter medial [$Z = -2.574$, $p = .008$] als die N170-Orte in Messung 1. In y- und z-Koordinate ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [y-Koordinate: $Z = -0.296$, $p = .82$; z-Koordinate: $Z = -0.296$, $p = .82$]. In den Goodness of Fit-Werten zeigten sich sowohl für die M170-Lösungen als auch für die N170-Lösungen keine Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [N170 Messung 1 vs. N170 Messung 2: $Z = -1.07$, $p = .23$; M170 Messung 1 vs. M170 Messung 2 = -0.7 , $p = .55$].

Im Vergleich der Lokalisierungsergebnisse der M170 für die Einzelpersonen (12 Personen in Messung 1, 10 Personen in Messung 2) zeigte sich bei sechs Personen (# 3, 4, 7, 9, 11 und 12), die in Messung 1 eine M170-Quelle im Gyrus fusiformis hatten, auch in Messung 2 eine M170-Quelle im Gyrus fusiformis. Bei Person 2, die in Messung 1 eine Quelle an einem anderen Ort als dem Gyrus fusiformis hatte, zeigte sich auch in Messung 2 eine M170-Quelle an einem anderen Ort. In beiden Messungen wurden die Quellen der M170 im Gyrus occipitalis superior lokalisiert. Bei zwei Personen (# 1 und 8) wurden die Quellen der M170 in Messung 1 in einer anderen Struktur als dem Gyrus fusiformis lokalisiert (#1: Gyrus lingualis inferior, # 8: Sulcus occipitotemporalis medialis), in Messung 2 lagen die Quellorte der M170 dagegen im Gyrus fusiformis. Bei einer Person (# 6) konnte in Messung 2 kein Ort im Kortex lokalisiert werden. Person 5 und 10 hatten in Messung 1 M170-Quellen in den Gyri fusiformes, sie nahmen jedoch nicht an Messung 2 teil, so daß hier kein Vergleich möglich ist. Der Vergleich zwischen Messung 1 und 2 zeigt die hohe Konsistenz der Lokalisierungsergebnisse zwischen beiden Messungen. Nur bei drei von neun Personen lagen die Quellorte der M170 in Messung 1 und 2 in unterschiedlichen Gehirnstrukturen.

Der Vergleich der Lokalisationsergebnisse für die N170 konnte nur für neun Personen durchgeführt werden, da zwei Personen aus Messung 1 nicht an Messung 2 teilnahmen und bei Person 7 in Messung 1 kein EEG abgeleitet werden konnte. Von diesen neun Personen zeigten sich bei vier Personen (# 1, 4, 6 und 11) in Messung 1 und 2 Quellorte der N170 im Gyrus fusiformis. Bei drei Personen (# 2, 3 und 12) lagen die Quellorte der N170 in beiden Messungen in anderen Strukturen als den Gyri fusiformes. Bei Person 2 lag die Quelle der N170 in Messung 1 im Gyrus occipitalis inferior, in Messung 2 dagegen im Gyrus occipitalis superior. Bei Person 3 konnte in Messung 2 kein Quellort im Kortex lokalisiert werden. Bei Person 12 zeigten sich in beiden Messungen Quellorte der N170 nahe dem Sulcus temporalis superior. Bei den Personen 8 und 9 wurden in Messung 1 Quellorte im Gyrus fusiformis oder nahe dem Gyrus fusiformis (Sulcus occipitotemporalis medialis) lokalisiert, während in Messung 2 die N170 bei Person 8 im Gyrus cingulus und bei Person 9 im Gyrus temporalis medius lag. Bei fünf von neun Personen zeigt sich somit eine Übereinstimmung zwischen den Lokalisationsergebnissen von Messung 1 und 2, die auch eine Konsistenz anderer Quellorte bei Person 12 umfasst. Bei dieser Person wurden in beiden Messungen die Quellen der N170 am Sulcus temporalis superior lokalisiert. Im EEG erscheint die Konsistenz der Quellorte zwischen beiden Messungen für die Einzelpersonen niedriger als im MEG. Diese geringere Konsistenz könnte jedoch auch dadurch begründet sein, daß die EEG-Daten im Gegensatz zu den MEG-Daten keiner ICA-Korrektur unterzogen worden waren. Allerdings wurde die ICA im MEG vor allem eingesetzt, um eine Eliminierung der Herzartefakte zu bewirken, die im EEG keine problematischen Messartefakte darstellen.

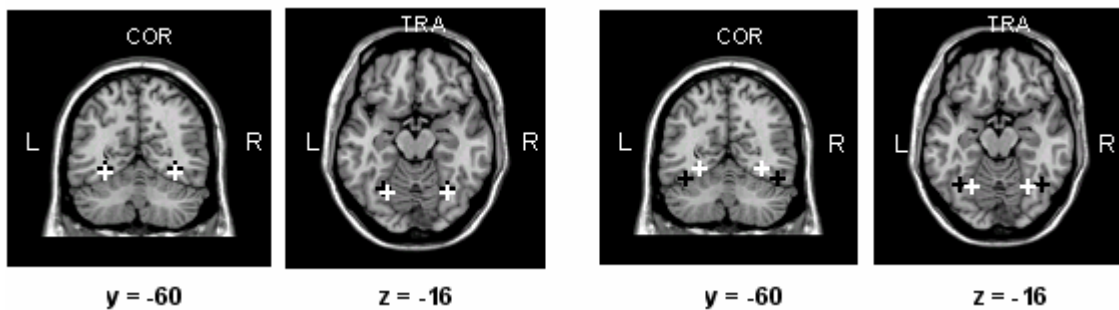


Abbildung 4.35: In den linken beiden Bildern die Quellorte der M170 im Vergleich von Messung 1 (ICA-Daten, schwarze Kreuze), die rechten beiden Bilder zeigen die Orte N170 für Messung 1 (schwarz) und 2 (weiss).

4.5.8 Quellkurven für N170 und M170 in Messung 2 und Vergleich zu Messung 1

Für die Quellkurven der N170 in Messung 2 zeigte sich eine mittlere Peakamplitude von -96 ± 50 nAm in der rechten Hemisphäre und von -90 ± 52 nAm in der linken Hemisphäre. Die M170-Amplitude betrug -27 ± 8 nAm in rechter und -28 ± 25 nAm in linker Hemisphäre. Sowohl für N170 als auch für M170 ergaben

sich keine signifikanten hemisphärischen Unterschiede in den Amplituden der Quellkurven von Messung 2 [N170: $Z = -0.97$, $p = .373$; M170: -0.051 , $p = 1.0$]. Für beide Hemisphären zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Peakamplituden von M170- und N170-Quellkurven [rechte Hemisphäre: -2.19 , $p = .027$, linke Hemisphäre: $Z = -1.998$, $p = .040$]. Diese bestanden in derselben Weise auch schon in Messung 1 im Sinne einer größeren Amplitude für N170 als für M170. Die mittleren Peaklatenzen der N170 lagen bei 168 ± 13 ms in rechter und bei 178 ± 19 ms in linker Hemisphäre und unterschieden sich nicht statistisch signifikant voneinander [$Z = -1.83$, $p = .125$]. Die Latenzen der M170 lagen bei 170 ± 15 ms in rechter und bei 174 ± 19 ms in linker Hemisphäre und zeigten ebenfalls keine hemisphärischen Unterschiede [$Z = -1.13$, $p = .293$]. Zwischen M170 und N170 zeigten sich für die rechte Hemisphäre [$Z = -0.62$, $p = .52$] und die linke Hemisphäre [$Z = -0.29$, $p = .77$] keine Unterschiede in den Peaklatenzen.

Der Vergleich der Quellkurvenamplituden für N170 und M170 zwischen Messung 1 und 2 zeigt weder für MEG noch für EEG einen signifikanten Unterschied in der Quellstärke zwischen beiden Messungen, es zeigt sich jedoch ein Trend zur geringeren Quellstärke der N170 an der rechten Hemisphäre in Messung 2 [N170 links: $Z = -0.968$, $p = .38$; N170 rechts: $Z = -1.86$, $p = .064$; M170 links: $Z = -0.76$, $p = .49$, M170 rechts: $Z = -0.97$, $p = .38$]. In den Latenzen zeigten sich im EEG signifikante Unterschiede zwischen Messung 1 und 2 [linke Hemisphäre: $Z = -2.61$, $p = .008$; rechte Hemisphäre: $Z = -2.39$, $p = .014$]. Im MEG war an der rechten Hemisphäre ein Latenzunterschied zwischen beiden Messungen zu erkennen [linke Hemisphäre: $Z = -1.27$, $p = .22$; rechte Hemisphäre: $Z = -1.97$, $p = .04$]. Sowohl für MEG als auch für EEG bestand der Unterschied in einer späteren Latenz in Messung 2 im Vergleich zu Messung 1.

4.5.9 Vergleich zwischen M170-Lokalisierungen für alle 93-MEG-Sensoren und für eine Auswahl posteriorer MEG-Sensoren

Um die von einigen Autoren (z.B. Tarkiainen et al., 2003) aufgestellte Hypothese zu untersuchen, daß Dipollokalisierungen im MEG für eine Auswahl der MEG-Sensoren mit dem stärksten Meßsignal zu physiologisch sinnvollerem Lokalisationsergebnissen führen als Dipollokalisierungen für alle Meßsensoren, wurden in der vorliegenden Arbeit Dipollokalisierungen der M170 für eine Auswahl der 37 am weitesten posterior gelegenen MEG-Sensoren durchgeführt. Alle übrigen, weiter anterior gelegenen MEG-Sensoren wurden aus den Lokalisierungen ausgeschlossen. Die Auswahl der MEG-Sensoren war für alle Probanden gleich. Die Lokalisierungen wurden für die M170-Daten von Messung 1, die einer ICA-Korrektur unterzogen worden waren, berechnet.

Die mittleren Dipolkoordinaten der M170-Lokalisierungen für die Sensorauswahl lagen bei $x = \pm 25 \pm 13$ mm, $y = -65 \pm 29$ mm und $z = -9 \pm 14$ mm. Im Standard-MRT entsprechen die Koordinaten Quellorten im linken und rechten medialen Gyrus fusiformis. Der statistische Vergleich dieser Lokalisationsergebnisse mit den Ergebnissen der Lokalisation für alle 93-MEG-Kanäle bei ICA-Korrektur, die im Mittel bei den Koordinaten $x = \pm 29$, $y = -63$, $z = -16$ lagen, zeigte für keine der drei Dipolkoordinaten signifikante Unterschiede

zwischen den Dipolorten [x-Koordinate: $Z = -1.38$, $p = .18$; y-Koordinate: $Z = -1.41$, $p = .18$; z: $Z = -1.49$, $p = .15$]. Die Lokalisierungen mit einer fokalen Sensorauswahl führten im Hinblick auf die Orte der Dipole zum selben Ergebnis wie die Lokalisierungen für die Ganzkopf-MEG-Daten. Damit kann die Vermutung eines physiologisch sinnvolleren Lokalisierungsergebnisses für die M170 bei einer Auswahl von MEG-Sensoren mit dem stärksten Messsignal in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Abbildung 4.36 zeigt die Orte der M170 im Vergleich von fokaler Sensorauswahl und Ganzkopf-MEG-Daten.

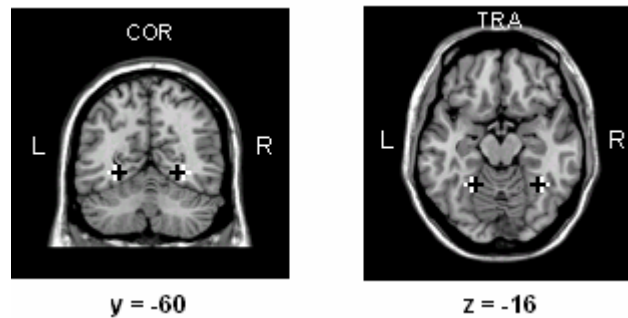


Abbildung 4.36: Mittlere Orte der M170 für den Vergleich zwischen M170-Lokalisierungen bei fokaler Sensorauswahl und Ganzkopfdaten (weiss: Sensorauswahl, schwarz: alle Sensoren).

Die Goodness of Fit-Werte der 37-Kanal-Lokalisierungen wurden mit denen der 93-Kanal-Lokalisation verglichen. Der Goodness of Fit-Wert der 37-Kanal-Lokalisierungen lag bei $90 \pm 6\%$ und war signifikant höher als der GOF-Wert der 93-Kanal-Lokalisierungen, der bei 84% gelegen hatte [$Z = -3.072$, $p = .000$]. Der Vergleich der GOF-Werte der fokalen MEG-Sensorauswahl mit der Lokalisation der N170 aus Messung 1 (GOF = 92%) zeigte keine Unterschiede zwischen den Goodness of Fit-Werten von N170- und M170-Lokalisierungen [$Z = -1.16$, $p = .27$]. Der in Kapitel 4.5.2 berichtete Unterschied zwischen den 93-Kanal-MEG-Lokalisierungen und den EEG-Lokalisierungen im Sinne eines höheren Goodness of Fit-Wertes für die EEG-Lokalisierungen im Vergleich zum MEG besteht bei einer fokalen Sensorauswahl des MEG nicht mehr.

In Kapitel 4.5.2 wurde die Frage aufgeworfen, ob dieser Unterschied zwischen den Goodness of Fit-Werten von EEG und MEG Ausdruck einer schlechteren Passung der Dipolmodelle für die MEG-Daten als für die EEG-Daten sei, oder ob er stattdessen Resultat der fokaleren Messeigenschaften des MEG sein könnte. Aufgrund der Tatsache, daß für die Dipollösungen mit einer fokalen Sensorauswahl ein höherer und nicht mehr vom EEG unterscheidbarer Goodness of Fit gefunden wurde als für die Ganzkopf-MEG-Lokalisierungen, die Orte der Dipole sich aber nicht zwischen fokaler Sensorauswahl und Ganzkopf-MEG-Daten unterscheiden, kann diese Frage im Sinne der fokaleren Messfähigkeit des MEG als Grund für den Unterschied in den GOF-Werten zwischen Ganzkopf-MEG und EEG-Daten beantwortet werden. Tabelle 14 zeigt alle Gruppenergebnisse der in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Dipollokalisierungen im Überblick. Aufgeführt sind die GOF-Werte, Dipolkoordinaten und anatomischen Orte der N170- und M170-Lokalisierungen.

Tabelle 14. Überblick über alle Lokalisationsergebnisse der vorliegenden Arbeit für N170 und M170.

Lokalisationsdatensatz	Mittlere Dipolkoordinaten	GOF-Wert	Quellorte im MRT
EEG Messung 1	$\pm 36, -57, -16$	92	Laterale Gyri fusiformes
EEG Messung 2	$\pm 27, -60, -12$	95	Mediale Gyri fusiformes
MEG Messung 1 (ICA, 93 Kanäle)	$\pm 29, -63, -16$	84	Mediale Gyri fusiformes
MEG Messung 1 (keine ICA, 93 Kanäle)	$\pm 24, -64, -21$	84	Cerebellum nahe Gyri fusiformes
MEG Messung 1 (ICA, Kanalauswahl)	$\pm 25, -65, -9$	90	Mediale Gyri fusiformes
MEG Messung 2 (ICA, alle Kanäle)	$\pm 28, -62, -18$	85	Mediale Gyri fusiformes

Anmerkungen zur Tabelle: Dipolkoordinaten in Talairachwerten; GOF: Goodness of Fit in %.

4.5.10 Zusammenfassung der Lokalisationsergebnisse von N170 und M170

Die Lokalisationsergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen im Hinblick auf die dipolaren Quellen von N170 und M170 und die Beantwortung der in Kapitel 3.3 aufgeworfenen Fragen folgende Schlußfolgerungen zu:

- 1.) Sowohl die dipolaren Quellen der N170 als auch die Quellen der M170 wurden in der vorliegenden Arbeit in den mittleren bis posterioren Gyri fusiformes lokalisiert (Frage 6.1 in Kapitel 2.3). Dieses Ergebnis konnte nicht nur im Gruppenmittelwert der Lokalisationsergebnisse gezeigt werden, sondern auch für einen großen Teil der Einzelergebnisse (fast 75% im EEG, 50% im MEG in Messung 1).
- 2.) Die Orte der Quellen von N170 und M170 unterschieden sich nicht signifikant voneinander, obwohl sich eine Tendenz zu einer weiter medialen Lage der M170 im Vergleich zur N170 zeigte (Frage 6.2).
- 3.) Bei der Lokalisation der M170 führte eine Auswahl posteriorer MEG-Sensoren nicht zu physiologisch plausibleren Lokalisationsergebnissen als eine Lokalisation auf allen MEG-Sensoren. Die Orte der Dipole unterschieden sich nicht zwischen beiden Vorgehensweisen (Frage 6.4).
- 4.) Die Lokalisationsergebnisse aus Messung 1 konnten in Messung 2 repliziert werden. Sowohl die Quellen der N170 als auch die Quellen der M170 lagen in Messung 2 in den Gyri fusiformes. Im MEG zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Lokalisationsergebnissen beider Messungen und die Orte unterschieden sich um maximal 2 mm zwischen beiden Messungen. Für das EEG zeigte sich eine signifikante Verschiebung der Quelle von lateralem Gyrus fusiformis in Messung 1 zu medialem Gyrus

fusiformis in Messung 2 und die Quellorte unterschieden sich maximal um 9 mm zwischen beiden Messungen (Frage 6.5).

4.6 Dipollokalisierungen für Zeitbereiche ab 300 ms in ereigniskorrelierten Feldern und Potentialen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Dipollokalisierung später ereignis-korrelierter Potentiale und Felder, die in Zeitbereichen von 300 ms bis 700 ms gemessen wurden, dargestellt. Hierbei werden in Kapitel 4.6.1 die Ergebnisse der Betrachtung individueller Feldmuster von MEG und Potentialverteilungen des EEG dargestellt, die für die späten Zeitbereiche Hinweise auf die zu lokalisierenden Zeitbereiche in ERP und ERF lieferten. In Kapitel 4.6.2 werden die Lokalisierungsergebnisse im Hinblick auf die Orte der Dipole für die Einzelpersonen und die Goodness of Fit-Werte dargestellt. Daran anschließend werden die Lokalisierungsergebnisse im Hinblick auf die Orte der Dipole im Gruppenmittel dargestellt und die Orte zwischen MEG und EEG verglichen sowie der Vergleich zu den Lokalisierungsergebnissen von N170 und M170 vorgenommen (Kapitel 4.6.3). In Kapitel 4.6.4 werden die Ergebnisse der Untersuchung der Quellstärken berichtet. Alle Ergebnisse werden in Kapitel 4.6.5 zusammengefaßt. Die späten Feldmuster in MEG und EEG, die lokalisiert wurden, werden aufgrund ihrer ungefähren Latenz im EEG N400 und im MEG M400 genannt.

4.6.1 Individuelle Feldmuster und Potentialverteilungen später ERP und ERF

Die Dipollokalisierungen wurden auf den ICA-artefaktbereinigten 93-Kanal-MEG-Daten von Messung 1 und auf den 27-Kanal-EEG-Daten von Messung 1 durchgeführt. Vor Beginn der Lokalisation wurde zunächst die zeitliche Dynamik der Feldmuster von MEG- und EEG-Aktivität im Zeitbereich von 0 ms bis etwa 700 ms nach Stimulusbeginn für die Einzelpersonen betrachtet. Bei der Durchsicht der MEG-Feldmuster war zu beobachten, daß sich in Zeitbereichen ab etwa 300 ms bei der Mehrzahl der Personen ein über mehrere hundert Millisekunden andauerndes Feldmuster an Sensoren über dem Hinterkopf zeigte, das dem Feldmuster der M170 sehr ähnlich war, aber eine schwächere Feldstärke als das M170-Muster hatte. Die Abbildungen 4.37 und 4.38 zeigen für ausgewählte Einzelpersonen den Zeitverlauf der ereigniskorrelierten Felder von 0 ms bis 576 ms nach Stimulusbeginn in Zeitschritten von 48 ms in zweidimensionalen Feldkarten. Die Feldlinien sind hier farbig dargestellt, und die Kontourschritte der Feldlinien sind für jede Person angegeben. Die Quelle der Magnetfelder ist mittels roter Höhenlinien dargestellt, die Senke mittels blauer Linien. Die Feldmuster, die um 170 ms und ab etwa 300 ms bis 400 ms ähnlich auftraten, sind mit

schwarzen Kästchen markiert. Die Ähnlichkeit der beiden Felder (M170 und M400) fällt auch im Vergleich zu zeitlich zwischen den beiden Mustern liegenden Aktivierungen, zum Beispiel bei 240 ms, auf, die eine deutlich andere Feldstruktur haben. Die Ähnlichkeit zwischen dem Aktivierungsmuster um 170 ms und dem späteren Muster war im EEG weniger klar zu beobachten und bestand bei einigen Personen gar nicht. Es ist jedoch anzumerken, daß der Vergleich der Feldmuster im MEG wesentlich einfacher durchzuführen war, da die Quellaktivierung fokaler abgebildet wird als im EEG und das EEG somit eventuell mehrere Quellbeiträge in einer Aktivierung zeigt. Die Ähnlichkeit der Feldmuster von früher und später Aktivität fiel auch erst bei der Ansicht der MEG-Feldkarten auf. Die beiden sich ungefähr entsprechenden Aktivitätsmuster von N170 und N400 im EEG sind für das Muster am maximalen Goodness of Fit der Dipollokalisierungen (die in Kapitel 4.6.2 dargestellt werden) neben den MEG-Feldmustern gezeigt. Da die späten Feldmuster zeitlich relativ stabil waren und sich zudem über den längsten Bereich der späten ERP und ERF erstreckten, wurden sie für Dipollokalisierung in MEG und EEG ausgesucht.

4.6.2 Dipolare Quellen von N400 und M400 für Einzelpersonen

Zur Lokalisation der Dipolaktivität wurde dasselbe Dipolmodell wie für die M / N170 gewählt. Die Aktivierung wurde für MEG und EEG jeweils anhand zweier symmetrisch zueinander liegender Dipole modelliert. Die Symmetrie wurde auch für diese späte Verarbeitungsstufe gewählt, da die Erprobung von Lokalisationen mit nicht symmetrischen Quellen meist zu keinen sinnvollen Ergebnissen führte. Die Dipole wurden auch hier in die individuellen MRT-Aufnahmen der Gehirne projiziert.

Die Quellen der M400 wurden bei neun von zwölf Personen im Gyrus fusiformis lokalisiert. Die Lage der Orte der Einzelpersonen erstreckte sich über den posterioren bis anterioren Gyrus fusiformis ($y = -74$ mm bis $y = -30$ mm). Bei einer Person (#12) lag die Quelle der M400 im parietalen Kortex, bei einer weiteren Person (# 6) wurde die Quelle in den Gyri linguales inferiori, die medial an die Gyri fusiformes angrenzen, lokalisiert. Bei Person 7 wurde die M400 in der weissen Substanz nahe den Gyri fusiformes lokalisiert. Der Goodness of Fit der M400-Lokalisationen lag im Mittel bei $79 \pm 9\%$. Die Goodness of Fit-Werte lagen bei der Hälfte der Personen unter einem Wert von 78%.

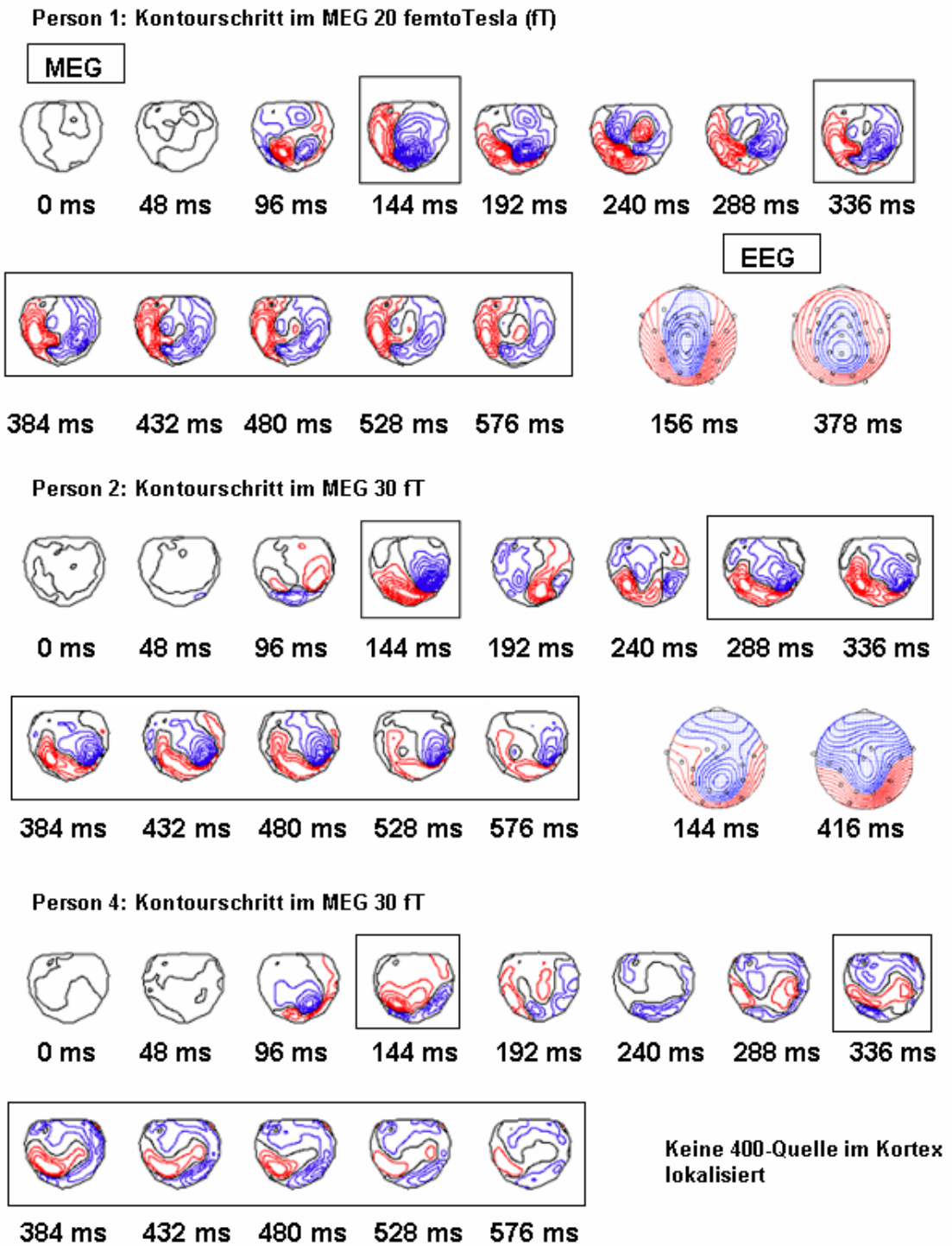


Abbildung 4.37: Feldmuster in späten Zeitbereichen des MEG und EEG. Rechts neben dem MEG-Feldmuster sind N170- und N400-Potentialverteilung dargestellt. Der Kontourschritt im EEG beträgt in allen Abbildungen $0.3 \mu\text{V}$. MEG: rot = positiv, blau = negativ; EEG: rot = negativ, blau = positiv.

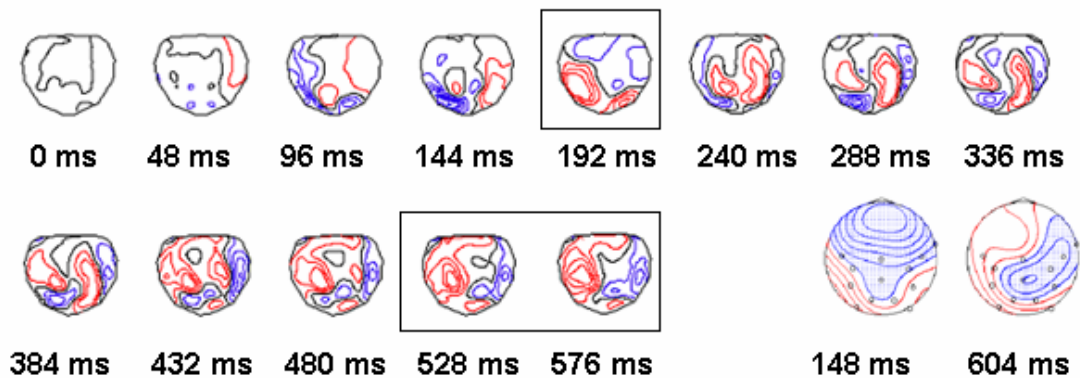
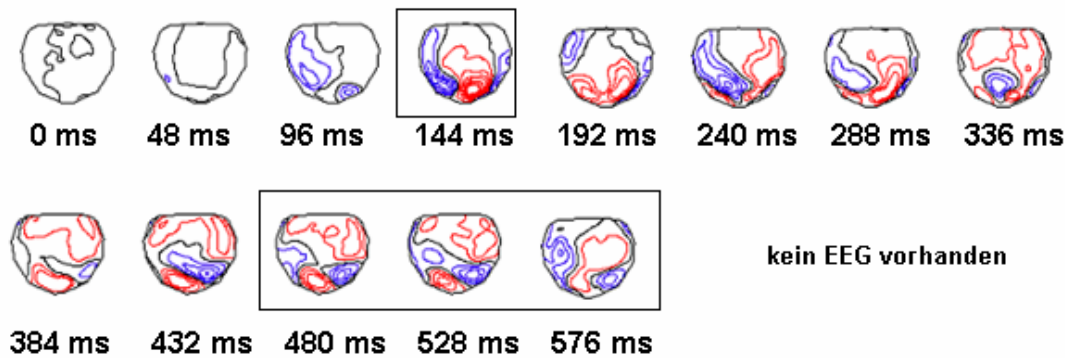
Person 6: Kontourschritt im MEG 30 femtoTesla (fT)**Person 7: Kontourschritt im MEG 30 fT**

Abbildung 4.38: Feldmuster in späten Zeitbereichen des MEG und EEG. Rechts neben dem MEG-Feldmuster sind N170- und N400-Potentialverteilung dargestellt. Der Kontourschritt im EEG beträgt in allen Abbildungen $0.3 \mu\text{V}$. MEG: rot = positiv, blau = negativ; EEG: rot = negativ, blau = positiv.

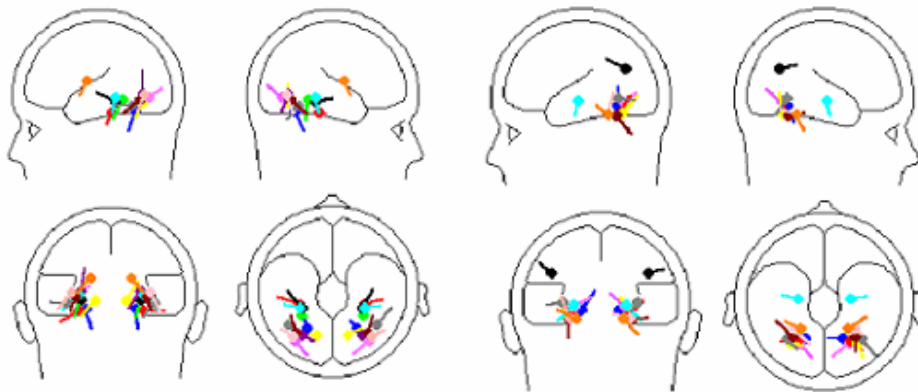
Bei der Lokalisation der Quellen der N400 im EEG konnte für eine Person (# 4) keine Quelle im Kortex gefunden werden. Diese wurde auch nicht mit dem Setzen einer oder zweier zusätzlicher Quellen und auch nicht ohne den Einsatz der Symmetriebeschränkung erreicht. Die Quellen der N400 lagen bei sieben Personen im Gyrus fusiformis, bei Person 1 im Gyrus lingualis, bei Person 5 am Sulcus temporalis superior und bei Person 8 in den Gyri parahippocampales. Konträr zu den Ergebnissen der Dipollokalisierungen von N170 und M170, die für die Einzelpersonen in den Dipolorten im EEG konsistenter waren als im MEG, zeigte sich bei der Lokalisation von N400 und M400 eine niedrigere Konsistenz der Dipolorte im EEG als im MEG. Der mittlere Goodness of Fit-Wert der N400-Lokalisierungen lag bei $86 \pm 13\%$. Die Goodness of Fit-Werte lagen bei 3 Personen unter einem Wert von 86%. Die Orte der Einzelpersonen sind in Abbildung 5.39 im Vergleich von M400 (a) und N400 (b) in mehreren Ansichten des BESA-Kopfmodells gezeigt. Zum Vergleich mit den Lokalisationsergebnissen von N170 und M170 sind diese in den Abbildungen 5.39 c) und d) ebenfalls gezeigt. Es ist gut zu erkennen, daß sich für beide MEG-Komponenten eine größere Streuung in

der anterior – posterior Dimension zeigt als für die EEG-Komponenten. In den Lokalisierungsergebnissen beider Komponenten ist im MEG auch eine stärkere Streuung in der superior – inferior Dimension zu erkennen als im EEG. Diese bildet jedoch im MEG vor allem die Varianz in Dipolorten des Gyrus fusiformis ab, da hier in 75% der Personen die M400-Quelle lokalisiert wurde.

Tabelle 15 zeigt die Lokalisierungsergebnisse der M400 und N400 für die Einzelpersonen im Bezug auf Talairachkoordinaten, maximalem Goodness of Fit-Wert im lokalisierten Zeitbereich und den Ort der Quelle im individuellen MRT. Die Tabelle zeigt auch den Vergleich der Lokalisierungsergebnisse für die M400 mit den Orten von M170 und N170. Die Latenz der N / M400 ist als Zeitpunkt angegeben, zu dem das gefundene Dipolmodell den maximalen Goodness of Fit-Wert hatte und damit die beste Passung an die Daten zeigte. Die Latenzen der N / M170 sind am Zeitpunkt der Peakaktivität der Komponenten gemessen. Die mittlere Latenz der M400 am Maximum des GOF lag bei 409 ± 77 ms, die Latenz der N400 bei 519 ± 89 ms. Die beiden Latenzen unterschieden sich signifikant voneinander [$Z = -2.07$, $p = .038$].

Es zeigte sich bei den meisten Personen eine M400-Quelle, die weiter anterior lag als die Quelle der M170. Dies ist an den weniger negativen Werten der y-Koordinate der M400 im Vergleich zur M170 erkennbar. Dieser Unterschied war im EEG zwischen N170 und N400 weniger klar zu erkennen.

a). Quellorte der M400 für die Einzelpersonen b) Quellorte der N400 für die Einzelpersonen



c). Quellorte der M170 für die Einzelpersonen d) Quellorte der N170 für die Einzelpersonen

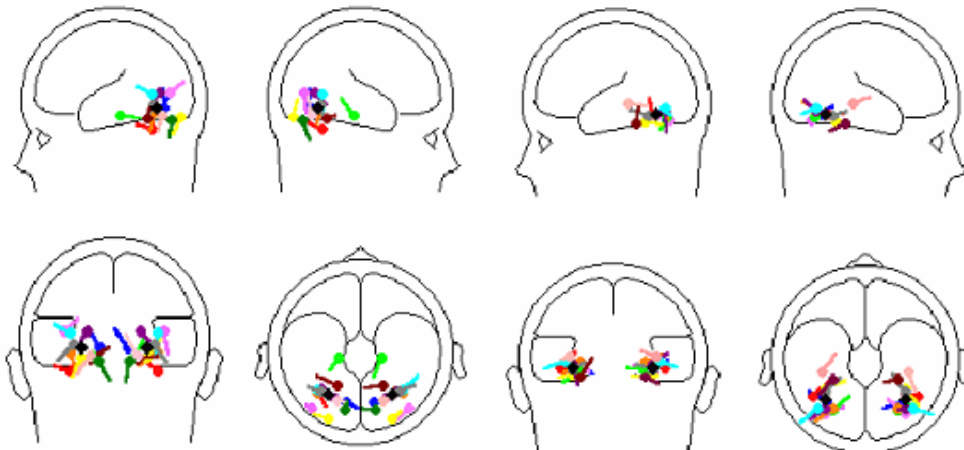


Abbildung 4.39: Dipolorte und –orientierungen für die Einzelpersonen für M400 (a) und N400 (b) in verschiedenen Ansichten des BESA-Kopfmodells. Zum Vergleich sind die Quellorte von M170 (c) und N170 (d) ebenfalls im BESA-Kopfmodell gezeigt. Jede Person hat eine Farbe, die Farben sind für alle Komponenten dieselben.

Tabelle 15. Ergebnisse der Dipollokalisierungen von M170 / N170 und M400 / N400 im Vergleich.

VP	Komponente	Latenz	GOF	Dipolkoordinaten	Ort im MRT
1	N170	164	97	±34.5,-62.1,-16.9	G. fusiformes
1	N400	378	96	±17.3,-57.4,-14.9	G. linguales inf.
1	M170	156	92	±12.4,-70,-14.6	G. linguales inf.
1	M400	444	85	±24.8,-58.4,-24.2	G. fusiformes
2	N170	148	98	±36.7,-72.1,-24.6	G. occipitales inf.
2	N400	416	94	±23.8,-62.7,-11.7	G. fusiformes
2	M170	148	86	±44.3,-77.4,-0.4	G. occipitales sup.
2	M400	392	89	±37.0,-74.0,-10.1	G. fusiformes
3	N170	184	92	±46.8,-55.7,-16.0	G. temporales medii
3	N400	370	92	±25.2,-58.8,-22.9	G. fusiformes
3	M170	184	87	±39.4,-55.2,-34.1	G. fusiformes
3	M400	396	66	±31.2,-30.4,-21.6	G. fusiformes
4	N170	180	97	±29.6,-68.5,-20.6	G. fusiformes
4	N400			keine kortikale Quelle	
4	M170	184	87	±28.2,-37.0,-20.1	G. fusiformes
4	M400	473	78	±30.3,-44.3,-9.1	G. fusiformes
5	N170	148	98	±29.7,-67.8,-11.9	G. fusiformes
5	N400	624	86	±46.0,-70.5,22.9	S. temporales sup.
5	M170	152	75	±38.9,-59.7,-17.4	G. fusiformes
5	M400	352	77	±29.4,-36.5,-10.7	G. fusiformes
6	N170	160	98	±36.2,-46.4,-22.7	G. fusiformes
6	N400	604	94	±31.3,-61.5,-22.3	G. fusiformes
6	M170	148	85	±29.4,-86.0,-25.1	G. occipitales inf.
6	M400	408	61	±15.8,-66.7,-15.7	Gyri linguales inferiori
7	N170			keine Messung	
7	N400			keine Messung	
7	M170	128	92	±14.4,-76.5,-27.5	G. fusiformes / linguales inf.
7	M400	288	76	±29.3,-68.3,-5.9	Weisse Substanz nahe G. fusiformes
8	N170	168	67	±36.5,-68.4,-13.9	G. fusiformes
8	N400	516	92	±25.3,-14.2,3.8	G. parahippocampales
8	M170	140	70	±23.4,-67.2,1.0	S.occipitotemporales medialis
8	M400	284	73	±31.4,-35.9,-5.9	G. fusiformes
9	N170	168	88	±42.5,-68.5,-11.7	G. fusiformes
9	N400	452	86	±35.8,-58.6,-6.9	G. fusiformes
9	M170	164	82	±38.7,-58.7,0.1	G. fusiformes
9	M400	460	90	±43.1,-54.3,-17.3	G. fusiformes
10	N170	148	99	±36.7,-50.8,-17.1	G. fusiformes
10	N400	500	79	±29.1,-54.4,-24.7	G. fusiformes
10	M170	148	89	±36.6,-59.4,-9.5	G. fusiformes
10	M400	408	84	±35.8,-64.6,-11.3	G. fusiformes
11	N170	160	84	±29.6,-36.6,-22.3	G. fusiformes
11	N400	580	52	±28.4,-45.5,-22.1	G. fusiformes
11	M170	160	90	±20.7,-51.3,-22.7	G. fusiformes
11	M400	450	82	±38.8,-69.1,-6.7	G. fusiformes
12	N170	152	84	±39.5,-30.3,-1.7	G. temporales medii
12	N400	604	90	±22.6,-45.5,-22.1	G. fusiformes
12	M170	168	80	±21.3,-67.9,-22.2	G. fusiformes
12	M400	540	85	±20.3,-5.8,16.6	Parietaler Kortex

Anmerkungen zu Tabelle 15: VP: Versuchsperson; Latenz: Latenz des maximalen GOF-Wertes; Dipolkoordinaten: Talairachkoordinaten in mm.

4.6.3 Quellorte von N / M400 für die Gruppe der Versuchspersonen und Vergleich mit den Lokalisationsergebnissen von N / M170

Analog zur Lokalisation der M170 wurde zunächst für die M400 der mittlere Dipolort über die Ortskoordinaten aller 12 Personen berechnet. Dieser lag bei $x = \pm 30 \pm 8$ mm, $y = -51 \pm 10$ mm, $z = -10 \pm 10$ mm und entsprach im Standard-MRT einer Quelle im mittleren medialen Gyrus fusiformis. Es wurde untersucht, ob der Quellort der M400 sich von dem der M170 ($x = \pm 29$ mm, $y = -63$ mm, $z = -16$ mm) unterschied, indem die Dipolkoordinaten für beide Lokalisationsergebnisse statistisch miteinander verglichen wurden. Für keine der drei Dimensionen zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen M170 und M400, obwohl sich ein deutlicher Trend zu einer weiter anterioren Lage der Quelle der M400 im Vergleich zur M170, anhand der y-Koordinate zu erkennen, ergab [x-Koordinate: $Z = -0.589$, $p = .583$; y-Koordinate: -1.726 , $p = .092$; z-Koordinate: $Z = -0.941$, $p = .38$]. Die mittleren Quellorte von M170 und M400 im Vergleich sind in Abbildung 4.40 im Standard-MRT gezeigt.

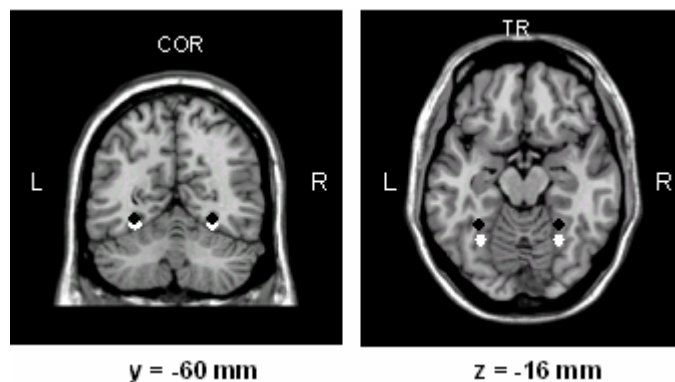


Abbildung 4.40: Mittlere Orte der M170 (weiß) und der M400 (schwarz) in coronarer (links) und transversaler (rechts) Ansicht des Standard-MRT.

Der Goodness of Fit-Wert der M400-Lokalisierungen (79%) zeigte im Vergleich mit dem Goodness of Fit-Wert der M170-Lokalisierungen, der bei 84% gelegen hatte, einen Trend zu niedrigeren Goodness of Fit-Werten [$Z = -1.649$, $p = .105$].

Die mittleren Dipolkoordinaten der N400, die über die Lokalisationsergebnisse von 10 Personen gemittelt wurden, lagen bei den Koordinaten $x = \pm 28 \pm 8$ mm, $y = -54 \pm 15$ mm, $z = -12 \pm 19$ mm. Diese Orte entsprachen einer Quelle im medialen Gyrus fusiformis. Die mittleren Dipolorte von N170 und N400 im Standard-MRT sind in Abbildung 4.41 dargestellt. Die Orte der N400 unterschieden sich von den Orten der N170 ($x = \pm 36$ mm, $y = -57$ mm, $z = -16$ mm) signifikant in der x-Koordinate [$Z = -2.803$, $p = .002$], in der die N400 weiter medial als die N170 lag. y- und z-Koordinate unterschieden sich nicht zwischen beiden Komponenten [$y = -0.255$, $p = .846$; z-Koordinate: $Z = -0.357$, $p = .770$]. Die Goodness of Fit-Werte der N400-Lokalisierungen lagen im Mittel bei $86 \pm 13\%$. Im Vergleich zu den Lokalisierungen der N170, deren

GOF-Werte im Mittel bei 92% gelegen hatten, ergab sich ein deutlicher Trend zu niedrigeren GOF-Werten der N400-Lokalisierungen [$Z = -1.719$, $p = .094$].

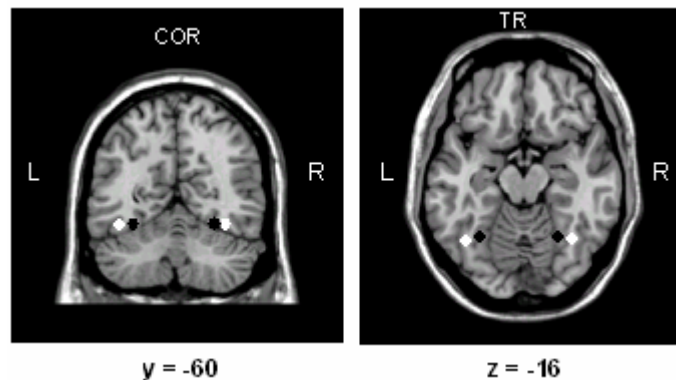


Abbildung 4.41: Mittlere Orte der N170 (weiß) und der N400 (schwarz) in coronarer (links) und transversaler (rechts) Ansicht des Standard-MRT.

Der Vergleich der Dipolorte von M400 und N400 ergab für keine der drei Dimensionen signifikante Unterschiede [x -Koordinate: $Z = -0.76$, $p = .492$; y -Koordinate: $Z = -0.153$, $p = .922$; z -Koordinate: $Z = 0.663$, $p = .557$]. Die Goodness of Fit-Werte von M400 und N400 unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant voneinander [$Z = -1.482$, $p = .16$].

4.6.4 Untersuchung der Quellstärken von M400 und N400

Für M400 und N400 wurden die Zeitkurven der Dipolstärke im Hinblick auf Effekte der Gesichterwiederholung und Effekte der Vertrautheit mit den Gesichtern im Primingexperiment auf die Quellstärke untersucht. Dafür wurden die Dipolstärken für jede Person aus dem individuellen Lokalisationsergebnis berechnet. Da sich in den Quelllokalisierungen von M / N400 teilweise sehr deutliche Unterschiede zwischen den Personen für die Zeitbereiche des Dipolfits ergeben hatten und somit eine Bildung der Mittelwerte für alle Personen über denselben Zeitbereich nach Stimulusbeginn nicht sinnvoll erschien, wurde für jede Person ein Mittelwert über ein Zeitfenster von 50 ms um den Zeitpunkt des maximalen Goodness of Fit-Wertes der Dipollokalisierungen gebildet und dieser Mittelwert zwischen den experimentellen Bedingungen verglichen. Um zu untersuchen, ob sich von Messung 1 zu 2 eine Veränderung der Dipolstärke ergeben hatte, wurden die Quellorte aus Messung 1 auf die Daten von Messung 2 projiziert und die Quellstärken für diese Orte berechnet. Dasselbe Vorgehen wählten Halgren et al. (2000) in ihrer Untersuchung der Quellstärken zwischen unterschiedlichen Stimuli. Sie projizierten die Quellorte aus einer Lokalisation für die Differenz zwischen Gesichtern und anderen Objekten auf die MEG-Daten bei Darbietungen verschiedener Arten von Gesichtern und anderer Objekte. Hinter diesem Vorgehen steckt die Annahme, daß die Orte der Aktivierung in den verschiedenen Bedingungen gleich bleiben und sich lediglich

die Stärke der Quelle möglicherweise verändert. Die Mittelwerte der Quellstärken der N400 sind in Abbildung 4.42 für die Wiederholungen mit kurzem (K1 bis K4) und langem Lag (L1 bis L4) in Messung 1 an rechter Hemisphäre (links, schwarze Balken) und linker Hemisphäre (rechts, graue Balken) gezeigt.

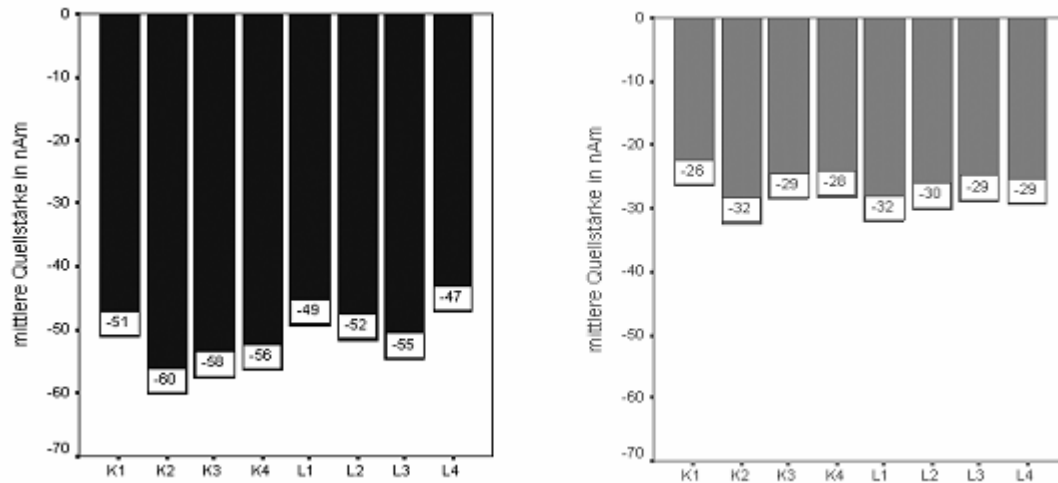


Abbildung 4.42: Gruppenmittelwerte der Quellstärken der N400-Dipole in Messung 1 für rechte (links) und linke (rechts) Hemisphäre. K1 bis K4: Gesichterwiederholungen mit kurzem Lag, L1 bis L4: Gesichterwiederholungen mit langem Lag. Am Ende jedes Balkens ist der Gruppenmittelwert angegeben.

Bei der Betrachtung der Quellkurven fiel zunächst ein Hemisphärenunterschied auf. Die Quellstärke schien in der linken Hemisphäre schwächer als in der rechten Hemisphäre. Diese Beobachtung wurde anhand des Vergleichs der jeweils ersten Darbietungen (K1 und L1) zwischen linker und rechter Hemisphäre überprüft. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Quellstärke zwischen linker und rechter Hemisphäre für das kurze Lag und ein Trend zum Hemisphärenunterschied für das lange Lag [K1 links – K1 rechts: $Z = -2.39$, $p = .01$; L1 links – L1 rechts: $Z = -1.48$, $p = .14$].

Bei der Untersuchung des Auftretens von Wiederholungseffekten zeigte sich in den Quellkurven eine sehr starke Varianz zwischen Einzelpersonen mit bis zu einer 50 mal größeren Feldstärke für die Quellkurven einiger Personen im Vergleich zu anderen Personen. Mittels Wilcoxontests wurden jeweils die erste und vierte Darbietung für beide Lags an linker und rechter Hemisphäre miteinander verglichen. Es zeigte sich an beiden Hemisphären für das kurze Lag kein Unterschied zwischen erster und vierter Darbietung [K1 – K4 links: $Z = -1.58$, $p = .13$; K1 – K4 rechts: -1.07 , $p = .32$], obwohl in der linken Hemisphäre ein Trend zu beobachten war. Für das lange Lag war ebenfalls in beiden Hemisphären kein Effekt der Gesichterwiederholung zu beobachten [L1 – L4 rechts: $Z = -1.17$, $p = .28$; L1 – L4 links: $Z = -0.76$, $p = .49$].

Die mittleren Quellkurven von Messung 2 sind analog zu Messung 1 in Abbildung 4.34 für kurzes und langes Lag an rechter und linker Hemisphäre dargestellt. Die Untersuchung der Quellstärke zwischen beiden Hemisphären für die jeweils ersten Darbietungen mit kurzem und langem Lag zeigte für das kurze Lag einen signifikanten Unterschied zwischen rechter und linker Hemisphäre [K1 links – K1 rechts: $Z = -1.96$, $p = .055$], für das lange Lag ergab sich jedoch kein hemisphärischer Unterschied in der Quellstärke [L1 links – L1 rechts: $Z = -1.26$, $p = .25$]. In der Untersuchung eines Primingeffektes auf die Quellstärke zeigte sich im

kurzen Lag an der rechten Hemisphäre kein Unterschied zwischen erster und vierter Darbietung [K1 – K4 rechts: $Z = -0.14$, $p = .95$]. An der linken Hemisphäre ergab sich aber ein Effekt der Gesichterwiederholung mit kurzen Lag von erster zu vierter Darbietung [K1 – K4 links: $Z = -2.1$, $p = .039$]. Die Quellstärke wurde von erster zu vierter Darbietung negativer. Sie nahm von -30 ± 25 nAm auf -44 ± 37 nAm zu. Im langen Lag zeigten sich an beiden Hemisphären keine Primingeffekte [L1 - L4 rechts: $Z = -0.84$, $p = .46$; L1 – L4 links: $Z = -0.28$, $p = .84$].

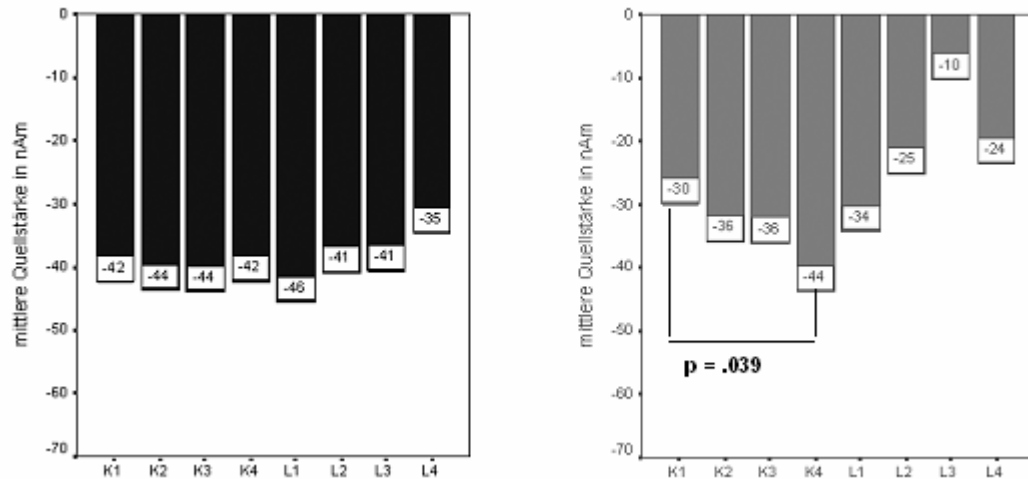


Abbildung 4.43: Gruppenmittelwerte der Quellstärken der N400-Dipollösungen für die rechte Hemisphäre (schwarze Balken, links) und die linke Hemisphäre (graue Balken, rechts) in Messung 2. Der p-Wert bezeichnet den Signifikanzwert des Unterschiedes in der Quellstärke zwischen erster und vierter Darbietung.

Der Vergleich zwischen den Quellstärken von Messung 1 und 2 wurde zunächst für die jeweils ersten und vierten Darbietungen vorgenommen. An der rechten Hemisphäre zeigte sich für die Darbietungen mit kurzem Lag ein Unterschied zwischen Messung 1 und 2 [K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $Z = -2.24$, $p = .023$] im Sinne einer weniger negativen Quellstärke in Messung 2 als in Messung 1. Die Quellstärke betrug in Messung 1 -51 ± 25 nAm, in Messung 2 dagegen -42 ± 16 nAm. Für die linke Hemisphäre zeigte sich dieser Unterschied zwischen erster und zweiter Messung dagegen nicht [$Z = -0.28$, $p = .84$]. Für die vierten Darbietungen mit kurzem Lag ergab sich an der rechten Hemisphäre ein Trend zum Unterschied zwischen Messung 1 und 2 [$Z = -1.68$, $p = .093$]. An der linken Hemisphäre ergab sich in diesem Vergleich kein Unterschied [$Z = -0.28$, $p = .84$]. Für das lange Lag ergaben die Vergleiche zwischen Messung 1 und 2 an rechter und linker Hemisphäre keine Unterschiede zwischen der Quellstärke bei den jeweils ersten Gesichterdarbietungen [linke Hemisphäre L1 Messung 1 – L1 Messung 2: $Z = -1.54$, $p = .15$; rechte Hemisphäre L1 Messung 1 – L1 Messung 2: -0.56 , $p = .64$] und auch keine Unterschiede für die vierten Darbietungen [linke Hemisphäre L4 Messung 1 – L4 Messung 2: $Z = -0.14$, $p = .95$; rechte Hemisphäre L4

Messung 1 – L4 Messung 2: $Z = -1.82$, $p = .08$], obwohl sich an der rechten Hemisphäre dort ein Trend zum Unterschied zwischen Messung 1 und 2 ergab.

Wie für die Lokalisationsergebnisse der N170 wurden auch die Quellstärken, die über alle Gesichterdarbietungen gemittelt worden waren, miteinander verglichen. Sie zeigten zwischen Messung 1 und 2 einen Unterschied an der rechten Hemisphäre im Sinne einer geringeren Quellstärke in Messung 2 [-27 ± 24 nAm] als in Messung 1 [-53 ± 29 nAm; $Z = -2.52$, $p = .012$]. Für die Quellstärken der linken Hemisphäre zeigte sich kein Unterschied zwischen Messung 1 [-30 ± 28 nAm] und 2 [-21 ± 29 nAm; $Z = -1.12$, $p = .26$].

Die Quellkurven des MEG wurden in derselben Weise wie für das EEG ausgewertet. Sie sind für Messung 1 in Abbildung 4.44 dargestellt. In Messung 1 zeigten sich keine hemisphärischen Unterschiede in den Quellstärken [K1 rechts – K1 links: $Z = -0.78$, $p = .47$; L1 rechts – L1 links: $Z = -0.39$, $p = .73$]. In der Untersuchung eines Primingeffektes zeigten sich im Vergleich von erster zu vierter Wiederholung keine Unterschiede für das kurze oder lange Lag an einer der beiden Hemisphären [K1 – K4 links: $Z = -0.55$, $p = .62$; K1 – K4 rechts: $Z = -10.2$, $p = .34$; L1 – L4 links: $Z = -0.24$, $p = .85$; L1 – L4 rechts: $Z = -0.16$, $p = .91$]. Somit waren in Messung 1 keine Effekte der Wiederholung auf die Quellstärken der M400 zu beobachten.

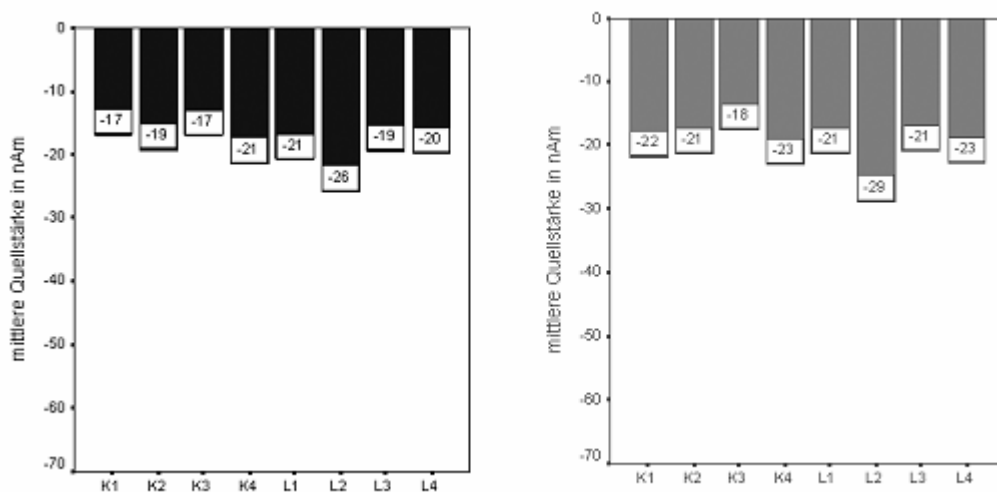


Abbildung 4.44: Gruppenmittelwerte der Quellstärken der M400-Dipollösungen für die rechte Hemisphäre (schwarze Balken, links) und die linke Hemisphäre (graue Balken, rechts) in Messung 1.

Die Quellstärken für Messung 2 sind in Abbildung 4.45 gezeigt. Es zeigte sich in Messung 2 für die MEG-Quellkurven ein Wiederholungseffekt in der linken Hemisphäre. Die Quellstärke nahm von erster zu vierter Darbietung signifikant ab [K1 – K4: $Z = -1.99$, $p = .049$]. Damit zeigte der Wiederholungseffekt allerdings eine andere Richtung als für das EEG. Dort hatte sich eine Zunahme der Quellstärke von erster zu vierter Darbietung mit kurzem Lag ergeben. Für das lange Lag ergab sich kein Wiederholungseffekt zwischen erster und vierter Darbietung [L1 – L4: $Z = -0.051$, $p = 1.0$]. An der rechten Hemisphäre zeigten sich weder für kurzes noch für langes Lag Effekte der Gesichterwiederholung [K1 – K4: $Z = -1.07$, $p = .32$; L1 – L4: $Z = -0.66$, $p = .56$].

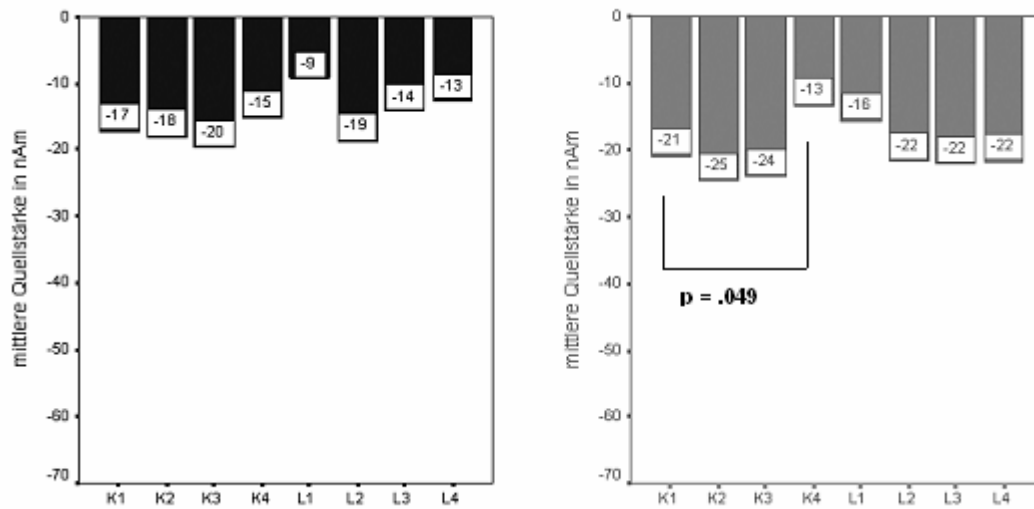


Abbildung 4.45: Gruppenmittelwerte der Quellstärken der M400-Dipollösungen für die rechte Hemisphäre (schwarze Balken, links) und die linke Hemisphäre (graue Balken, rechts) in Messung 2. Der p-Wert bezeichnet den Signifikanzwert des Unterschiedes in der Quellstärke zwischen erster und vierter Darbietung.

Im Vergleich der M400-Quellstärken von Messung 1 und Messung 2 zeigte sich für die jeweils ersten Darbietungen mit kurzem oder langem Lag kein Unterschied in der Quellstärke an linker Hemisphäre [K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $Z = -0.15$, $p = .92$; L1 Messung 1 – L1 Messung 2: $Z = -0.51$, $p = .95$] oder rechter Hemisphäre [K1 Messung 1 – K1 Messung 2: $Z = -0.87$, $p = .43$; L1 Messung 1 – L1 Messung 2: $Z = -0.96$, $p = .33$]. Die jeweils letzten Gesichterdarbietungen unterschieden sich ebenfalls weder für kurzes oder langes Lag zwischen Messung 1 und 2 [linke Hemisphäre: K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $Z = -1.58$, $p = .13$; L4 Messung 1 – L4 Messung 2: $Z = -0.23$, $p = .79$; rechte Hemisphäre: K4 Messung 1 – K4 Messung 2: $Z = -1.07$, $p = .28$; L4 Messung 1 – L4 Messung 2: $Z = -1.17$, $p = .24$]. Der Vergleich der über alle Gesichterpräsentationen gemittelten Quellstärken zwischen Messung 1 und 2 zeigte keinen Unterschied für rechte [$Z = -0.97$, $p = .38$] oder linke Hemisphäre [$Z = -0.05$, $p = 1.0$].

In der Lokalisation von M170 und N170 hatte sich ein Unterschied zwischen der Quellstärke von MEG und EEG ergeben. Die Quellstärke des MEG war am Peak der 170 ms-Aktivität kleiner als die des EEG. Für die Quellstärken von M400 und N400 war dieser Unterschied weniger deutlich. Es zeigte sich in den über alle Gesichterdarbietungen gemittelten Quellstärken nur für die Quellstärke der rechten Hemisphäre in Messung 1 ein Unterschied zwischen M400 und N400 [$Z = -2.19$, $p = .028$]. Die Quellstärke des MEG war hier mit -21 ± 18 nAm signifikant geringer als die Quellstärke des EEG mit -52 ± 29 nAm. Die anderen Quellstärken unterschieden sich nicht zwischen MEG und EEG [linke Hemisphäre Messung 1: $Z = -0.36$, $p = .72$; rechte Hemisphäre Messung 2: $Z = -1.12$, $p = .26$, linke Hemisphäre Messung 2: $Z = -0.42$, $p = .67$].

4.6.5 Zusammenfassung der Lokalisationsergebnisse von N400 und M400

Die Lokalisationsergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen im Hinblick auf die dipolaren Quellen von N400 und M400 und die Beantwortung der in Kapitel 2.3 gestellten Fragen folgende Schlußfolgerungen zu:

1.) Die dipolaren Quellen ereigniskorrelierter Potentiale um 500 ms nach Stimulusbeginn wurden in der vorliegenden Arbeit in den medialen Gyri fusiformes lokalisiert. Das Lokalisationsergebnis konnte nicht nur für den Gruppenmittelwert der Lokalisationsergebnisse, sondern auch für 63% der Versuchspersonen in den Einzelergebnissen gezeigt werden. Die dipolaren Quellen ereigniskorrelierter Felder konnten ebenfalls für das Gruppenmittel der Lokalisationsergebnisse in den medialen Gyri fusiformes lokalisiert werden. Hier zeigten sich bei 75% der Einzelpersonen dipolare Quellen in den Gyri fusiformes (Frage 6.5). Die Quelle zeigte im EEG eine Tendenz zur Rechtslateralisierung, im MEG war dagegen kein hemisphärischer Unterschied in der Quellstärke zu erkennen.

2.) Die Quellorte der Aktivierung unterschieden sich nicht zwischen MEG und EEG. Es zeigte sich jedoch ein Unterschied in der Latenz der Aktivierung – anhand der Latenz gemessen, zu der das Dipolmodell die maximale Passung an die Daten zeigte –, die lokalisiert wurde. Diese Aktivierung lag im EEG im Mittel bei 519 ms und im MEG bei 409 ms. Die Aktivierung im EEG war somit signifikant später als die Aktivierung im MEG (Frage 6.7).

3.) Der Vergleich mit den Quellorten von N170 und M170, die ebenfalls in den Gyri fusiformes lokalisiert wurden, zeigt für das MEG einen Trend zu einer weiter anterior gelegenen Quelle bei 400 ms im Vergleich zur Quelle bei 170 ms. Der Vergleich der Quellorte im EEG zeigt diesen Trend zum Unterschied weniger deutlich (Frage 6.8). Der Vergleich der Quellstärken zwischen N400 und M400 zeigte, daß sich im Gegensatz zum Vergleich von N170 und M170, bei dem sich deutliche Unterschiede zwischen MEG und EEG im Sinne einer schwächeren Quellstärke im MEG gezeigt hatten, der Unterschied bei N400 und M400 weniger deutlich war. Hier ergab sich nur an der rechten Hemisphäre im MEG ein Trend zu einer schwächeren Quellstärke im MEG als im EEG.

Die Untersuchung der Quellstärken der späten Aktivität zeigte die folgenden Ergebnisse:

1.) Es konnte in Messung 1 weder im kurzen noch im langen Lag ein Effekt des Gesichterprimings auf die Quellstärken in MEG oder EEG gezeigt werden. In Messung 2 zeigte sich jedoch ein Primingeffekt auf die Quellstärken in MEG und EEG (Frage 6.9), der nur für das kurze Lag und nur an der linken Hemisphäre bestand (Frage 6.10).

2.) Es zeigten sich Unterschiede in Quellstärken zwischen Messung 1 und 2 im Sinne eines generellen Effektes der Vertrautheit mit Gesichtern auf die Quellstärke nur für die rechte Hemisphäre im EEG, in der sich eine Verringerung der Quellstärke von Messung 1 zu Messung 2 ergab. Im MEG zeigte sich kein Effekt der Vertrautheit. Dies kann durch die unterschiedliche Latenz der Quellkurvenauswertungen bedingt sein.

4.7 Diskussion der Lokalisationsergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden Dipollokalisierungen simultan gemessener M170 und N170 sowie später MEG- und EEG-Aktivität um 400 ms bis 500 ms vorgenommen, die einen unmittelbaren Vergleich zwischen neuronalen Quellen der Gesichterverarbeitung in MEG und EEG ermöglichten. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Lokalisierungen zunächst für jede der Komponenten diskutiert. Dabei werden die Ergebnisse in Hinsicht auf die lokalisierten Quellorte von N170 (Kapitel 4.7.1), M170 (Kapitel 4.7.2), N400 (Kapitel 4.7.3) und M400 (Kapitel 4.7.4) diskutiert und in die Literatur zur Lokalisierung der Komponenten eingeordnet. Daran anschließend wird die Komplementarität der Lokalisationsergebnisse von MEG und EEG in Kapitel 4.7.5 diskutiert. In Kapitel 4.7.6 werden die Effekte der Gesichterwiederholung und der Vertrautheit mit Gesichtern auf N400 und M400 diskutiert. Die Bedeutung der Lokalisationsergebnisse von N / M170 und N / M400 für die Lokalisation neuronaler Aktivierung im kortikalen Netzwerk der Gesichterverarbeitung wird in Kapitel 4.7.7 erläutert.

Die neuronalen Generatoren von N / M170 und N / M400 konnten in den durchgeführten Lokalisierungen für Einzelpersonen modelliert werden. Ein solches Vorgehen hat im Vergleich zur Lokalisation auf Gruppenmittelwerten – die vor allem für die N170 und späte Komponenten im EEG in den meisten Studien durchgeführt wurde (z.B. Mnatsakanian und Tarkka, 2004; Rossion et al., 2003; Schweinberger et al., 2002) – den Vorteil, daß interindividuelle Unterschiede in der Verortung neuronaler Prozesse der Gesichterverarbeitung, die auch in anderen Meßverfahren der Gehirnaktivität wie fRMT (Kanwisher et al., 1997), und in intracerebralen Potentialableitungen (z.B. Allison et al., 1999) gefunden wurden, modelliert werden können.

Die Lokalisation an Einzelpersonen wurde durch die Anzahl von etwa 1000 Stimulusdarbietungen, über die in der Berechnung der ereigniskorrelierten Potentiale und Felder für jede Person gemittelt werden konnte, möglich gemacht. Die Mittelung über eine so hohe Anzahl von Epochen bewirkt ein gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis in den Meßdaten. Nicht zuletzt konnten durch die Co-Registrierung individueller struktureller magnetresonanztomographischer Gehirnaufnahmen (MRT) die anatomischen Quellorte aller Komponenten für die Einzelpersonen bestimmt werden.

4.7.1 Anzahl und Orte neuronaler Quellen der N170

Die Lokalisation neuronaler Quellen von elektrophysiologischen Oberflächenmessungen ist aufgrund des inversen Problems ein Verfahren, das zu keinen eindeutigen Lösungen führt. Das Vorhaben, die Quellen von N170 und M170 zu modellieren, stellt keine Ausnahme dieser Regel dar, und so wurden auch unterschiedliche neuronale Generatoren beider Komponenten in verschiedenen Lokalisierungsstudien vorgeschlagen. Vor allem die Frage nach den neuronalen Generatoren der N170 wurde und wird in der

Literatur kontrovers diskutiert (z.B. Itier und Taylor, 2004a; Rossion et al., 2004). Die Dipollokalisierungen der vorliegenden Arbeit bringen im Bezug auf die Quellorte der N170 weitere Evidenz für die Hypothese, daß der wichtigste neuronale Generator der N170 bei Gesichterarbeitung im Gyrus fusiformis liegt (Rossion et al., 2003). Dieser Generator konnte in der vorliegenden Arbeit zweimal für die Lokalisationen der N170 aus separaten Messungen in einem Messwiederholungsdesign gefunden werden. Die Frage nach der Repruzierbarkeit der Dipollokalisierungen kann somit für die N170 im Sinne eines neuronalen Generators im Gyrus fusiformis in Lokalisationen beider Messungen beantwortet werden. Es bestand eine gute Reproduzierbarkeit der Dipollösungen.

Allerdings wurde die dipolare Quelle der N170 in Messung 1 im lateralen Anteil der Gyri lokalisiert, während sie in Messung 2 im medialen Teil der Gyri lokalisiert wurde. Dieser Unterschied könnte möglicherweise durch die Vertrautheit der Gesichter erzeugt worden sein. In Messung 1 waren die Gesichter den Personen völlig unbekannt, während sie in Messung 2 aus Messung 1 und den Lernsitzen visuell vertraut waren.

Für beide Messungen erklärte die bihemisphärische Quelle im Gyrus fusiformis für die Gruppe der Versuchspersonen mehr als 90% (92% in Messung 1 und 95% in Messung 2) der Datenvarianz des Ganzkopf-EEG am Höhepunkt der N170-Aktivität. Dieses Ergebnis zeigt eine nahezu vollständige Erklärung der am ganzen Kopf gemessenen N170-Daten durch die Gyrus fusiformis-Dipole an. Eine Bekräftigung der Gruppenergebnisse bringen die anhand der individuellen Gehirnaufnahmen ermittelten Quellorte der N170 für die Einzelpersonen, die bei fast 75% der Personen in Messung 1 in den Gyri fusiformes lagen, in Messung 2 lagen sie allerdings nur bei 40% an diesem Ort. Somit zeigte sich in Messung 2 eine größere Abweichung der Quellorte der Einzelpersonen von neuronalen Generator im Gyrus fusiformis als in Messung 1, obwohl der Mittelwert der Dipolkoordinaten in Messung 2 ebenfalls in den Gyri fusiformes lag. Ein Grund für die stärkere Abweichung der Quellorte könnte auch hier die größere Vertrautheit der Gesichterstimuli sein, die möglicherweise zu einer Veränderung des dominanten neuronalen Generators um 170 ms bei einigen Personen führte.

Neben der Hypothese eines hauptsächlich neuronalen Generators der N170 in den Gyri fusiformis wurde in der Literatur angenommen, daß die N170 eine aus zwei Paaren neuronaler Quellen in rechter und linker Hemisphäre zusammengesetzte Aktivität sei, die im Gyrus fusiformis *und* im Gyrus lingualis (Mnatsakanian und Tarkka, 2004), im Gyrus temporalis inferior *und* im Gyrus fusiformis (Shibata et al., 2002) oder im Gyrus fusiformis *und* im Sulcus temporalis superior (Horovitz et al., 2004) generiert würde. Hierbei wurde von Shibata et al. (2002) und von Mnatsakanian und Tarkka (2004) angenommen, daß die beiden verschiedenen neuronalen Generatoren zu unterschiedlichen Zeitpunkten zwischen 120 ms und 200 ms aktiv seien. Shibata et al. (2002) und Mnatsakanian und Tarkka (2004) fanden die Gyri fusiformes vor allem bei 160 ms und zur Peakaktivität der N170 aktiv, während andere Areale zu sehr frühen (Shibata et al., 2002) oder späten Zeitpunkten (Mnatsakanian und Tarkka, 2004) der N170 aktiviert waren. Auch wenn die in der vorliegenden Lokalisation gefundenen Ergebnisse plausibel für ein Paar neuronaler Generatoren am *Peak* der N170 sprechen, ist es möglich, daß in Wirklichkeit zwei oder sogar noch mehr Paare neuronaler Generatoren

zur *gesamten* N170-Komponente, die sich mit Anstieg und Abstieg von etwa 130 ms bis fast 200 ms erstreckt, an der Kopfoberfläche beitragen.

Im Gegensatz zu Rossion et al. (2003), Mnatsakanian und Tarkka (2004), Shibata et al. (2002) und der vorliegenden Studie nahmen mehrere Autoren an, daß den Gyri fusiformes entweder überhaupt keine Rolle in der Entstehung der N170 (Schweinberger et al., 2002; Rossion et al., 2004) oder nur eine sehr untergeordnete Rolle (Itier und Taylor, 2004a) zukomme. Stattdessen wurden die Quellen der N170 in den Gyri temporales inferiori (Schweinberger et al., 2002), im sogenannten occipitalen Gesichterareal (Rossion et al., 2004), das in den Gyri occipitales inferiori liegt (siehe auch Kapitel 1.5.2 zum occipitalen Gesichterareal) und an den Sulci temporales superior (STS, siehe Kapitel 1.5.3) vermutet (Itier und Taylor, 2004a). Keines dieser Ergebnisse konnte für die Gruppenmittelwerte der N170 in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Eine wichtige Frage ist jedoch, wie die Unterschiede der vorliegenden Lokalisationsergebnisse zu Schweinberger et al. (2002) und Itier und Taylor (2004) entstanden sein können. Rossion et al. (2004) nahmen den Generator der N170 im occipitalen Gesichterareal nicht aufgrund von Dipollokalisierung an, sondern aufgrund von Einzelfallstudien an zwei neurologischen Patienten.

Ein Faktor, der zu den unterschiedlichen Ergebnissen zwischen den Lokalisationen beigetragen haben kann, sind methodische Unterschiede in den Lokalisationsprozeduren. Schweinberger et al. (2002) etwa lokalisierten auf dem Gruppenmittelwert der N170, der aus den ERP von 12 Personen und etwa 90 Epochen pro Person gebildet wurde, während in der vorliegenden Studie der Gruppenmittelwert der Dipolorte aus den Lokalisationsergebnissen der 11 Einzelpersonen gebildet wurde. Die Daten der Einzelpersonen wurden in der vorliegenden Arbeit jeweils über 1000 Epochen gemittelt, so daß die vorliegende Epochenzahl von etwa 11000 Epochen über alle Versuchspersonen im Gegensatz zu insgesamt etwa 1.080 Epochen bei Schweinberger et al. (2002) steht und sich beide Studien möglicherweise in der Qualität der Messdaten unterscheiden. Eine nachträglich durchgeführte Dipollokalisierung auf dem Gruppenmittelwert der N170 ergab jedoch in der vorliegenden Studie keinen neuronalen Generator der N170 im Kortex. Ein weiterer Unterschied zur Studie von Schweinberger et al. (2002) ist die Erfassung der genauen Positionen der EEG-Elektroden an der Kopfoberfläche und die Modellierung der Kopfgröße in der vorliegenden Studie. Diese wurden bei Schweinberger et al. (2002) nicht in den Lokalisationsalgorithmus eingebaut, sondern wurden stattdessen anhand von Standardwerten des Lokalisationsprogramms modelliert. Der von Schweinberger et al. (2002) gefundene Quellort der N170 in den Gyri temporales inferiori wurde in der vorliegenden Studie weder für das Gruppenmittel noch für irgendeine der Einzelpersonen in N170 oder M170 gefunden.

Eine weitere Ursache der unterschiedlichen Lokalisationsergebnisse könnte jedoch unabhängig von der Qualität der durchgeführten Lokalisationen sein und in der Verschiedenheit der Gesichterstimuli liegen. Schweinberger et al. (2002) lokalisierten die N170 für berühmte Gesichter, während in der vorliegenden Arbeit unbekannte Gesichter in Messung 1 und visuell vertraute Gesichter in Messung 2 eingesetzt wurden. fMRT-Studien (z.B. Henson et al., 2000) zeigten, daß neuronale Aktivierungsmuster in inferotemporalen Kortexarealen mit unterschiedlicher Bekanntheit von Gesichtern variieren. Es ist zum Beispiel möglich, daß Gesichter berühmter Personen auch in frühen Zeitbereichen wie der N170 zusätzliche neuronale Quellen aktivieren oder eine qualitativ andere Aktivierung erzeugen. Schon Bruce und Young (1986) nahmen in ihrem

kognitiven Gesichterverarbeitungsmodell getrennte Wege in der Verarbeitung bekannter und unbekannter Gesichter an.

Unterschiede in den Mustern neuronaler Aktivierung wurden im fMRT auch für verschiedene kognitive Aufgaben der Gesichterverarbeitung gefunden (Hoffman und Haxby, 2000). In der vorliegenden Arbeit wurde mit der Unterscheidung zwischen Erwachsenen- und Kindergesichtern eine Aufgabe gestellt, die sehr stark auf die Analyse perzeptueller Gesichtsmerkmale ausgerichtet war. Bei Schweinberger et al. (2002) wurde dagegen eine Bekanntheitsentscheidung für die Gesichter getroffen. Es ist möglich, daß bei der rein perzeptuellen Aufgabe für unbekannte und auch für rein visuell vertraute Gesichter der Gyrus fusiformis im Zeitbereich der N170 stärker aktiviert ist und dieses Areal dann eher als der dominante neuronale Generator um 170 ms hervortritt als in der Bekanntheitsentscheidung für berühmte Gesichter bei Schweinberger et al. (2002).

Der Vergleich der vorliegenden Ergebnisse zu den Lokalisationsergebnissen von Itier und Taylor (2004a) ist schwierig zu ziehen, da die Autoren einen ganz anderen Lokalisationsansatz der N170 wählten als die vorliegende Untersuchung. Dieser unterschied sich von dem hier gewählten Lokalisationsalgorithmus, da die Zahl der Quellen der N170 nicht a priori festgelegt werden musste, sondern vom Lokalisationsalgorithmus selbst ermittelt wurde. Itier und Taylor (2004a) fanden die Quelle der N170 im Sulcus temporalis superior (STS). Eine N170-Quelle nahe dem STS konnte in den vorliegenden Lokalisationen bei zwei der elf Personen für die N170 in Messung 1 gefunden werden. Itier und Taylor (2004a) konnten bezüglich der Abweichung ihrer Lokalisationsergebnisse im Vergleich zu den N170-Quellen in anderen Studien keine eindeutige Interpretation geben und nahmen Unterschiede im Fokus der Gesichterverarbeitung, die durch die Aufgabe evoziert wurden, sowie unterschiedliche Lokalisationsalgorithmen als Ursache der differierenden Ergebnisse an.

Bei der Untersuchung der Quellstärken der N170 und der M170 zeigten sich keine Lateralisierungstendenzen. Ein Unterschied bestand jedoch zwischen den Quellstärken von MEG und EEG. Die Quellstärken des EEG waren am Peak der 170 ms-Aktivierung stärker als die des MEG. Dieser Unterschied könnte durch den zusätzlichen Anteil radialer Generatoren, den das EEG, nicht jedoch das MEG misst, erklärt werden. Bei Zutreffen dieser Annahme sprechen die deutlichen Unterschiede zwischen den Quellstärken von N170 und M170 für einen nicht unerheblichen radialen Anteil der 170 ms-Quelle, den das EEG messen kann.

Der Vergleich mit den Quellstärken der späteren Aktivierung um 400 ms zeigte, daß sich dort der Unterschied zwischen MEG und EEG in der Aktivierung des Gyrus fusiformis nur in der rechten Hemisphäre andeutete und ansonsten kein Unterschied zwischen den Quellstärken von MEG und EEG zu beobachten war, obwohl die Quellen der N400 und M400 ebenfalls in den Gyri fusiformes lokalisiert wurden. So kann für die 170 ms-Aktivität plausibel ein deutlicher Beitrag eines radial orientierten neuronalen Generators angenommen werden, der für den Unterschied zwischen N170- und M170-Quellstärke verantwortlich ist. Dieses Ergebnis könnte auch mögliche Unterschiede zwischen den Reaktionseigenschaften von M170 und N170 in der Literatur erklären.

4.7.2 Anzahl und Orte neuronaler Quellen der M170

Der Möglichkeit, daß in den hier berichteten Lokalisationsergebnissen zufällig der falsche Ort der N170 in den Gyri fusiformes modelliert wurde, kann bei Betrachtung der Lokalisationsergebnisse für die M170 ein gewichtiges Argument entgegengesetzt werden. Diese Lokalisationen fanden eine Quelle der M170 ebenfalls in den Gyri fusiformes. Wie schon für die Lokalisationen der N170 vorgenommen, wurde die Reliabilität der M170-Lokalisationsergebnisse geprüft, indem verschiedene Lokalisationen der M170 durchgeführt wurden. Zunächst wurde die Lokalisation für die MEG-Daten des Ganzkopf-MEG mit 93 Meßkanälen durchgeführt. Diese waren einer Artefaktkorrektur mittels ICA unterworfen worden, die vor allem Magnetfelder, die durch den Herzschlag im MEG entstehen und Meßartefakte im MEG darstellen (Sander et al., 2002), entfernt hatte. Die Lokalisationsergebnisse für diese Daten zeigten dipolare Quellen der M170 in den Gyri fusiformes. Die Varianz der Dipolorte war jedoch für die M170 größer als für die N170 und die Goodness of Fit-Werte waren kleiner.

Eine zweite M170-Lokalisation wurde auf den 93-Kanal-MEG-Daten derselben Messung durchgeführt, die allerdings keiner Artefaktkorrektur unterzogen worden waren. Der Dipolort lag bei dieser Lokalisation außerhalb des Kortex im Kleinhirn direkt unter den Gyri fusiformes. Das MEG misst hauptsächlich kortikale Aktivierung, so daß ein Quellort im Cerebellum eher unplausibel ist (Hari, 1996). Die ICA hatte keinen Einfluß auf den Ort der M170 in lateral-medialer oder in anterior-posteriorer Dimension. Der Vergleich dieser Lokalisationsergebnisse mit denen der ICA-bereinigten Daten zeigte, daß die Artefaktkorrektur, wenn auch statistisch nicht signifikant, zu einer Verbesserung der Lokalisationsergebnisse geführt hatte. Der Effekt der ICA lag bei einigen Personen in einer Bewegung des Dipolortes zu einer weiter superior gelegenen Quelle. So konnte die Frage nach dem Effekt der Artefaktkorrektur mittels ICA auf die Qualität der Lokalisationen im Sinne einer – wenn auch statistisch nicht signifikanten – Tendenz zur Verbesserung der Lokalisationsergebnisse durch die ICA beantwortet werden.

Da einige Autoren (z.B. Tarkiainen et al., 2003) annahmen, daß eine Dipollokalisierung für MEG-Daten besser durchzuführen sei, wenn die Lokalisation für die MEG-Sensoren durchgeführt würde, die ein maximales Signal zeigten, und weiter entfernt vom stärksten Sensor liegende Sensoren aus der Lokalisation ausgeschlossen würden, wurden die ICA-korrigierten MEG-Daten auch einer Dipollokalisierung mit einer fokalen Sensorauswahl unterzogen und getestet, ob sich das Lokalisationsergebnis im Vergleich zur Ganzkopf-MEG-Lokalisation verbessert hatte. Das Feld der M170 ist über hinteren (occipitalen und temporalen) Kopfarealen am stärksten. Deshalb wurden die 37 am weitesten hinten gelegenen MEG-Sensoren in die Dipollokalisierung einbezogen und alle weiter anterior gelegenen Sensoren aus der Lokalisation ausgeschlossen. Dieses Vorgehen wurde auch in anderen Lokalisationen der M170, zum Beispiel bei Halgren et al. (2000) gewählt. Weitere Studien (z.B. Watanabe et al., 2003; Lu et al., 1991) erfassten das MEG mit einem Gerät, das nur über bestimmten Kortexarealen platziert werden konnte und maßen so direkt nur die ereigniskorrelierten Felder über hinteren Kortexarealen. Die Sensorauswahl führte in

der vorliegenden Studie im Hinblick auf den Ort der dipolaren M170-Quelle zum selben Ergebnis wie die Lokalisation mit allen 93 MEG-Sensoren. Die Vermutung einer besseren Lokalisierbarkeit der Quellorte mit einer fokalen Sensorauswahl wurde in der vorliegenden Arbeit für die M170 nicht bestätigt. Es wurden auch hier Orte in den Gyri fusiformes lokalisiert, die sich nicht signifikant von den Quellorten der 93-Sensor-Lokalisation unterschieden.

Ein Unterschied zwischen beiden Prozeduren wurde jedoch in der Höhe des Goodness of Fit-Wertes gefunden, der ein Maß für die Passung des Dipolmodells an die Daten ist. Dieser war für die MEG-Sensorauswahl signifikant höher als für alle 93 MEG-Sensoren und unterschied sich nicht mehr vom Goodness of Fit-Wert der N170-Lokalisationen, was bei der Lokalisation mit allen MEG-Meßsensoren der Fall gewesen war. Somit reflektierte der für die Ganzkopf-MEG-Lokalisationen gefundene Unterschied der GOF-Werte zum EEG die fokaleren Meßeigenschaften des MEG im Vergleich zum EEG und war nicht durch eine schlechtere Erklärung der Daten durch das gefundene Dipolmodell entstanden.

Beim Vergleich mit den Goodness of Fit-Werten anderer Lokalisationsstudien der M170 zeigen sich GOF-Werte in derselben Größenordnung. Während in der vorliegenden Arbeit ein GOF von 90% mit einer fokalen Sensorauswahl gefunden wurde, erhielten Halgren et al. (2000) für die Lokalisation der OT 165 bei Gesichterdarbietung mit einer fokalen Sensorauswahl einen GOF von 88%, bei Watanabe et al. (2003) lagen die GOF-Werte für fokale Sensoren im Bereich von etwa 85% bis 88%. Der Goodness of Fit-Wert sollte als Maß der Qualität einer Dipollokalisation nicht überbewertet werden, aber er gibt gerade für eine fokale Meßmethode wie das MEG einen guten Hinweis auf die Angemessenheit des Dipolmodells für die Erklärung der Daten. Aufgrund der GOF-Werte kann für die M170 eine angemessene Erklärung der Daten durch das Zweiquellenmodell im Gyrus fusiformis angenommen werden.

Die Lokalisationen der M170 wurden auch für die Messungen 1 und 2 miteinander verglichen. Die Lokalisationsergebnisse unterschieden sich weder in den Goodness of Fit-Werten noch in den Dipolorten voneinander, sondern zeigten ganz im Gegenteil sogar eine überraschend hohe Übereinstimmung. Der größte Unterschied zwischen den mittleren Dipolkoordinaten beider Messungen betrug 2 mm in der z-Koordinate. In x- und y-Koordinate unterschieden sich die Dipolorte nur um einen Millimeter voneinander. Trotz höherer interindividueller Varianz der Dipolorte im MEG im Vergleich zum EEG zeigte sich so für das Mittel der Dipolorte im MEG zwischen Messung 1 und 2 eine bessere Übereinstimmung als im EEG, und die Frage nach der Reproduzierbarkeit der Dipollokalisationen für Daten zweier verschiedener Messungen konnte für die M170 im Sinne einer sehr hohen Reproduzierbarkeit der Lokalisationsergebnisse beantwortet werden. Angesichts der Vielzahl möglicher Ursachen von Meßungenauigkeiten, die eine Dipollokalisation beeinflussen können, überrascht die klare Konsistenz der Dipolorte zwischen den verschiedenen MEG-Datensätzen in der vorliegenden Arbeit. Ein Grund für diese gute Übereinstimmung ist sicherlich die hohe Qualität der MEG-Daten, die durch die Mittelung ereigniskorrelierter Potentiale und Felder über etwa 1000 Epochen pro Person zustande kam und durch die zusätzliche Bereinigung der MEG-Daten von Artefakten mittels ICA noch verbessert wurde.

Im Vergleich der vorliegenden Lokalisationsergebnisse zu den in der Literatur berichteten Dipollokalisationen von ereigniskorrelierten Feldern bei Gesichterdarbietung zeigen sich deutliche

Übereinstimmungen. Halgren et al. (2000), Watanabe et al. (2003), Watanabe et al. (1999), Hoshiyama et al. (2003), Lewis et al. (2003), Linkenkaer-Hansen et al. (1998), Sato et al. (1999) und Swithenby et al. (1998) fanden alle ereigniskorrelierte Felder bei Gesichterdarbietung zwischen 150 ms und 200 ms nach Stimulusbeginn im Gyrus fusiformis lokalisiert. Halgren et al. (2000) gaben als einzige Autoren die Talairachkoordinaten ihrer OT165-Quelle in den Gyri fusiformes an. Die Quelle der OT 165 lag in der rechten Hemisphäre bei 35, -64, -8 und in der linken Hemisphäre bei 38, -65, -14. In der vorliegenden Studie zeigten sich für die Lokalisation der M170 (ICA, Messung 1, Lokalisation für alle Sensoren) Talairachkoordinaten von ± 29 , -63, -16. Der größte Unterschied zu Halgren et al. (2000) besteht in der x-Koordinate mit Differenzen von 9 mm in der linken Hemisphäre. Die anderen beiden Koordinaten unterscheiden sich um höchstens 2 mm in den y-Koordinaten und um 8 mm in den z-Koordinaten von Halgren et al.'s (2000) Ergebnissen.

Unterschiede zwischen Quellorten der funktional gleichen neuronalen Aktivierung bei Gesichterdarbietung zeigten sich in dieser Größenordnung aber auch zwischen verschiedenen fMRT-Studien trotz der hohen räumlichen Präzision dieser Methode. Die vorliegende Arbeit konnte somit weitere Evidenz für neuronale Quellen gesichtersensitiver Verarbeitung um 170 ms im MEG in den Gyri fusiformis bringen.

4.7.3 Anzahl und Orte neuronaler Quellen der N400 und Vergleich mit der N170

Die Lokalisationsergebnisse der N400 zeigten im Gruppenmittel der Dipolorte eine dipolare Quelle von Gesichterverarbeitung im mittleren Teil des Gyrus fusiformis beider Hemisphären. Diese Quelle unterschied sich in ihrer Lage (± 28 , -54, -10) in der medial-lateral-Dimension vom Quellort der N170 (± 36 , -57, -16). Sie lag signifikant weiter medial als die N170-Quelle. Beide Quellen lagen jedoch im mittleren bis posterioren Anteil der Gyri. Die Quellen der N400 konnten nicht nur für das Gruppenmittel der Dipolkoordinaten, sondern auch für sieben von elf Einzelpersonen in den Gyri fusiformes lokalisiert werden. Der Goodness of Fit der Lokalisationen lag im Mittel bei 86% und unterschied sich nicht signifikant zwischen N400 und N170, obwohl sich ein Trend zum niedrigeren GOF bei der N400 zeigte.

Dieser Unterschied im GOF-Wert zwischen N170 und N400 könnte durch den späten Zeitpunkt der N400-Aktivierung begründet sein. Besonders zu späten Zeitpunkten sind möglicherweise mehrere Areale an der Gesichterverarbeitung beteiligt, wie sich etwa in der Lokalisationsstudie von Mnatsakanian und Tarkka (2004) bei der Lokalisation von Quellen der Gesichterverarbeitung um 400 ms bis 600 ms nach Stimulusbeginn zeigte. So kann ein Quellenmodell mit einem Paar von Quellen, wie es in der vorliegenden Lokalisation eingesetzt wurde, einen Teil der Aktivierung, die zu diesem Zeitpunkt sehr wahrscheinlich auch in anderen Hirnarealen abläuft, möglicherweise nicht aufklären. Die Lokalisationsergebnisse sprechen dennoch dafür, daß auch auf der Ebene der N400-Aktivität der dominante neuronale Generator im Gyrus fusiformis lag. Bei Mnatsakanian und Tarkka (2004) wurde zudem EEG-Aktivierung für persönlich bekannte

Gesichter lokalisiert. Für solche Gesichter sind im Gegensatz zu unbekanntem oder rein visuell vertrauten Gesichtern verbal vermittelte semantische Informationen vorhanden (Bruce und Young, 1986), so daß die lokalisierte Aktivierung auch aus diesen Quellen entstanden sein kann.

Mnatsakanian und Tarkka (2004) fanden für die Untersuchung der Aktivierung bis 600 ms nach Stimulusbeginn späte Quellen nach 300 ms im Gyrus cingulus und Nucleus caudatus. Sie brachten beide Quellen mit veränderter emotionaler Aktivierung bei Gesichterwiederholung in Verbindung. Sie lokalisierten frühere Aktivierung bei etwa 150 ms und 160 ms im Gyrus fusiformis und fanden für diesen Generator eine Veränderung der Quellstärke bei Wiederholung der bekannten Gesichter im Vergleich zu neu gezeigten Gesichtern im Zeitbereich von 400 ms bis 600 ms. Dieser Effekt zeigt, daß eine Gyrus fusiformis-Aktivierung wahrscheinlich auch in der Studie von Mnatsakanian und Tarkka (2004) bei 400 ms bis 600 ms stattfand. Die Gyrus fusiformis-Quelle von Mnatsakanian und Tarkka (2004) lag in anterior-posterior-Dimension etwa bei den Talairachkoordinaten -32 mm in linker und rechter Hemisphäre, und die Aktivierung in beiden Hemisphären lag trotz fehlender Symmetriebeschränkung bei der Lokalisationsprozedur symmetrisch zueinander. Die Gyrus fusiformis-Quelle lag im Vergleich zur N400 der vorliegenden Arbeit um etwa 2 cm weiter anterior.

Schweinberger et al. (2002a und 2004) lokalisierten eine Quelle späterer Verarbeitung im EEG für *berühmte* Gesichter im Gyrus fusiformis. Sie lokalisierten diese Quelle für die Differenzkurven zwischen Erstpräsentation und Wiederholung der Gesichter und lokalisierten somit einen Primingeffekt. Die Koordinaten dieses Effektes lagen bei ± 48 , -49 , -1 mm und damit weiter lateral als die N400-Koordinaten der vorliegenden Studie. Die Latenz der Aktivierung bei Schweinberger et al. (2004) lag bei 265 ms bis 315 ms. In der vorliegenden Arbeit lag die Aktivierung mit im Mittel 509 ms deutlich später als bei Schweinberger et al. (2004), es ist jedoch möglich, daß zu sowohl bei etwa 250 ms als auch bei 500 ms Aktivierung im Gyrus fusiformis Aktivierung entsteht, wie der in einem der folgenden Textabschnitte gezogene Vergleich mit intracerebralen Messungen von Gesichterverarbeitung zeigt. Der Unterschied zum Ergebnis von Schweinberger et al. (2002) kann jedoch auch hier durch die variierende Bekanntheit der Gesichter entstanden sein.

Die Untersuchung der Aktivierung bei Verarbeitung unbekannter und rein visuell bekannter Gesichter ermöglichte in der vorliegenden Arbeit die Beschränkung auf die Erforschung von neuronaler Aktivierung, die rein aus der visuellen Information, die die Stimuli enthalten, entsteht. In der vorliegenden Arbeit wurden für die Lokalisationen zweier unterschiedlicher Zeitbereiche – 170 ms und 509 ms nach Beginn der Gesichterdarbietungen – ähnliche Quellorte im Gyrus fusiformis gefunden. Die Quellorte von N170 und N400 unterschieden sich maximal um 8 mm zwischen N170 und N400 und weisen somit auf eine Aktivierung unmittelbar benachbarter Areale des Gyrus fusiformis zu frühen und späten Zeitpunkten der Verarbeitung unbekannter Gesichter hin.

Weitere vergleichbare Lokalisationsstudien späterer Gesichteraktivität liegen nach den Ergebnissen der Literaturrecherche bislang nicht vor. Zusammenfassend zeigt sich eine klare Konsistenz in der Lokalisation späterer Aktivierung der Gesichterverarbeitung im Gyrus fusiformis zwischen der vorliegenden Arbeit und den oben zitierten Studien. Die vorliegende Arbeit konnte jedoch in Abgrenzung zu diesen Studien zeigen, daß

die neuronalen Quellen bei der Verarbeitung *unbekannter* Gesichter in zwei verschiedenen Lokalisationen sowohl für die N170 als auch für den Zeitpunkt um 500 ms nach Stimulusbeginn im Gyrus fusiformis lokalisiert werden und daß diesem Areal damit eine wichtige Bedeutung in der zeitlich frühen und späten Verarbeitung von *unbekannten* Gesichtern zukommt. Diese Aktivierung kann nicht auf die Verarbeitung verbal vermittelter semantischer Informationen zurückgeführt werden, sondern kann nur durch die Verarbeitung visuell extrahierbarer Gesichtsinformation entstanden sein.

Es zeigten sich in den Lokalisationsergebnissen Unterschiede zwischen den Quellstärken der 170 ms- und der 400 ms-Aktivität. Während die N170 keine Lateralisierung zeigte, bestand in der N400 eine Lateralisierung zur rechten Hemisphäre, wie sie in der Gesichterverarbeitung zum Beispiel im fMRT bei Kanwisher et al. (1997) im fusiformen Gesichterareal gezeigt wurde.

Die vorliegenden Lokalisationsergebnisse können klar mit den Ergebnissen intracerebraler Potentialmessungen bei Gesichterwahrnehmung (siehe dazu ausführlich Kapitel 2.6.1) in Verbindung gebracht werden. Allison et al. (1999) und Puce et al. (1999), aber auch Halgren et al. (1994) konnten an gesichterspezifischen Ableitungsorten des Gyrus fusiformis in rechter und linker Hemisphäre *sukzessive* Potentiale zu verschiedenen Zeitpunkten messen. Puce et al. (1999) etwa leiteten die N200 vom Gyrus fusiformis bei etwa 200 ms ab und fanden an denselben Ableitungsorten eine Potentialverschiebung, N700 genannt, bei 400 ms bis 900 ms. Sie fanden ebenfalls eine gesichterspezifische Aktivierung an rechtshemisphärischen Orten des Gyrus fusiformis bei 350 ms, die jedoch weiter anterior als ihre N700-Aktivierung und auch als die N400-Aktivierung der vorliegenden Arbeit registriert wurde. Halgren et al. (1994) registrierten Potentialverschiebungen bei 180 ms, 400 ms und 630 ms an denselben Ableitungsorten im Gyrus fusiformis. Beide Studien untersuchten wie auch die vorliegende Arbeit die Verarbeitung unbekannter Gesichter. Somit stellt die lokalisierte Aktivierung bei 500 ms in der vorliegenden Arbeit möglicherweise ein extracerebrales Korrelat dieser späten intracerebralen Potentialverschiebungen im Gyrus fusiformis dar.

4.7.4 Anzahl und Orte neuronaler Quellen der M400 und Vergleich mit der M170

Die vorliegende Arbeit modellierte nicht nur Quellen später ereigniskorrelierter Potentiale im Gyrus fusiformis, sondern auch die Quellorte vergleichbarer Aktivität im MEG. Diese Aktivierung lag mit einer Latenz von im Mittel 419 ms um 100 ms früher als die EEG-Aktivität. Die Latenz bezeichnete jedoch den maximalen Zeitpunkt der Passung des Dipolmodells an die Daten, und Latenzaussagen über Komponenten sind aufgrund der fehlenden Peakaktivität in späteren Zeitbereichen schwieriger zu treffen als bei frühen Komponenten. Die Betrachtung der Feldmuster des MEG in den Abbildungen 4.37 und 4.38 legt nahe, daß dieselbe neuronale Quelle, die bei 400 ms lokalisiert wurde, auch noch bei 500 ms aktiv war. Das Feldmuster unterscheidet sich dort bei den Personen nur in der Stärke von dem früheren Zeitbereich.

Die Quellorte von MEG und EEG unterschieden sich trotz des Latenzunterschiedes nicht voneinander. Die bereits im vorangehenden Abschnitt zitierten intracerebralen Potentialstudien (z.B. Puce et al., 1999) fanden eine N700-Aktivierung, die sich über mehrer Hundert Millisekunden erstreckte, so daß es auch bei Betrachtung dieser Ergebnisse möglich ist, daß die lokalisierte Aktivierung in MEG und EEG verschiedene Zeitbereiche derselben Quellaktivierung abbildet.

Die Lokalisationsergebnisse konnten im MEG nicht nur für das Gruppenmittel der Dipolorte im Gyrus fusiformis, sondern auch für neun von zwölf Einzelpersonen dort lokalisiert werden. Damit war die Konsistenz der Quellorte im MEG noch deutlicher als im EEG. Die dipolare Quelle erklärte 79% der Aktivierung am Höhepunkt der Passung des Dipolmodells an die Daten. Es zeigte sich ein Trend zu einem niedrigeren Goodness of Fit-Wert der M400-Lokalisationen im Vergleich zur M170.

Dieser Trend war auch im EEG zu beobachten und kann ebenso wie im EEG aus der gleichzeitigen Aktivierung anderer Hirnareale, die eher in späten Zeitbereichen angenommen wird, entstanden sein. Dennoch zeigten die Feldkarten der Einzelpersonen bei vielen Personen eine deutliche Dominanz des Feldmusters an posterioren MEG-Sensoren. Im MEG zeigte sich im Vergleich der Quellorte von M170 und M400 ein deutlicherer Trend als im EEG zur Verlagerung des Quellortes in anteriore Richtung zum Zeitpunkt der M400. Diese Tendenz wurde auch in intracerebralen Potentialstudien der Gesichterverarbeitung im Gyrus fusiformis beobachtet (Puce et al., 1999). Es zeigte sich in den Quellstärken der M400-Aktivität keine Tendenz zur Lateralisierung, wie sie für das EEG beobachtet worden war. Auch dieser Unterschied ist möglicherweise durch die frühere Latenz der M400 erklärbar.

Nach Ergebnissen der Literaturrecherche hat bislang eine Studie (Lu et al., 1991) späte Aktivierung bei Gesichterverarbeitung im MEG lokalisiert. Sie fand um 500 ms eine nicht gesichterspezifische Quelle im parietalen Kortex. Ein Quellort im parietalen Kortex wurde in der vorliegenden Arbeit lediglich für eine Person gefunden. Wie auch für die Lokalisationsergebnisse der N400 im vorangehenden Kapitel bereits diskutiert wurde, kann ein Bezug zwischen Lokalisationsergebnissen und den Ergebnissen intracerebraler Potentialmessungen bei Gesichterverarbeitung im Gyrus fusiformis hergestellt werden, die für unbekannte Gesichter sequentielle Aktivierung an denselben Ableitungsorten des Gyrus fusiformis bei 200 ms und 400 ms bis 900 ms fanden (Puce et al., 1999).

Ein Unterschied der Lokalisationsergebnisse sowohl von N400 als auch M400 im Vergleich mit den Ergebnissen N170 und M170 bestand in der Quellstärke. Während sich im frühen Zeitbereich eine deutlich größere Quellstärke des EEG an rechter und linker Hemisphäre gezeigt hatte, bestand dieser Unterschied zwischen MEG und EEG für die späte Aktivierung nur in der rechten Hemisphäre und war geringer ausgeprägt als auf der Ebene der N / M170. Dieses Ergebnis könnte darauf hinweisen, daß die Quellorientierung der späten Aktivierung sich von der Orientierung der Aktivierung um 170 ms unterscheidet. Die Quelle hätte im späten Zeitbereich dann vor allem eine tangential orientierte Orientierung, da das MEG rein radiale Quellen nicht abbilden kann (Hämäläinen et al., 1993). und somit eine in etwa gleichstarke Aktivierung in MEG und EEG – wenn sie aus derselben Quelle entsteht, wie die Lokalisationsergebnisse vermuten lassen – vor allem aus einer tangential orientierten Quelle entstanden sein kann.

4.7.5 Die Komplementarität von MEG und EEG für die Dipollokalisierung

Die Dipollokalisierungen von simultan gemessener N170 und M170 sowie N400 und M400 wurden durchgeführt, um einen direkten Vergleich zwischen den Lokalisations-ergebnissen von MEG und EEG zu ziehen. Das MEG mißt neuronale Aktivität bei derselben Anzahl von Meßsensoren präziser als das EEG, weil Magnetfelder an der Kopfoberfläche stärker fokussierte neuronale Aktivität abbilden als elektrische Potentialverschiebungen (Williamson und Kaufman, 1981) und weniger durch Strukturen zwischen neuronalen Quellen und Meßsensoren beeinflusst werden als ereigniskorrelierte Potentiale. Die Unterschiede zwischen MEG und EEG zeigen sich nicht nur in fokaleren MEG-Feldern als EEG-Potentialverteilungen an der Kopfoberfläche, sondern auch in schneller sich über die Zeit verändernden Feldmustern im MEG als im EEG. Das Vorhandensein mehrerer verschiedener ereigniskorrelierter Felder im Zeitbereich von 130 ms bis 200 ms war bei einigen Versuchspersonen zu erkennen und erschwerte die Wahl der M170-Komponente in der vorliegenden Arbeit. Im EEG konnte dagegen die N170-Komponente in allen Fällen eindeutig mit dem Kriterium, die auf die P100 folgende Komponente zu sein, bestimmt werden. Bei den Personen, bei denen auch ein EEG vorhanden war, geschah die Auswahl der M170 in Orientierung an der Latenz der N170.

Hoshiyama et al. (2003) nahmen an, daß aus Gründen der besseren räumlichen Auflösung des MEG es leichter möglich sein sollte, die M170 als die N170 zu lokalisieren. Das MEG mißt nicht nur die neuronale Aktivierung aufgrund der geringeren „Verschmierung“ im Vergleich zum EEG fokaler, sondern es bildet auch die neuronale Aktivierung auch selektiver ab als das EEG. Während das EEG Dipole aller räumlichen Orientierungen im Vergleich zum Kortex misst, erfäßt das MEG nur Aktivierung tangentialer Strukturen und erkennt rein radial zur Kopfoberfläche stattfindende Dipolaktivierung nicht. Im Überblick über die Literatur zu den neuronalen Quellen von N170- und M170-Lokalisierungen scheint die Behauptung von Hoshiyama et al. (2003) nicht unplausibel, da die Studien zur M170 und vergleichbaren Komponenten im MEG eine deutlichere Konsistenz in der Zahl neuronaler Quellen im Sinne eines neuronalen Generators in jeder Hemisphäre und im Ort der Quellen im Gyrus fusiformis zeigen als die Studien zur N170. Hier wurden fast alle Gehirnstrukturen, die als Teile des neuronalen Netzwerkes der Gesichtsverarbeitung im fMRT gefunden wurden (Haxby et al., 2000), auch als Generatoren der N170 angenommen.

Die Hypothese einer schlechteren Lokalisierbarkeit von N170 als von M170 bestätigte sich aber in den vorliegenden Lokalisierungen nicht. Quellorte der N170 im Gyrus fusiformis wurden in Messung 1 bei acht von elf Personen lokalisiert und erklärten die N170-Daten mit einem GOF von über 90%. Allerdings unterschieden sich die Orte der N170 zwischen Messung 1 und Messung 2. Die N170-Quelle in Messung 2 lag signifikant weiter medial als die Quelle in Messung 1 und zeigte in den Einzelpersonen in Messung 2 eine niedrigere Konsistenz der Quellorte als die M170, während alle MEG-Lokalisierungen sich im statistischen Vergleich der Dipolorte nicht voneinander unterschieden. So erscheinen die MEG-Lokalisierungen etwas stabiler im Hinblick auf die Bestimmung der Quellorte als die EEG-Lokalisierungen.

Die Frage, warum die Dipolorte der N170 sich zwischen beiden Messungen in der lateral – medialen Dimension voneinander unterschieden, ist schwer zu beantworten. Der Unterschied ist am ehesten durch eine Ungenauigkeit der Lokalisationen zu erklären, da angesichts der Tatsache, daß die Lokalisationen für das MEG in beiden Messungen an denselben Orten liegen, ein Unterschied nur für das EEG im Sinne einer systematischen Verschiebung der Quelle eher unplausibel ist. Möglich ist jedoch auch eine leichte Veränderung des Quellortes von lateralem Gyrus fusiformis in Messung 1 zu medialem Gyrus fusiformis in Messung 2 durch den Unterschied in der Vertrautheit der Gesichterstimuli zwischen beiden Messungen.

Insgesamt ergab der Vergleich von N170- und M170-Lokalisationen deutliche Hinweise, daß beide Verfahren dieselbe neuronale Quelle im posterioren Gyrus fusiformis abbilden. Nicht nur die Orte der Dipolaktivität für N170 und M170 (mit Ausnahme der lateralen Gyrus fusiformis-Lage der N170 in Messung 1) waren dieselben, sondern die Quellkurven von M170 und N170 zeigen auch beide einen ähnlichen Zeitverlauf. In Messung 2 zeigte sich allerdings in MEG und EEG eine spätere Latenz der Aktivität als in Messung 1. Dieser Unterschied könnte ebenfalls im Hinblick auf die unterschiedliche Vertrautheit mit den Gesichtern erklärt werden, er zeigt aber in der Literatur zu ereigniskorrelierten Potentialen für die N170-Komponente keine Entsprechung.

Die Ähnlichkeit der Lokalisationsergebnisse zwischen MEG und EEG konnte trotz der Wahl zweier unterschiedlicher Kopfmodelle in MEG und EEG gewonnen werden. Im MEG wurde der Kopf anhand einer Kugel modelliert, im EEG dagegen anhand einer Ellipse. Kopfmodelle können bei der Dipollokalisierung auch an die individuelle Geometrie des Kopfes angepasst werden (realistisch geformte Kopfmodelle). Im Vergleich mit einem sphärischen oder einem ellipsoiden Kopfmodell, die den Kopf ganz simpel als eine Kugel oder Ellipse modellieren, modellieren diese Modelle die anatomischen Gegebenheiten realistischer. Aber Tarkiainen et al. (2003) zeigten in ihrer Simulationsstudie für das MEG, daß das realistische Kopfmodell im Vergleich mit dem sphärischen Kopfmodell vergleichbare Lokalisationsergebnisse ergab. Tarkiainen et al. (2003) betonten eher die Wichtigkeit der Verbesserung des Singal-Rausch-Verhältnisses in den Daten und der Verringerung von Artefakten in den Messdaten. Dieses wurde in der vorliegenden Arbeit durch die hohe Anzahl von Epochen und durch die zusätzliche Artefaktkorrektur mittels ICA in den MEG-Daten erreicht.

Die Komplementarität von MEG und EEG für die Dipollokalisierung zeigte sich im Vergleich der einzelnen Personen, bei denen sich Abweichungen der Dipolorte vom Gyrus fusiformis in einer der beiden Methoden (MEG oder EEG) ergaben. Im Beispiel von Messung 1 fanden sich bei zwei Personen (# 3 und 12) Quellen der N170 beim gesichterspezifischen Areal STS, das MEG bildete dagegen bei diesen Personen die Aktivität der Gyrus fusiformis-Quelle ab. Bei einer Person (# 6) erfaßte das MEG Aktivierung in den Gyri occipitales inferiori. Bei einer letzten Person (# 2) bildeten sowohl MEG als auch EEG Aktivierung des occipitalen Gesichterareals ab. Unter der Annahme, daß diese Unterschiede nicht aus Lokalisationsfehlern entstanden sind, was natürlich nie ausgeschlossen werden kann, zeigen diese Ergebnisse die Wichtigkeit und den Vorteil simultaner Registrierung von MEG und EEG und der Durchführung von Lokalisationen bei Einzelpersonen, da bei einer alleinigen Messung des MEG oder EEG zum Beispiel die unterschiedlichen MEG- und EEG-Generatoren, die im Gehirn um 170 ms bei den Personen 3 und 12 gefunden wurden und die jeweils nur von

einer der beiden Meßmethoden abgebildet wurden, nicht entdeckt worden wären. Die Komplementarität von MEG und EEG hat auch eine Bedeutung bei Modellierung *derselben* Quellorte in beiden Methoden. Dieses Ergebnis wurde für die Gruppenmittelwerte der Dipollokalisierungen gefunden und erhöht die Plausibilität der Ergebnisse von MEG und EEG.

Für die Lokalisationsergebnisse von N400 und M400 zeigte sich ein Trend zur größeren Konsistenz der Quellorte des MEG im Vergleich mit dem EEG. Beide Quellorte unterschieden sich in der Testung über die Gesamtgruppe jedoch nicht voneinander, obwohl sich bei der M400 im Vergleich mit der M170-Quelle eher eine Tendenz zur Verschiebung der Quelle in anteriore Richtung zeigte, als dies im EEG zu beobachten war. Das MEG erscheint so im Vergleich zum EEG sensibler für geringfügige Veränderungen des Quellortes. Es ist jedoch auch möglich, daß das EEG wirklich die Quelle am selben Ort in beiden Zeitbereichen (170 ms und 500 ms) erfasste, während das MEG Aktivierung an leicht auseinanderliegenden Orten maß.

Während sich bei M170 und N170 kein Unterschied in der Latenz von MEG- und EEG-Aktivität gezeigt hatte, zeigte sich dieser in der späten Aktivierung deutlich. Das MEG erfasste Aktivierung um 400 ms mit der größten Aufklärung der Datenvarianz, während das EEG Aktivierung bei 500 ms erfasste. Die Latenzen in späten Zeitbereichen sind jedoch variabler in MEG und EEG als zu frühen Zeitpunkten, da Potential- und Feldverschiebungen sich in langanhaltenden Veränderungen zeigen, die eine Dauer von mehreren hundert Millisekunden haben können, so daß es möglich ist, daß die Aktivität derselben Quelle in EEG und MEG zu verschiedenen Zeitbereichen am besten abgebildet wird. Eine eindeutige Latenzbestimmung ist jedoch, wie auch oben schon erwähnt, in späten Zeitbereichen schwierig.

4.7.6 Primingeffekte und Effekte der visuellen Vertrautheit mit Gesichtern auf N400 und M400

In der vorliegenden Arbeit wurden Gesichter in einem Primingparadigma mehrmals wiederholt. Effekte der Gesichterwiederholung zeigten sich in EEG und MEG vor allem auf späte Komponenten. Da diese späten Zeitbereiche in den Lokalisationen von N400 und M400 modelliert wurden, konnte untersucht werden, ob die Wiederholung der Gesichter auf die Quellstärken der Aktivierung im Gyrus fusiformis bei 400 ms im MEG und bei 500 ms im EEG einen Effekt hatte. Es wurden nicht nur Effekte der Gesichterwiederholung untersucht, sondern es wurde auch der Effekt visueller Vertrautheit, der durch die Gesichterwiederholungen im Primingexperiment und durch die Durchführung von Lernsituationen mit den Gesichtern entstanden sein sollte, untersucht.

Die Projektion der Dipolorte von N400 und M400 auf die ereigniskorrelierten Potentiale bzw. Felder der einzelnen experimenteller Bedingungen zeigte für Messung 1, in der die Gesichter unbekannt waren, weder in MEG noch in EEG Primingeffekte der Wiederholungen mit kurzem oder langem Lag auf die Quellstärke. In Messung 2 zeigte sich in der linken Hemisphäre jedoch für den Vergleich der ersten Gesichterdarbietung mit der letzten Gesichterwiederholung (Darbietung 4) sowohl im MEG als auch im EEG ein Primingeffekt.

Der Effekt hatte für beide Methoden jedoch eine unterschiedliche Richtung: während sich im EEG eine Zunahme der Quellstärke bei Gesichterwiederholung zeigte, ergab sich im MEG eine Abnahme der Quellstärke bei Wiederholung.

Die Tatsache, daß für beide Methoden im Vergleich derselben experimentellen Bedingungen und in derselben Hemisphäre ein Primingeffekt auf die Quellstärke im Gyrus fusiformis gefunden werden konnte, unterstreicht trotz der unterschiedlichen Richtung der Effekte die Plausibilität jedes der beiden Ergebnisse. Der Unterschied in der Richtung der Aktivierungsveränderung zwischen MEG und EEG ist möglicherweise durch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Aktivierung erklärbar, der im EEG bei 500 ms und im MEG bei 400 ms lag. So bilden die Quellkurven von MEG und EEG möglicherweise zwei unterschiedliche Primingeffekte, die nur für die visuell vertrauten Gesichter im Gyrus fusiformis ablaufen, ab. Die unterschiedliche Richtung der Wiederholungseffekte zwischen MEG und EEG zeigte sich jedoch auch in den ERP- und ERF-Effekten für die Wiederholungen mit kurzem Lag in allen Zeitbereichen.

Die Tatsache, daß die Primingeffekte nur für die Quellstärken in Messung 2 gezeigt werden konnten, spricht für einen Einfluß der Vertrautheit mit Gesichtern auf die Effekte. Stärkere Primingeffekte für bekannte im Vergleich mit unbekanntem Gesichtern konnten in ERP und fMRT-Studien, aber auch in Reaktionszeitmessungen gefunden werden (eine ausführliche Darstellung des Einflusses der Bekanntheit von Gesichtern auf Primingeffekte findet sich in Kapitel 1.8.4.1). Die Existenz von Primingeffekten nur für visuell vertraute Gesichter bietet einen Hinweis darauf, daß an den modellierten Quellorten in den Gyri fusiformes in der linken Hemisphäre die Speicherung längerfristiger Stimulusrepräsentationen von Gesichtern auf visueller Ebene ablaufen könnte. Allerdings erscheint dieser Prozess nur durch die zeitnahe Aktivierung von Stimulusrepräsentationen getriggert zu sein, da sich für die Darbietungen mit langem Lag keinerlei Primingeffekte zeigten. Schweinberger et al. (2002a) sahen in ihrer N250r-Komponente, die sie im Gyrus fusiformis lokalisierten, ein Korrelat der Face Recognition Unit-Aktivierung. Der Primingeffekte auf der N250r war jedoch ebenfalls von der zeitnahen Wiederholung der Gesichter abhängig und bestand nicht für lange Abstände zwischen Wiederholungen.

In der vorliegenden Arbeit kann nicht unbedingt von einem Aufbau von Face Recognition Units nach der Definition dieser Einheiten von Bruce und Young (1986) ausgegangen werden. Dazu hätten die Gesichter wahrscheinlich aus mehreren Ansichtsperspektiven und in mehreren verschiedenen Aufnahmen oder möglicherweise sogar anhand von Videos in realistischen Situationen gezeigt werden müssen. Der Primingeffekt in den Quellkurven der Gyrus fusiformis-Aktivität hat somit möglicherweise mehr mit einer längerfristigen bildspezifischen Abspeicherung der Gesichteraufnahmen zu tun als mit dem Aufbau von FRUs.

Die vorliegende Arbeit zeigt die Veränderung der Quellstärke im Gyrus fusiformis für die Zeitbereiche von 400 ms (MEG) und 500 ms (EEG) bei Prozessen des Wiederholungsprimings. Primingeffekte in späten Zeitbereichen wurden für unbekannte Gesichter vor allem mit der wiederholten Aktivierung verbal vermittelter semantischer Informationen in Verbindung gebracht. Die Tatsache, daß ein solcher Effekt jedoch im Gyrus fusiformis gefunden werden konnte, weist daraufhin, daß der Primingeffekt möglicherweise überwiegend perzeptueller Natur ist, da der Gyrus fusiformis vor allem als Areal, in dem eine visuell-

perzeptuelle Verarbeitung der Gesichter angesiedelt ist, in fMRT isoliert wurde (z.B. Grill-Spector et al., 2004; siehe Kapitel 1.5.1).

Primingeffekte wurden jedoch in Abgrenzung zu den Ergebnissen für die Quellstärken der vorliegenden Arbeit in intracerebralen Potentialableitungen vom Gyrus fusiformis auch für unbekannte Gesichter gefunden. Diese bestanden in der vorliegenden Arbeit nicht. Dieser Unterschied kann möglicherweise durch den unterschiedlichen Wiederholungsmodus der Gesichter erklärt werden. Puce et al. (1999) wiederholten die Gesichter ohne die Präsentation von intervenierenden Gesichtern im Abstand von zwei Sekunden, während in der vorliegenden Arbeit die Gesichterwiederholung immer nach durchschnittlich drei intervenierenden Gesichtern bzw. sechs Sekunden Zeitabstand stattfand.

Henson et al. (2003) fanden bei Wiederholung derselben Aufnahmen berühmter und nicht bei unbekanntem Gesichtern im fMRT eine Abnahme der Reaktionsstärke im linken Gyrus fusiformis (genaue Koordinaten: -36, -48, -27). Diese Koordinaten liegen von den Orten der M400 in der vorliegenden Arbeit (± 30 , -51, -10) höchstens 17 mm und von den Orten der N400 (± 28 , -54, -12) 15 mm entfernt und liegen in x- und y-Koordinate, die die medial-lateral- und die anterior-superior-Dimension bezeichnen, im MEG höchstens 6 mm und im EEG höchstens 8 mm entfernt. Die Übereinstimmung zwischen dem Ort des Primingeffektes bei Henson et al. (2003) und den Orten der vorliegenden Arbeit ist somit relativ groß. Im rechten Gyrus fusiformis ergab sich bei Henson et al. (2003) kein Effekt des Primings für bekannte Gesichter und auch in der vorliegenden Studie ergab sich in der rechten Hemisphäre kein Primingeffekt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie ähneln somit dem Primingeffekt, den Henson et al. (2003) im fMRT für berühmte Gesichter fand (Henson untersuchte allerdings keine rein visuell vertrauten Gesichter, sondern berühmte Gesichter) nicht nur in der örtlichen Nähe der Generatorareale, sondern auch in der Lateralisierung des Primingeffektes.

Es wurde in den Untersuchungen der Quellstärken der vorliegenden Arbeit nicht nur ein Primingeffekt bei visuell vertrauten Gesichtern gefunden, sondern im EEG auch ein Effekt der visuellen Bekanntheit von Gesichtern, der im Vergleich der ersten Gesichterdarbietungen von Messung 1 und 2, allerdings nur für die Gesichter, die mit kurzem Lag wiederholt worden waren, an der rechten Hemisphäre bestand. Dieser Effekt bestand in einer Abnahme der Quellstärke im rechten Gyrus fusiformis. Der Effekt ist, da er nur für das kurze Lag auftritt, nicht generell als Effekt reiner Bekanntheit von Gesichtern interpretierbar. Es ist möglich, daß er Ausdruck einer größeren Bekanntheit der Gesichter, die mit kurzem Lag wiederholt wurden, ist. Da der Effekt jedoch nur im EEG und nicht im MEG besteht, müsste er noch stärker abgesichert werden, z.B. durch Replizierung in einer weiteren Studie oder Untersuchung an einer größeren Stichprobe, und soll in seiner Bedeutung an dieser Stelle nicht überbewertet werden. Er findet jedoch eine Entsprechung in fMRT-Studien (Henson et al. 2000), die im Vergleich unbekannter Gesichter mit bekannten Gesichtern einen Unterschied in der Reaktionsstärke im fusiformen Gesichterareal (Kanwisher et al. 1997, siehe Kapitel 1.5.1) fanden und diesen als Unterschiede in der Aktivierung von Langzeitrepräsentationen für Gesichter interpretierten.

Die Ergebnisse der Quellkurvenanalysen der vorliegenden Arbeit weisen in ihrer Gesamtheit darauf hin, daß der Gyrus fusiformis zu späten Zeitpunkten an Prozessen der Gedächtnisverarbeitung von Gesichtern

beteiligt ist und entsprechen somit Ergebnissen aus intracerebralen Potentialstudien, die eine solche Rolle später Aktivierung für N700 und P350 im Gyrus fusiformis ebenfalls annahmen (Puce et al., 1999).

4.7.7 Die Rolle von N / M170 und N / M400 als Korrelat von Aktivierung im neuronalen Netzwerk der Gesichterverarbeitung

In Studien zu den neuronalen Mechanismen der Gesichterverarbeitung ist deutlich geworden, daß Gesichter nicht in einem einzigen spezialisierten kortikalen Areal verarbeitet werden, wie ursprünglich von Kanwisher et al. (1997) vermutet wurde, sondern daß Gesichterverarbeitung in einem Netzwerk abläuft, dessen verschiedene Areale an den unterschiedlichen kognitiven Operationen der Gesichterverarbeitung beteiligt sind (Haxby et al., 1999; Haxby et al., 2000; Rossion et al., 2003; eine ausführliche Darstellung des Gesichternetzwerkes findet sich in Kapitel 1.5 der vorliegenden Arbeit). Diese Schlußfolgerung steht in Übereinstimmung zu kognitiven Modellen der Gesichterverarbeitung (Bruce und Young, 1986; siehe Kapitel 2.1), die verschiedene, seriell und parallel ablaufende Verarbeitungsstufen annehmen, die notwendig sind, um ein Gesicht vollständig zu verarbeiten, und sich je nach kognitivem Fokus bei der Gesichterverarbeitung unterscheiden.

Aufgrund von fMRT-Studien wurden vor allem drei Areale dem Netzwerk der Gesichterverarbeitung zugeordnet: das fusiforme Gesichterareal (FFA), das im lateralen Teil der Gyri fusiformes liegt (Kanwisher et al., 1997), das occipitale Gesichterareal (OFA) in den Gyri occipitales inferiori (Rossion et al., 2004) und der Sulcus temporalis superior (STS, Winston et al., 2004). Die Interaktionen der verschiedenen Areale und die zeitliche Dynamik in deren Aktivierung konnten in fMRT-Studien bislang noch nicht vollständig geklärt werden. In Lokalisationsstudien wurde immer wieder versucht, ereigniskorrelierte Potentiale und Felder der Gesichterverarbeitung bestimmten gesichterspezifischen Arealen zuzuordnen. Vor allem im EEG führte dieses Vorgehen für die N170 jedoch zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. So werden von manchen Autoren die Gyri fusiformes als Generatoren der N170 angenommen (Rossion et al., 2003), von anderen der Sulcus temporalis superior (Itier und Taylor, 2004), aber auch das occipitale Gesichterareal wird als Generator der N170 vermutet (Rossion et al., 2004). Einige Autoren sehen im Zeitbereich von 130 ms bis 200 ms mehrere Areale zu unterschiedlichen Zeitpunkten aktiv und lokalisierten diese auf früher versus später N170-Aktivierung (Shibata et al., 2002; Mnatsakanian und Tarkka, 2004). In MEG-Studien wurde im Gegensatz dazu fast einstimmig von einem Paar neuronaler Generatoren im Gyrus fusiformis bei Gesichterverarbeitung zwischen 130 ms und 200 ms ausgegangen (z.B. Halgren et al., 2000; Hoshiyama et al., 2003; Lewis et al., 2003).

In der vorliegenden Lokalisationsstudie, in der sowohl N170 als auch M170 bei Einzelpersonen lokalisiert wurden, zeigte sich der neuronale Generator im Gyrus fusiformis sowohl im MEG als auch im EEG als der dominierende Entstehungsort von Aktivität um 170 ms. M170 und N170 wurden stabil über mehrere Lokalisationsansätze in den Gyri fusiformes lokalisiert. In den Einzelergebnissen der Dipollokalisierungen zeigten sich einige Personen, deren neuronale Quellen von M170 oder N170 in anderen Hirnarealen als den

Gyri fusiformes lagen. Bei diesen Personen wurden Quellen der N / M170 entweder im occipitalen Gesichterareal oder im Sulcus temporalis superior lokalisiert. Andere Areale traten nicht als neuronale Generatoren von N / M170-Aktivität hervor. So bestehen möglicherweise Unterschiede in der Aktivierung des neuronalen Netzwerkes der Gesichterverarbeitung um 170 ms zwischen einzelnen Personen. Die vom Generator im Gyrus fusiformis abweichenden Quellorte der N / M170 bei Einzelpersonen sprechen jedoch auch dafür, daß zwischen etwa 130 ms und 200 ms alle oben genannten Areale des Gesichternetzwerkes aktiviert sein können.

Die 170 ms-Aktivierung konnte in der vorliegenden Arbeit sowohl im MEG als auch im EEG bei nahezu allen Personen mit einer Aufklärung der Datenvarianz von mindestens ca. 80%, bei einigen Personen sogar von über 90% Prozent lokalisiert werden, so daß sich in den Dipollokalisationen keine Hinweise auf multiple, *simultan* aktive Generatoren im Bereich um den 170 ms-Peak ergaben. Die Ergebnisse weisen stattdessen darauf hin, daß Sulcus temporalis superior, Gyrus occipitalis und Gyrus fusiformis eher zu unterschiedlichen Zeitpunkten zwischen etwa 130 ms und 190 ms aktiviert sein sollten.

Eine Begrenzung der vorliegenden Studie in der Untersuchung von neuronaler Aktivierung bei Gesichterverarbeitung liegt in der Tatsache, daß die Gesichterspezifität von N / M170 und N / M400 nicht untersucht wurde. Andererseits bot die Beschränkung auf Gesichter als Stimulusklasse die Möglichkeit, eine gute Datenqualität für EEG und MEG zu erreichen und so den gewählten Lokalisationsansatz für Einzelpersonen einzusetzen. Bei gleichzeitiger Darbietung anderer Objektklassen im selben Experiment hätte die Anzahl der Gesichterdarbietungen verringert werden müssen, da das Experiment mit der Dauer von einer Stunde, die die Personen im MEG-Gerät liegen mussten, eine maximal tolerierbare Länge hatte, und die Lokalisation auf Einzelpersonendaten wäre wahrscheinlich problematischer gewesen.

Im genauen Vergleich der Lokalisationsergebnisse mit den neuroanatomischen Quellen gesichtersensitiver Areale in fMRT-Studien kann gesagt werden, daß die Quellen von N / M170 in der vorliegenden Arbeit im Gruppenmittel sehr nahe bei den Koordinaten des fusiformen Gesichterareals (Kanwisher et al., 1997) lokalisiert wurden. Die über alle unterschiedlichen M170- und N170-Lokalisationen gemittelten Dipolkoordinaten liegen bei ± 28 mm, -62 mm, -15 mm. Sie unterscheiden sich um maximal 2 cm von den Koordinaten des fusiformen Gesichterareals in fMRT-Studien (z.B. Kanwisher et al., 1997; Grill-Spector et al., 2004; Horowitz et al., 2004). Trotz der hohen räumlichen Auflösung des fMRT unterscheiden sich die Dipolkoordinaten des fusiformen Gesichterareals auch um bis zu 2 cm zwischen verschiedenen fMRT-Studien. Kanwisher et al. (1997) lokalisierten das fusiforme Gesichterareal in der Unterscheidung zwischen Gesichtern und anderen Objekten bei den Talairachkoordinaten 40, -55, -10 und -35, -63, -10 in der linken Hemisphäre. Grill-Spector et al. (2004) lokalisierten dagegen das fusiforme Gesichterareal bei 39, -40, -16 und -37, -42, -16.

Für die Dipolkoordinaten von N400 (± 28 , -54, -12) und M400 (-30, -51, -10) ergaben sich noch höhere Übereinstimmungen der Dipolorte mit Koordinaten des fusiformen Gesichterareals. Hier zeigten sich höchstens Abweichungen um 12 mm zwischen den mittleren Dipolorten und den Quellorten der zitierten fMRT-Studien. Aufgrund der vorliegenden Lokalisationsergebnisse kann vermutet werden, daß sowohl N /

M170 als auch N / M400 in der vorliegenden Arbeit Korrelate der Aktivierung des fusiformen Gesichterareals darstellten. Es sollte jedoch nicht vergessen werden, daß eine Lokalisation eine Modellierung darstellt, deren räumliche Exaktheit nicht bekannt ist.

Unter der Annahme, daß frühe *und* späte MEG- und EEG-Aktivität in der vorliegenden Arbeit Korrelate von Aktivierung des fusiformen Gesichterareals waren, lassen sich auch die Ergebnisse zum Reaktionsmuster und zu funktionalen Eigenschaften des fusiformen Gesichterareals aus fMRT-Studien genauer erklären. Eine Diskussion wird zwischen den Autoren von fMRT-Studien (z.B. Kanwisher et al., 2001; Kanwisher et al., 1997; Grill-Spector et al., 2004) vor allem im Hinblick auf die funktionale Interpretation von Aktivierung des fusiformen Gesichterareals geführt. Das Reaktionsmuster dieses Areals zeigte nicht nur eine Beteiligung an der Entdeckung von Gesichtern (Kanwisher et al., 1997), sondern auch an ihrer individuellen Identifizierung (Grill-Spector et al., 2004) und an Gedächtnisprozessen für Gesichter (Henson et al., 2000). Alle diese Verarbeitungsschritte finden sicher nicht zu einem einzigen Zeitpunkt statt, sondern stellen sukzessive ablaufende Verarbeitungsstufen dar, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Stimulusbeginn ablaufen. Das fMRT kann diese einzelnen Verarbeitungsschritte aufgrund ihrer zeitlich kurzen Abfolge nicht voneinander trennen, weil es die notwendige zeitliche Auflösung nicht besitzt. Es bildet somit wahrscheinlich überlappende Verarbeitungsschritte in einer Aktivierungsveränderung ab und vermischt so unterschiedliche Effekte der Gesichterverarbeitung.

Die vorliegende Arbeit konnte sowohl frühe Aktivierung bei Gesichterverarbeitung um 170 ms, die mit der strukturellen Enkodierung von Gesichtern in Verbindung gebracht wurde (z.B. Halgren et al., 2000; Jemel et al., 2003b), als auch späte Gesichterverarbeitung bei 400 ms im MEG und bei 500 ms im EEG, die mit der Gedächtnisverarbeitung von Gesichtern und der Speicherung von Langzeitrepräsentationen in Verbindung gebracht wurde (z.B. Henson et al., 2003), im selben Teil (für M170 und M400) bzw. in nur um einige Millimeter voneinander getrennten (N170, N400) Teilen des Gyrus fusiformis nah beim fusiformen Gesichterareal lokalisieren.

Dieses Ergebnis zeigt, daß im Gyrus fusiformis wahrscheinlich mehrere Teilprozesse der Verarbeitung unbekannter Gesichter lokalisiert sind spricht dafür, daß in der Tat die unterschiedlichen Effekte, die in fMRT-Studien im selben Areal gefunden wurden, neuronale Aktivierung verschiedener Zeitstufen der Verarbeitung widerspiegeln. Die Ergebnisse intracerebraler Potentialstudien entsprechen den in der vorliegenden Arbeit gefundenen Hinweisen auf sukzessive Aktivierung des Gyrus fusiformis und auf die Beteiligung dieses Areals an Gedächtnisprozessen im Bereich von 400 ms bis 600 ms (z.B. Puce et al., 1999). Diese Studien untersuchten Wiederholungsprimingeffekte jedoch nur die Verarbeitung unbekannter Gesichter, während in der vorliegenden Arbeit auch der Effekt der Verarbeitung visuell vertrauter Gesichter auf die Stärke der Quelle im Gyrus fusiformis untersucht wurde. In der Aktivität der späten Quelle (M / N400) konnte sowohl für die Quellstärken des EEG als auch des MEG eine Beteiligung an Primingeffekten für vertraute Gesichter gezeigt werden, und es wurden Hinweise auf einen Unterschied in der Quellstärke zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern im EEG um 500 ms gefunden.

In der vorliegenden Arbeit konnten so die Quellorte später, in elektrophysiologischen Messungen an der *Kopfoberfläche* gemessener Aktivität im Gyrus fusiformis modelliert werden. In der MEG-Messung zeigte

sich diese späte Aktivierung bei 400 ms überwiegend an posterioren Messsensoren, während sich im EEG die Aktivität sowohl an posterioren Elektroden, als auch mit umgekehrter Polarität an anterioren Elektroden bei 500 ms zu erkennen war.

Der Beitrag der vorliegenden Arbeit zur Dipollokalisierung von Gesichtsverarbeitung in EEG und MEG liegt dabei auch in der Tatsache, daß die sukzessive Aktivierung des Gyrus fusiformis für unterschiedliche Zeitbereiche *derselben* Meßdaten in getrennten Dipollokalisationsprozeduren bei unbekanntem Gesichtern modelliert werden konnte und so die Einflüsse variierender Gesichtsvertrautheit, unterschiedlicher Stichproben und verschiedener experimenteller Aufgaben auf die Lokalisationsergebnisse ausgeschlossen werden konnten.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Nach den Diskussionen von Gesichterpriming- und Vertrautheitseffekten auf ereigniskorrelierte Potentiale, ereigniskorrelierte Felder und Verhaltensmaße in Kapitel 4.4 und von Lokalisationsergebnissen in Kapitel 4.7 sollen an dieser Stelle die Ergebnisse beider Untersuchungsgebiete miteinander in Zusammenhang gestellt werden und dabei Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Beantwortung der in dieser Arbeit untersuchten Fragen gezogen werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde mittels Dipollokalisierung gezeigt, daß sowohl Magneto- als auch Elektroenzephalogramm bei Verarbeitung unbekannter und visuell vertrauter Gesichter zu einem frühen Zeitpunkt nach Beginn der Gesichterpräsentationen – bei 170 ms, bekannt als M170 im MEG (z.B. Liu et al., 2000) und N170 im EEG (z.B. Bentin et al., 2002) – Aktivierung derselben neuronalen Quelle im posterioren Gyrus fusiformis messen. Dabei konnte nicht nur in Gruppenmittelwerten der Dipollokalisierungen dieser Quellort gezeigt werden, sondern es konnten auch in einem großen Teil der einzelnen Versuchspersonen (50% im MEG, 75% im EEG) die Quellorte von N170 und M170 in einer Projektion auf die individuellen magnetresonanztomographischen Gehirnaufnahmen Quellorte im Gyrus fusiformis modelliert werden. Die Lokalisationsergebnisse wurden in MEG und EEG über mehrere Lokalisationen und unter verschiedenen Bedingungen der Datenanalyse mit einer hohen örtlichen Stabilität repliziert.

Dieses Ergebnis kann einen Beitrag zur Kontroverse um die neuronalen Generatoren von N170 und M170 (z.B. Itier und Taylor, 2004; Shibata et al., 2002; Watanabe et al., 1999) erbringen, da durch die Modellierung desselben Quellortes in zwei unterschiedlichen Messverfahren elektrophysiologischer Aktivität und die Replizierung der Ergebnisse in zwei Messungen die Plausibilität der Ergebnisse deutlich untermauert werden konnte. Die neuroanatomischen Quellorte von N / M170 wurden in der vorliegenden Arbeit sehr nahe beim aus fMRT-Studien bekannten sogenannten fusiformen Gesichterareal lokalisiert (Kanwisher et al., 1997; Kanwisher et al., 1999; Grill-Spector et al., 2004), so daß die Verarbeitungsstufe um 170 ms als Korrelat von früher Aktivierung des fusiformen Gesichterareals interpretiert werden kann.

Für die funktionale Interpretation der Bedeutung der elektrophysiologischen 170 ms-Aktivität unterstreichen die Lokalisationsergebnisse die Sichtweise der N / M170-Komponente als Korrelat eines wesentlichen kognitiven Schrittes der Gesichterverarbeitung wie etwa der strukturellen Enkodierung von Gesichtern (z.B. Halgren et al., 2000) und sprechen eher gegen die Sichtweise einer nicht gesichterspezifischen Verarbeitungsstufe bei 170 ms (z.B. Schweinberger et al., 2004).

Es konnte mittels Dipollokalisierung nicht nur der neuronale Generator der N / M170 im Gyrus fusiformis lokalisiert werden, sondern auch der Generator elektrophysiologischer Aktivierung um 400 ms bis 500 ms in EEG und MEG. Dieser neuronale Generator unterschied sich im MEG nicht vom Quellort der M170, obwohl sich ein nicht signifikanter Trend zu einer Verlagerung der Quelle in anteriore Richtung zum späteren Zeitpunkt ergab. Im EEG zeigte sich eine leichte Verschiebung des Generators in mediale Richtung zu späten Zeitpunkten. Die Lokalisationsergebnisse konnten die in intracerebralen elektrophysiologischen Ableitungen vom Gyrus fusiformis bei Verarbeitung unbekannter Gesichter (Puce et al., 1999; Halgren et al., 1994)

gezeigte sukzessive Aktivierung des Gyrus fusiformis zu mehreren Zeitpunkten der Gesichterverarbeitung modellieren. Damit wurde wahrscheinlich zum ersten Mal in einer Dipollokalisierung die Aktivierung des Gyrus fusiformis bei Verarbeitung unbekannter Gesichter um 400 ms bis 500 ms gezeigt.

Dieses Ergebnis hat für die Interpretation der Ergebnisse von fMRT-Studien zur funktionalen Bedeutung der Aktivierung im fusiformen Gesichterareal eine Bedeutung. Diese Studien zeigten nicht nur einen Zusammenhang des Reaktionsmusters des fusiformen Gesichterareals mit der Entdeckung von Gesichtern, sondern auch mit ihrer individuellen Identifizierung und mit Gedächtnisprozessen für unbekannte und bekannte Gesichter (z.B. Winston et al., 2004; Gauthier et al., 2000; Leveroni et al., 2000) und lösten eine Diskussion über die genaue Funktion des fusiformen Gesichterareals aus (z.B. Kanwisher et al., 1999, Kanwisher et al., 2001). Die unterschiedlichen Effekte von Gesichterverarbeitung in diesem Areal reflektieren wahrscheinlich sowohl frühe Stufen zeitlicher Verarbeitung, die im MEG und EEG um 170 ms gemessen werden und in ihrer Gesichterspezifität (z.B. Liu et al., 2002) zur gesichterspezifischen Reaktionsweise des fusiformen Gesichterareals beitragen (Kanwisher et al., 1997), als auch zeitlich spätere Stufen der Verarbeitung zu Zeitpunkten um 400 ms und 500 ms, zu denen dieses Areal an der Gedächtnisverarbeitung für unbekannte Gesichter (Winston et al., 2004) und an der Beteiligung an der Speicherung von längerfristigen Repräsentationen für Gesichter beteiligt ist (Henson et al., 2000).

Die Untersuchung der Gesichterverarbeitung in einem Wiederholungsprimingparadigma konnte in der vorliegenden Arbeit zunächst Primingeffekte in Reaktionszeiten für unbekannte Gesichter zeigen. Sie stützt damit die These (z.B. Goshen-Gottstein und Ganel, 2000), daß Primingeffekte auch für unbekannte Gesichter evokiert werden können und steht im Gegensatz zu Vermutungen, daß Primingeffekte nur auf dem Niveau der Aktivierung verbal vermittelter semantischer Informationen, wie sie bei persönlich bekannten und berühmten Gesichtern bestehen können (Ellis et al., 1990), ablaufen. In Reaktionszeiten wurden nicht nur Primingeffekte für Wiederholungen im Abstand von Sekunden, sondern auch von mehreren Minuten gefunden, die klar vom Zeitabstand zwischen den Wiederholungen beeinflusst wurden. Der längere Zeitabstand wirkte in Form einer Abschwächung des Primingeffektes.

Für die Wiederholung unbekannter Gesichter mit kurzem Zeitabstand wurde im EEG ein in der Literatur nicht oft berichteter (z.B. Henson et al., 2003) Wiederholungseffekt gefunden. Dieser bestand in einem Zeitbereich von 300 ms bis 600 ms an occipitotemporalen, zentralen und frontozentralen Elektroden. Die Verbindung von Dipollokalisierung der Aktivität um 400 ms bis 500 ms, in der der Hauptgenerator der Aktivierung im Gyrus fusiformis lokalisiert wurde, mit der Untersuchung von Effekten des Gesichterprimings im EEG in demselben Zeitbereich konnte Vermutungen (z.B. von Itier und Taylor, 2002) erhärten, daß der Wiederholungseffekt bei der Präsentation unbekannter und rein visuell vertrauter Gesichter Korrelat von Prozessen der impliziten Gedächtnisverarbeitung im Gyrus fusiformis ist und im Rückgriff auf Ergebnisse aus fMRT-Studien (z.B. Winston et al., 2004; Gauthier et al., 2000a) möglicherweise mit der Stufe der Identifizierung von Gesichtern auf individuellem Niveau in Verbindung gebracht werden kann. Dabei zeigte die Untersuchung der Quellkurven der modellierten Dipolaktivität allerdings keine Effekte des Gesichterprimings für die *unbekannten* Gesichter. Die Streuung zwischen den Quellstärken war jedoch sehr groß. Einige Versuchspersonen hatten Quellstärken, die 50mal größer waren als die anderer Personen, so daß

die Untersuchung der Quellstärken möglicherweise einen eher schwachen Wiederholungseffekt für unbekannte Gesichter nicht entdeckte.

Im MEG wurde für die unbekanntes Gesichter nur ein Primingeffekt an posterioren Sensoren in einem sehr späten Zeitbereich von 700 ms bis 900 ms gefunden, in dem allerdings auch intracerebrale Studien (Puce et al., 1999) noch gesichterspezifische Aktivierung im occipitotemporalen Kortex messen konnten, die durch semantische Primingprozesse bei bekannten Gesichtern, nicht jedoch durch Wiederholungspriming beeinflusst wurde. Die funktionale Bedeutung dieser Aktivität konnte nicht eindeutig interpretiert werden.

Im langen Lag fanden sich keine Anzeichen für konsistente Primingeffekte in MEG und EEG, und der Wiederholungseffekt der P2- / M2-Komponente kann wahrscheinlich eher als Korrelat besonderer kognitiver Verarbeitung, die durch die Art der Stimuluswiederholungen generiert wurde, interpretiert werden. Im MEG und EEG zeigten sich so in Abgrenzung zu den Reaktionszeitergebnissen, die eine rein quantitative Abschwächung der Primingeffekte für lange Zeitintervall nahe legen, eher Anzeichen qualitativ unterschiedlicher Phänomene für beide Zeitabstände. Es ist aber auch möglich, daß der Zeitabstand viel zu lang war, um Primingeffekte, die schwächer als im kurzen Lag bestanden, in MEG und EEG messbar zu machen, da auch die Primingeffekte im kurzen Lag sich zum Beispiel im EEG erst von erster zu dritter Wiederholung zeigten.

Im Vergleich der Durchführung desselben Primingparadigmas für unbekannte und visuell vertraute Gesichter zeigten sich vor allem in Reaktionszeiten deutliche Unterschiede zwischen beiden Messungen des Primingparadigmas. In Reaktionszeiten ging eine Verkürzung der Reaktionszeiten im Vergleich von erster zu zweiter Messung in beiden Lags, die wahrscheinlich einen Bekanntheitseffekt für die Gesichter abbildete, mit einer Verringerung des Primingeffektes im kurzen Lag, aber nicht im langen Lag einher und gleichzeitig mit einem Verlust der differentiellen Sensitivität des Lags für die Ausprägung der Primingeffekte. Diese Veränderung zeigte sich bei Bestehen einer Abnahme der Fehlerzahl für die vertrauten Gesichter, obwohl kein Primingeffekt in diesem Parameter gefunden wurde. Es ist möglich, daß bei bekannten Stimuli auf Verhaltensebene von den Wiederholungen innerhalb des Primingexperimentes nicht mehr so stark profitiert wird wie bei unbekanntes Stimuli, da präexperimentell schon mehr Informationen vorhanden sind (Ostergaard, 1998). So ist die Saturierung des Primingeffektes wahrscheinlich ein Anzeichen von Gesichter vertrautheit, das aber möglicherweise auch ein aufgabenspezifisches Phänomen ist. Es ist vorstellbar, dass in einer anderen Aufgabe, etwa in einer Geschlechtsentscheidung, ein stärkerer Primingeffekt als für die wiederholte Erwachsener- / Kindentscheidung gefunden worden wäre. Der Primingeffekt in Reaktionszeiten würde damit die Interaktion von experimenteller Aufgabe und Bekanntheit der Gesichterstimuli widerspiegeln.

Diese Art der Interaktion – die Abschwächung des Primingeffektes für die vertrauten Gesichter – wurde weder in ERP und ERF noch in den untersuchten Quellkurven von MEG und EEG gefunden. Es konnten in der ERP-Auswertung alle Wiederholungseffekte, die auch in der Messung an unbekanntes Gesichtern gefunden worden waren, repliziert werden, und der Wiederholungseffekt ab 300 ms zeigte um 500 ms eine Tendenz zur Verstärkung für die vertrauten Gesichter. Er verhielt sich so umgekehrt zum Reaktionszeiteffekt. Die Quellkurven von MEG und EEG ergänzten diese Beobachtung, da sie nur für die Wiederholung der

vertrauten Gesichter sowohl in MEG als auch in EEG einen Primingeffekt für das kurze Lag an der linken Hemisphäre zeigten. Die Untersuchung der ereigniskorrelierten Felder erbrachte noch weitere Evidenz für eine Verstärkung der Primingeffekte für die vertrauten Gesichter, da auch hier nur in Messung 2 ein Primingeffekt im Zeitbereich von 500 ms bis 700 ms gefunden werden konnte. Ein zeitlich späterer Primingeffekt aus Messung 1 zeigte sich für die visuell vertrauten Gesichter nicht mehr.

Die Untersuchung der Abhängigkeit der Primingeffekte vom Zeitabstand der Wiederholungen erzeugte auch für die vertrauten Gesichter nur in Reaktionszeiten Hinweise auf eine rein *quantitative* Veränderung der Primingeffekte bei längerem Lag. Die Ergebnisse für die übrigen Parameter lassen für das vorliegende Experiment eher vermuten, daß der Primingeffekt in Reaktionszeiten für kurze und lange Zeitabstände aus unterschiedlichen kognitiven und elektrophysiologischen Prozessen entsteht. Der Primingeffekt im langen Lag erzeugte Veränderungen auf elektrophysiologischen Komponenten, die spezifisch für das lange Lag waren und im kurzen Lag in dieser Form nicht auftraten.

Neben dem Bekanntheitseffekt in Reaktionszeiten und Fehlern wurden Bekanntheitseffekte auch in MEG und in den Quellkurven des EEG gefunden. Die Untersuchung der Quellstärken aus Messung 2 zeigte eine Veränderung der Quellstärke im Gyrus fusiformis im EEG in der rechten Hemisphäre bei 500 ms. Diese Veränderung wurde nur in der rechten Hemisphäre gefunden. In ereigniskorrelierten Feldern des MEG zeigte sich für einen späteren Zeitbereich als in den EEG-Quellkurven, bei 750 ms bis 800 ms, ein Bekanntheitseffekt im Sinne einer größeren Positivierung bei vertrauten Gesichtern. Obwohl diese Effekte noch sehr viel mehr untersucht werden müssen, um sie als Belege für Bekanntheitseffekte anzuerkennen, ergibt die Lateralisierung beider Effekte einen Hinweis auf ihre mögliche Existenz. Bekanntheitseffekte für Gesichter wurden im fMRT ebenfalls eher mit rechtshemisphärischer Lateralisierung gefunden (Henson et al., 2000).

Ein zukünftiges Experiment sollte folgende Punkte, die aus der vorliegenden Arbeit gelernt werden und besser als in der vorliegenden Arbeit gemacht werden können, berücksichtigen: Die Stichprobe sollte größer als in der vorliegenden Messung sein, da die gemessenen Effekte relativ klein waren. Um einen wirklichen Erwerb der Vertrautheit mit Gesichtern zu untersuchen, sollten die Gesichter nicht nur in Form derselben Aufnahmen gezeigt werden, sondern auch in Form anderer Gesichteraufnahmen, die sowohl aus derselben als auch aus einer anderen Ansichtsperspektive auf das Gesicht gemacht werden sollten. Hierbei stellt jedoch die enorme Zahl von Epochen, die für die Auswertung des MEG benötigt werden, ein Problem dar. Ein Lerntraining für 300 Gesichter mit mehreren Präsentationen der Gesichter in unterschiedlichen Ansichtsperspektiven und Bildaufnahmen durchzuführen ist eine langwierige Sache. Eine Lösung würde die Verringerung der Gesichterzahl bei Erhöhung der Anzahl der Versuchspersonen darstellen.

Das lange Lag stellte sich in der vorliegenden Arbeit als zu lang heraus, um reliable Effekte der Gesichterwiederholung in ERP, ERF und Quellkurven zu evozieren. Es zeigten sich vor allem Hinweise, daß beim langen Lag qualitativ andere Prozesse zum Primingeffekt beitragen als im kurzen Lag und diese Prozesse auch nicht unbedingt aus einem visuell-perzeptuellen Primingmechanismus entstanden. Das Lag sollte im nächsten Experiment bei einer weiteren Untersuchung der Abhängigkeit der Primingeffekte vom

Lag verkürzt werden und höchstens etwa eine Minute betragen. Dabei müssten auch hier die Gesichter sicherlich mehrmals wiederholt werden, um reliable Primingeffekte zu bewirken.

Literaturverzeichnis

- Allison, T., Ginter, H., McCarthy, G., Nobre, A.C., Puce, A., Luby, M., Spencer, D. (1994). Face Recognition in Human Extrastriate Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 71, 821-825.
- Allison, T., Puce, A., Spencer, D., McCarthy, G. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception I : Potentials Generated in Occipitotemporal Cortex by Face and Non-face Stimuli. *Cerebral Cortex*, 9, 415-430.
- Allison, T., Puce, A., McCarthy, G. (2002). Category-Sensitive Excitatory and Inhibitory Processes in Human Extrastriate Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 88, 2864-2868.
- Andrews, T., Schluppeck, D. (2004). Neural responses to Mooney images reveal a modular representation of faces in human visual cortex. *NeuroImage*, 21, 91-98.
- Begleiter, H., Porjesz, B., Wang, W. (1995). ERPs differentiate priming and recognition to familiar and unfamiliar faces. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 94, 41-49.
- Bentin, S., Moscovitch, M. (1988). The Time Course of Repetition Effects for Words and Unfamiliar Faces. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 148-160.
- Bentin, S., Deouell, L., Soroker, N. (1999). Selective visual streaming in face recognition: evidence from developmental prosopagnosia. *NeuroReport*, 10, 823-827.
- Bentin, S., Deouell, L. (2000). Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 35-54.
- Bentin, S., 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., von Cramon, Y. (2002). Priming visual face-processing mechanisms: Electrophysiological Evidence. *Psychological Science*, 13, 190-193.
- Blaxton, T. (1989). Investigating Dissociations Among Memory Measures: Support for a Transfer-Appropriate Processing Framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 657-668.
- Boehm, S., Sommer, W., Lueschow, A. (2005). Correlates of implicit memory for words and faces in event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 55, 95-112.
- Bötzel, K., Schulze, K., Stodieck, S. (1995). Scalp topography and analysis of intracranial sources of event-related potentials. *Experimental Brain Research*, 104, 135-143.

-
- Braeutigam, S., Bailey, A., Swithenby, S. (2001). Task-dependent early latency (30-60 ms) visual processing of human faces and other objects. *NeuroReport*, 12, 1531-1536.
- Bruce, V., Young, A.W. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77, 305-327.
- Bruyer, R., (1993). Failures of face processing in normal and brain-damaged subjects. F.Boller, J. Grafman (Eds.). *Handbook of Neuropsychology*, Vol.8, 411-435.
- Buckner, R., Goodman, J., Burock, M., Rotte, M., Koutstaal, W., Schacter, D., Rosen, B., Dale, A. (1998). Functional-Anatomic Correlates of Object Priming in Humans Revealed by Rapid Presentation Event-Related fMRI. *Neuron*, 20, 285-296.
- Burton, A., Bruce, V., Johnston, R. (1990). Understanding face recognition within an interactive activation model. *British Journal of Psychology*, 81, 361-380.
- Caharel, S., Poiroux, S., Bernard, S., Thibaut, F., Lalonde, R., Rebai, M. (2002). ERPs associated with familiarity and degree of familiarity during face recognition. *International Journal of Neuroscience*, 112, 1531-1544.
- Campanella, S., Quinet, P., Bruyer, R., Crommelinck, M., Guerit, J.-M. (2002). Categorical Perception of Happiness and Fear Facial Expressions: An ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 210-227.
- Carmel, D., Bentin, S. (2002). Domain specificity versus expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, 83, 1-29.
- Damasio, A., Tranel, D., Damasio, H. (1990). Face agnosia and the neural substrates of memory. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 89-109.
- Downing, P., Liu, J., Kanwisher, N. (2001). Testing cognitive models of visual attention with fMRI and MEG. *Neuropsychologia*, 39, 1329-1342.
- Duvernoy, H. (1999). *The Human Brain. Surface, Blood Supply, and Three-Dimensional Sectional Anatomy*. (2nd ed.). Wien / New York: Springer Verlag.
- Eimer, M. (1998). Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor? *NeuroReport*, 9, 2945-2948.
- Eimer, M., McCarthy, R. (1999). Prosopagnosia and structural encoding of faces: Evidence from event-related potentials. *NeuroReport*, 10, 255-259.
- Eimer, M. (2000). Event-related potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical Neurophysiology*, 11, 694-705.

-
- Eimer, M. (2000a). The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *NeuroReport*, 11, 2319-2324.
- Ellis, A., Young, A., Flude, B. (1990). Repetition Priming and Face Processing: Priming Occurs within the System that Responds to the Identity of a Face. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 42A, 495-512.
- Farah, M., Wilson, K., Drain, H., Tanaka, J. (1995). The inverted face inversion effect in prosopagnosia: Evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision Research*, 35, 2089-2093.
- Fodor, J., (1983). *The Modularity of Mind*. Cambridge: MIT Press.
- Gabrieli, J. (1998). Cognitive Neuroscience of Human Memory. *Annual Review of Psychology*, 49, 87-115.
- Gauthier, I., Tarr, M., Anderson, A., Skudlarski, P., Gore, J. (1999). Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature Neuroscience*, 2, 568-573.
- Gauthier, I. (2000). What constrains the organization of the ventral temporal cortex? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 1-12.
- Gauthier, I., Tarr, M., Moylan, J., Anderson, A., Skudlarski, P., Gore, J. (2000). Does subordinate-level categorisation engage the functionally defined fusiform face area? *Cognitive Neuropsychology*, 17, 143-163.
- Gauthier, I., Tarr, M., Moylan, J., Skudlarski, P., Gore, J., Anderson, A. (2000a). The Fusiform "Face Area" is Part of a Network that Processes Faces at the Individual Level. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 495-504.
- Gauthier, I., Curran, T., Curby, K., Collins, D. (2003). Perceptual interference supports a non-modular account of face processing. *Nature Neuroscience*, 6, 428-432.
- George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J., Renault, B. (1996). Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, 4, 65-76.
- George, N., Dolan, R., Fink, G., Baylis, G., Russell, C., Driver, J. (1999). Contrast polarity and face recognition in the human fusiform gyrus. *Nature Neuroscience*, 2, 574-580.
- Goshen-Gottstein, Y., Ganel, T. (2000). Repetition priming for familiar and unfamiliar faces in a sex-judgment task: evidence for a common route for the processing of sex and identity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26, 1198-214.

-
- Graf, P., Shacter, D. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal subjects and amnesic patients. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 501-518.
- Grill-Spector, K. (2003). The neural basis of object perception. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 1-8.
- Grill-Spector, K., Knouf, N., Kanwisher, N. (2004). The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification. *Nature Neuroscience*, 7, 555-562.
- Guillem, F., Bicu, M., Debruille, B. (2001). Dissociating memory processes involved in direct and indirect test with ERPs to unfamiliar faces. *Cognitive Brain Research*, 11, 113-125.
- Hämäläinen, M., Hari, R., Ilmoniemi, R., Knuutila, J., Lounasmaa, O. (1993). Magnetoencephalography – theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain. *Reviews of Modern Physics*, 65, 413-497.
- Halgren, E., Raij, T., Marinkovic, K., Jousmäki, V., Hari, R. (2000). Cognitive Response Profile of the Human Fusiform Face Area as Determined by MEG. *Cerebral Cortex*, 10, 69-81.
- Halgren, E., Baudena, P., Heit, G., Clarke, M., Marinkovic, K. (1994). Spatio-temporal stages in face and word processing. 1. Depth recorded potentials in the human occipital and parietal lobes. *Journal of Physiology*, 88, 1-50.
- Hari, R., Lounasmaa, O. (1989). Recording and Interpretation of Cerebral Magnetic Fields. *Science*, 244, 432-436.
- Hari, R. (1996). MEG in the study of human cortical functions. In A. Hashimoto, Y. Okada, S. Ogawa (Eds.), *Visualization of Information Processing in the Human Brain: Recent Advances in MEG and Functional MRI*, pp. 47-54. Amsterdam: Elsevier.
- Hasson, U., Hendler, T., Bashar, D., Malach, R. (2001). Vase or Face? A Neural Correlate of Shape-Selective Grouping Processes in the Human Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 744-753.
- Hauptmann, B., Karni, A. (2002). From primed to learn: the saturation of repetition priming and the induction of long-term memory. *Cognitive Brain Research*, 13, 313-322.
- Haxby, J., Hoffman, E., Gobbini, I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 223-233.
- Haxby, J., Gobbini, I., Furey, M., Ishai, A., Schouten, J., Pietrini, P. (2001). Distributed and Overlapping Representations of Faces and Objects in Ventral Temporal Cortex. *Science*, 293, 2425-2430.

-
- Haxby, J., Hoffman, E., Gobbini, I. (2002). Human Neural Systems for Face Recognition and Social Communication. *Biological Psychiatry*, 51, 59-67.
- Henson, R., Shallice, T., Dolan, R. (2000). Neuroimaging Evidence for Dissociable Forms of Repetition Priming. *Science*, 287, 1269-1272.
- Henson, R., Shallice, T., Gorno-Tempini, M., Dolan, R. (2002). Face Repetition Effects in Implicit and Explicit Memory Tests as Measured by fMRI. *Cerebral Cortex*, 12, 178-186.
- Henson, R. (2003). Neuroimaging studies of priming. *Progress in Neurobiology*, 70, 53-81.
- Henson, R., Goshen-Gottstein, Y., Ganel, T., Otten, L., Quayle, A., Rugg, M. (2003). Electrophysiological and Haemodynamic Correlates of Face Perception, Recognition and Priming. *Cerebral Cortex*, 13, 793-805.
- Henson, R., Rugg, M.D. (2003). Neural response suppression, haemodynamic repetition effects, and behavioural priming. *Neuropsychologia*, 41, 263-270.
- Henson, R., Rylands, A., Ross, E., Vuilleumier, P., Rugg, M. (2004). The effect of repetition lag on electrophysiological and haemodynamic correlates of visual object priming. *NeuroImage*, 21, 1674-1689.
- Hertz, S., Porjesz, B., Begleiter, H., Chorlian, D. (1994). Event-related potentials to faces: the effects of priming and recognition. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 92, 342-351.
- Herzmann, G., Schweinberger, S., Sommer, W., Jentzsch, I. (2004). What's special about personally familiar faces? A multimodal approach. *Psychophysiology*, 41, 688-701.
- Hoffman, E., Haxby, J. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, 3, 80-84.
- Horowitz, S., Rossion, B., Skudlarski, P., Gore, J. (2004). Parametric design and correlational analyses help integrating fMRI and electrophysiological data during face processing. *NeuroImage*, 22, 1587-1595.
- Hoshiyama, M., Kakigi, R., Watanabe, S., Miki, K., Takeshima, Y. (2003). Brain responses for the subconscious recognition of faces. *Neuroscience Research*, 46, 435-442.
- Ishai, A., Ungerleider, L., Martin, A., Schouten, J., Haxby, J. (1999). Distributed representation of objects in the ventral visual pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 9379-9384.
- Itier, R., Taylor, M. (2002). Inversion and Contrast Polarity Affect both Encoding and Recognition Processes of Unfamiliar Faces. *NeuroImage*, 15, 353-372.

-
- Itier, R., Taylor, M. (2004). Face Recognition Memory and Configural Processing: A Developmental ERP Study using Upright, Inverted, and Contrast-Reverted Faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 487-507.
- Itier, R., Taylor, M. (2004a). Source analysis of the N170 to faces and objects. *NeuroReport*, 15, 1261-1265.
- Itier, R., Taylor, M. (2004b). N170 or N1? Spatiotemporal Differences between Object and Face Processing Using ERPs. *Cerebral Cortex*, 14, 132-142.
- Jacoby, L. (1983). Perceptual enhancement: persistent effects on an experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 21-38.
- Jemel, B., Calabria, M., Delvenne, J.-F., Crommelinck, M., Bruyer, R. (2003). Differential involvement of episodic and face representations in ERP repetition effects. *NeuroReport*, 14, 525-530.
- Jemel, B., Pisani, M., Calabria, M., Crommelinck, M., Bruyer, R. (2003a). Is the N170 for faces cognitively penetrable? Evidence from repetition priming of Mooney faces of familiar and unfamiliar persons. *Cognitive Brain Research*, 17, 431-446.
- Jemel, B., Schuller, A.-M., Cheref-Khan, Y., Goffaux, v., Crommelinck, M., Bruyer, R. (2003b). Stepwise emergence of the face-sensitive N170 event-related potential component. *NeuroReport*, 14, 2035-2039.
- Jolicoeur, P., Gluck, M., Kosslyn, S. (1984). Pictures and names: Making the connection. *Cognitive Psychology*, 16, 243-275.
- Joyce, C., Rossion, B. (2004). The effect of reference electrode on the N170/VPP complex in response to faces and non-face object categories. Program No. 525.8. 2004 Abstract Viewer/Itinerary Planner. Washington DC: Society for Neuroscience Meeting.
- Kanwisher, N., McDermott, J., Chun, M. (1997). The Fusiform Face Area: A Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception. *The Journal of Neuroscience*, 17, 4302-4311.
- Kanwisher, N., Stanley, D., Harris, A. (1999). The fusiform face area is selective for faces not animals. *NeuroReport*, 10, 183-187.
- Kanwisher, N., Downing, P., Epstein, R., Kourtzi, Z. (2001) Introduction: The Modularity of Visual Recognition. In R. Cabeza und A. Kingstone (Eds.), *The handbook on functional neuroimaging*, pp. 109-152, Cambridge MA: MIT Press.

-
- Koutstaal, W., Wagner, A., Rotte, M., Maril, A., Buckner, R., Schacter, D. (2001). Perceptual specificity in visual object priming: functional magnetic resonance imaging evidence for a laterality difference in fusiform cortex. *Neuropsychologia*, 39, 184-199.
- Kress, T., Daum, I. (2003). Event-related potentials reflect impaired face recognition in patients with congenital prosopagnosia. *Neuroscience Letters*, 352, 133-136.
- Leder, H., Bruce, V. (1998). Local and Relational Aspects of Face Distinctiveness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51A, 449-473.
- Leder, H., Bruce, V. (2000). When inverted faces are recognized: The role of configural information in face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 513-536.
- Leveroni, C., Seidenberg, M., Mayer, A., Mead, L., Binder, J., Rao, S. (2000). Neural systems underlying the recognition of familiar and newly learned faces. *The Journal of Neuroscience*, 20, 878-86.
- Lewis, S., Thoma, R., Lanoue, M., Miller, G., Heller, W., Edgar, C., Hunag, M., Weisend, M., Irwin, J., Paulson, K., Canive, J. (2003). Visual processing of facial affect. *NeuroReport*, 14, 1841-1845.
- Li, L., Miller, E., Desimone, R. (1993). The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 69, 1918-1928.
- Linkenkaer-Hansen, K., Palva, J., Sams, M., Hietanen, J., Aronen, H., Ilmoniemi, R. (1998). Face-selective processing in human extrastriate cortex around 120 ms after stimulus onset revealed by magnetoencephalography. *Neuroscience Letters*, 253, 147-150.
- Liu, J., Higuchi, M., Marantz, A., Kanwisher, N. (2000). The selectivity of the occipitotemporal M170 for faces. *Neuroreport*, 11, 337-341.
- Liu, J., Harris, A., Kanwisher, N. (2002). Stages of processing in face perception: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 5, 910-916.
- Lu, S., Hämäläinen, M., Ilmoniemi, R., Lounasmaa, O., Sams, M., Vilkmann, V. (1991). Seeing faces activates three separate areas outside the occipital visual cortex in man. *Neuroscience*, 43, 287-290.
- Lueschow, A., Sander, Boehm, S., Nolte, G., T., Trahms, L. & Curio, G. (2004). Looking for faces - attention modulates early occipitotemporal object processing. *Psychophysiology*, 41, 350-360.

-
- Mammarella, N., Russo, R., Avons, S. (2002). Spacing effects in cued-memory tasks for unfamiliar faces and nonwords. *Memory and Cognition*, 30, 1238-1251.
- Martin, A., Wiggs, C., Ungerleider, L., Haxby, J. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379, 649-652.
- Martin-Loeches, E., Sommer, W., Hinojosa, J. (2005). ERP components reflecting stimulus identification: contrasting the recognition potential and the early repetition effect (N250r). *International Journal of Psychophysiology*, 55, 113-125.
- McCarthy, G., Puce, A., Belger, A., Allison, T. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception II : Response Properties of Face-specific Potentials Generated in Occipitotemporal Cortex. *Cerebral Cortex*, 9, 431-444.
- Mishkin, M., Ungerleider, L., Macko, K. (1983). Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends in Neurosciences*, 6, 414-417.
- Mnatsakanian, E., Tarkka, I. (2004). Familiar-face recognition and comparison: source analysis of scalp-recorded event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 880-886.
- Morris, C. Bransford, J., Franks, J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16, 519-533.
- Nunn, J., Postma, P., Pearson, R. (2001). Developmental Prosopagnosia: Should it be Taken at Face Value? *Neurocase*, 7, 15-27.
- Ostergaard, A. (1998). The effects on priming of word frequency, number of repetitions, and delay depend on the magnitude of priming. *Memory and Cognition*, 26, 40-60.
- Paller, K., Grabowecky, M., Bozic, V., Yamada, S. (2000). Electrophysiological Correlates of Recollecting Faces of Known and Unknown Individuals. *NeuroImage*, 11, 98-110.
- Pfütze, E., Sommer, W., Schweinberger, S. (2002). Age Related Slowing in Face and Name Recognition. Evidence from ERPs. *Psychology and Aging*, 17, 140-160.
- Puce, A., Allison, T., Gore, J., McCarthy, G. (1995). Face-Sensitive Regions in Human Extrastriate Cortex Studied by Functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, 74, 1192-1200.
- Puce, A. Allison, T., Asgari, M., Gore, J., McCarthy, G. (1996). Differential Sensitivity of Human Visual Cortex to Faces, Letterstrings, and Textures: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*, 15, 5205-5215.
- Puce, A., Allison, T., McCarthy, G. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception. III: Effects of Top-down Processing on Face-specific Potentials. *Cerebral Cortex*, 9, 445-458.

-
- Richardson-Klavehn, A., Bjork, R. (1988). Measures of memory. *Annual Review of Psychology*, 39, 475-543.
- Robbins, R., McKone, E. (2003). Can holistic processing be learned for inverted faces? *Cognition*, 88, 79-107.
- Roediger, H. (1990). Implicit memory: retention without remembering. *American Psychologist*, 45, 1043-1056.
- Roediger, H., McDermott, K. (1993). Implicit memory in normal human subjects. In F. Boller und J. Grafman (Eds.) *Handbook of Neuropsychology*, Vol.8, pp. 63-131. Amsterdam: Elsevier.
- Rosch, E., Mervis, C., Gray, W., Johnson, D., Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-439.
- Rossion, B., Campanella, S., Gomez, C.M., Delinte, A., Debatisse, D., Liard, L., Dubois, S., Bruyer, R., Crommelinck, M., Guerit, J.-M. (1999). Task modulation of brain activity related to familiar and unfamiliar face processing: an ERP study. *Clinical Neurophysiology*, 110, 449-462.
- Rossion, B., Delvenne, J.-F., Debatisse, D., Goffaux, V., Bruyer, R., Crommelinck, M., Guérit, J.-M. (1999a). Spatio-temporal localization of the face inversion effect : an event-related potential study. *Biological Psychology*, 50, 173-189.
- Rossion, B., Gauthier, I. (2002). How does the brain process upright and inverted faces ? *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1, 62-74.
- Rossion, B., Gauthier, I., Goffaux, V., Tarr, M., Crommelinck, M. (2002a). Expertise training with novel objects leads to left-lateralized facelike electrophysiological responses. *Psychological Science*, 13, 250-257.
- Rossion, B., Joyce, C., Cottrell, G., Tarr, M. (2003). Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex. *NeuroImage*, 20, 1609-1624.
- Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A.-M., Lazeyras, F., Mayer, E. (2003a). A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain*, 126 (Pt11), 2381-2395.
- Rossion, B., Schiltz, C., Crommelinck, M. (2003b). The functionally defined right occipital and fusiform “face areas” discriminate novel from visually familiar faces. *NeuroImage*, 19, 877-883.
- Rossion, B., Caldara, R., Schiltz, C., Sorger, B., Roucoux, A., Mayer, E. (2004). The mid-fusiform gyrus is not a critical source of the scalp face-sensitive N170 component: a double dissociation between electrophysiological and neuroimaging responses to faces in brain-damaged prosopagnosic patients.

Program No. 258.5. 2004 Abstract Viewer/Itinerary Planner. Washington DC: Society for Neuroscience Meeting.

- Rousselet, G., Macé, M., Fabre-Thorpe, M. (2004). Animal and human faces : How specific to human faces is the N170 ERP component ? *Journal of Vision*, 4, 13-21.
- Rugg, M., Mark, R., Walla, P., Schloerscheidt, A., Birch, C., Allan, K. (1998). Dissociation of the neural correlates of implicit and explicit memory. *Nature*, 392, 595-598.
- Sagiv, N., Bentin, S. (2001). Structural Encoding of Human and Schematic Faces: Holistic and Part-based Processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 937-951.
- Sams, M., Hietanen, J., Hari, R., Ilmoniemi, R., Lounasmaa, O. (1997). Face-specific responses from the human inferior occipito-temporal cortex. *Neuroscience*, 77, 49-55.
- Sander, T., Wübbeler, G., Lueschow, A., Curio, G., Trahms, L. (2002). Cardiac Artifact Subspace Identification and Elimination in Cognitive MEG Data Using Time-Delayed Decorrelation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49, 345-354.
- Sato, N., Nakamura, K., Nakamura, A., Sugiura, M., Ito, K., Fukuda, H., Kawashima, R. (1999). Different time course between scene processing and face processing. A MEG study. *Neuroreport*, 26, 3633-3637.
- Schacter, D.L., Chiu, C.-Y. P., Ochsner, K.N. (1993). Implicit Memory: A Selective Review. *Annual Review of Neuroscience*, 16, 159-182.
- Schacter, D., Buckner, R. (1998). Priming and the brain. *Neuron*, 20, 185-195.
- Schweinberger, S., Pfützte, E., Sommer, W. (1995). Repetition Priming and Associative Priming of Face Recognition: Evidence from ERPs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 722-736.
- Schweinberger, S. (1996). How Gorbachev primed Yeltsin: analyses of associative priming in person recognition by means of reaction times and event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1383-1407.
- Schweinberger, S., Pickering, E., Burton, A., Kaufmann, J. (2002). Human brain potential correlates of repetition priming in face and name recognition. *Neuropsychologia*, 40, 2057-2073.
- Schweinberger, S., Pickering, E., Jentsch, I., Burton, A., Kaufmann, J. (2002a). Event-related brain potential evidence for a response of inferior temporal cortex to familiar face repetitions. *Cognitive Brain Research*, 14, 398-409.

-
- Schweinberger, S., Huddy, V., Burton, M. (2004). N250r: A face-selective brain response to stimulus repetitions. *NeuroReport*, 15, 1501-1505.
- Shanks, D., Wilkinson, L., Channon, S. (2003). Relationship Between Priming and Recognition in Deterministic and Probabilistic Sequence Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 248-261.
- Shibata, T., Nishijo, H., Tamura, R., Miyamoto, K., Eifuku, S., Endo, S., Ono, T. (2002). Generators of Visual Evoked Potentials for Faces and Eyes in the Human Brain as Determined by Dipole Localization. *Brain Topography*, 15, 51-63.
- Sommer, W., Komoss, E., Schweinberger, S. (1997). Differential localization of brain systems subserving memory for names and faces in normal subjects with event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 102, 192-199.
- Sugiura, M. et al. (2001). Activation Reduction in Anterior Temporal Cortices during Repeated Recognition of Faces of Personal Acquaintances. *NeuroImage*, 13, 877-890.
- Swithenby, S., Bailey, A., Bräutigam, S., Josephs, O., Jousmäki, V., Tesche, C. (1998). Neural processing of human faces: a magnetoencephalographic study. *Experimental Brain Research*, 118, 501-510.
- Talairach, J., Tournoux, P. (1988). Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. New York: Thieme.
- Tanaka, J. (2001). The Entry Point of Face Recognition: Evidence for Face Expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 534-543.
- Tarr, M., Cheng, Y. (2003). Learning to see faces and objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 23-30.
- Tarkiainen, A., Helenius, P., Salmelin, R. (2003). Category-specific activation during face perception in dyslexic individuals: an MEG study. *NeuroImage*, 19, 1194-1204.
- Tarkiainen, A., Liljeström, M., Seppä, M., Salmelin, R. (2003a). The 3D topography of MEG source localization accuracy: effects of conductor model and noise. *Clinical Neurophysiology*, 114, 1977-1992.
- Tranel, D., Damasio, A. (1985). Knowledge Without Awareness: An Autonomic Index of Facial Recognition by Prosopagnosics. *Science*, 228, 1453-1454.
- Trenner, M., Schweinberger, S., Jentsch, I., Sommer, W. (2004). Face repetition effects in direct and indirect tasks: an event-related brain potentials study. *Cognitive Brain Research*, 21, 388-400.

-
- Ungerleider, L., Haxby, J. (1994). What and where in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 4, 157-164.
- Watanabe, S., Kakigi, R., Koyama, S., Kirino, E. (1999). Human face perception traced by magneto- and electroencephalography. *Cognitive Brain Research*, 8, 125-142.
- Watanabe, S., Kakigi, R., Puce, A. (2003). The spatiotemporal dynamics of the face inversion effect: a magneto- and electroencephalographic study. *Neuroscience*, 116, 879-895.
- Wiggs, C., Martin, A. (1998) Properties and mechanisms of perceptual priming. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 227-233.
- Williamson, S., Kaufman, L. (1981). Magnetic fields of the cerebral cortex. In S. Erne, H. Hahlbohm, H. Lübbig (Eds.), *Biomagnetism*, pp.353-402. Berlin: de Gruyter.
- Winston, J., Henson, R., Fine-Goulden, M., Dolan, R. (2004). fMRI-adaptation reveals dissociable neural representations of identity and expression in face perception. *Journal of Neurophysiology*, 92, 1830-1839.

Danksagung

Ich möchte mich bei den Personen, die mir bei der Erstellung dieser Arbeit geholfen haben, bedanken. Als erstes danke ich Dr. Andreas Lüscho, der mir während dieser Arbeit als Betreuer zur Seite stand. Dabei war er mir nicht nur in inhaltlichen und technischen Fragen ein wichtiger Ansprech- und Diskussionspartner, sondern hat mich mit seiner Begeisterung für die Forschungsarbeit und seinem Optimismus auch immer wieder aufgebaut. Joachim Weber und Tassilo Hübner danke ich für die hochmotivierende Zusammenarbeit in unserer Kleinarbeitsgruppe. Professor Gabriel Curio möchte ich für die wichtigen inhaltlichen Kommentare, die er mir vor allem für die Dipollokalisierungen, die in der vorliegenden Arbeit berichtet werden, gegeben hat, und für die Begutachtung dieser Arbeit danken. Professor Werner Sommer danke ich dafür, daß er den Verlauf meiner Arbeit über die ganzen Jahre mit Fürsorge begleitet und mir gute inhaltliche und technische Ratschläge zur Erstellung der Arbeit gegeben hat. Ich danke ihm auch für seine Bereitschaft, diese Arbeit zu begutachten. Professor Helmut Leder danke ich für seine Bereitschaft, diese Arbeit zu begutachten. Professor Peter Marx und Professor Gabriel Curio danke ich für die Bereitstellung von Anschlussfinanzierungen zum Abschluß dieser Arbeit. Der Abteilung Biomagnetismus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt möchte ich für die Möglichkeit, die Messungen an ihrem MEG-System durchzuführen, und für die wichtige technische Unterstützung bei den Messungen und Auswertungen danken. Dr. Jens Heidenreich danke ich die Durchführung der magnetresonanztomographischen Aufnahmen. Andreas Lüscho und Andreas Mathis danke ich für die Anregungen und Kommentare beim Lesen dieser Arbeit. Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch ein Stipendium (DFG-Graduiertenkolleg 432/2) unterstützt.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit selbständig ohne fremde Hilfe verfasst zu haben und nur die angegebenen Literaturquellen und Hilfsmittel verwendet zu haben. Ich erkläre ebenfalls, dass ich mich weder anderwärts um einen Doktorgrad beworben habe noch einen Doktorgrad im Fach Psychologie besitze. Die Promotionsordnung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät habe ich zur Kenntnis genommen.