

Medizinische Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

aus der Klinik für Neurologie in Zusammenarbeit mit der Physikalisch
Technischen Bundesanstalt (PTB)

Abteilungsleiter: Prof. Dr. med Matthias Endres

**Priming einer frühen elektrophysiologischen Komponente
(„M170“) der Gesichtsverarbeitung**

(Priming of an early electrophysiological component („M170“) of face perception)

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

medizinischen Doktorwürde

Charité – Universitätsmedizin Berlin

Campus Benjamin Franklin

vorgelegt von

Stephan Hinze

aus Berlin

Referent: Prof. Dr. G. Curio

Korreferent: Prof. Dr. med. J. Gallinat

Gedruckt mit Genehmigung der Charité - Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin

Promoviert am: 14. Juni 2009

Inhalt

1	EINLEITUNG	1
1.1	Visuelles System	2
1.1.1	Okzipito- temporaler extrastriater Cortex	4
1.1.2	„Extended system“	6
1.1.3	Elektrophysiologische Untersuchungen	7
1.1.4	Das holistische Modell	9
1.2	„Working memory“	10
1.3	Priming	12
2	METHODEN	17
2.1	Elektrophysiologische Grundlagen	17
2.2	Messvorrichtung	19
2.3	Gesichterphotos	21
2.4	Probanden	21
2.5	Versuchsablauf	22
2.6	Datenanalyse	24
3	ERGEBNISSE	28
3.1	Verhaltenskomponente	28
3.1.1	„Repeated“	28
3.1.2	„Matches“	29
3.1.3	„Repeated“ vs. „Matches“	30
3.1.4	„Filler“	31
3.2	Fehler	32

3.3	MEG	33
3.3.1	„Samples“	34
3.3.2	„Repeated“	38
3.3.3	„Matches“	39
3.3.4	„Filler“	40
3.3.5	“Samples” vs. “Matches”	41
3.3.6	“Samples” vs. “Repeated”	43
3.3.7	“Repeated” vs. “Matches”	44
4	DISKUSSION	45
4.1	Die „M170“	45
4.2	Bildet sich Vertrautheit auf der M170 ab?	46
4.3	Amplitudendekrement der M170	46
4.4	Priming- Effekt in der Verhaltenskomponente	51
4.5	Beziehung Verhaltensdaten/ Elektrophysiologie	52
4.6	Lateralisierung des M170 Amplitudendekrements	52
4.7	Schlussfolgerungen	53
5	ZUSAMMENFASSUNG	55
	LITERATURVERZEICHNIS	56
	ANHANG	62

1 Einleitung

Unser heutiges Wissen über das Gehirn ist vergleichbar mit dem Blick aus dem Fenster eines Flugzeuges bei Nacht. Wir können verstreute Lichtpunkte von Städten auf dem Boden erkennen und wissen, dass Strassen, Eisenbahntrassen und Telefonleitungen diese Orte miteinander verbinden. Aber wir wissen sehr wenig über die sozialen, politischen und ökonomischen Interaktionen zwischen den Städten, die einer funktionierenden Gesellschaft zugrunde liegen (Nichols and Newsome, 1999).

Ein wesentliches Merkmal der Funktionen des menschlichen Gehirns bilden seine Kognitionen. Diese dienen dazu, Inhalte von Wahrnehmung, Denken oder Emotionen, seien sie aktuell oder erinnert, auszuwählen, miteinander (neu) in Beziehung zusetzen, zu bewerten und eventuell neu abzuspeichern. Darunter fallen unter anderem Lesen, Schreiben und Rechnen, aber auch vorausschauendes Planen, räumliche Wahrnehmung und das Gedächtnis. Viele dieser Aufgaben sind eng mit dem Frontalhirn assoziiert, welches zahlreiche Verbindungen zu den sensorischen Kortizes des Okzipito- temporo- parietal- Bereich aufweist, und welches auch eng mit dem limbischen System kommuniziert. Letzteres ist, allgemein beschrieben, für die emotionale Bewertung zuständig. Das limbische System und insbesondere das Gedächtnis lassen sich neben dem Frontalhirn aber auch mit dem Temporalhirn in Verbindung bringen.(Heilman and Valenstein, 1993)

Um mehr über diese Funktionsweisen des Gehirns herauszufinden, stehen uns verschiedene technische Hilfsmittel wie das MEG (Magnetoenzephalogramm) und EEG (Elektroenzephalogramm) oder fMRT (funktionale Magnetresonanztomographie) und PET (Positron Emissions Tomographie) zur Verfügung. Diese messen auf verschiedene Arten und Weisen die Gehirnaktivität (für weitere Details siehe unten), während menschliche Probanden und zum Teil auch Versuchstiere experimentellen Situationen ausgesetzt sind, die zum Beispiel kognitive Aufgaben enthalten. Eine häufig verwendete Gruppe der Aufgabenstellungen, die mehrere Aspekte der Kognitionen zu entschlüsseln ermöglicht, sind sogenannte „delayed

matching to sample tasks“ (DMS)¹. In der einfachsten Form dieser Versuchsanordnung folgt auf einen „Sample“- Stimulus nach einem verzögernden Intervall („delay“) ein Test- Stimulus, welcher entweder dem Sample entspricht oder nicht (Desimone et al., 1994). Bei der Lösung solcher Aufgaben sind eine Reihe von Verarbeitungsschritten notwendig: zunächst muss der Stimulus wahrgenommen werden, anschließend im Gedächtnis gespeichert werden und letztendlich eine Entscheidung darüber getroffen werden, ob der Test- Stimulus mit dem Sample übereinstimmt oder nicht, d.h. der Sample- Stimulus muss wiedererkannt werden (Desimone, 1996). Als erstes kann man somit die Verarbeitung eines Stimulus in den primären Kortex studieren, weiterführend dann die Verarbeitung in den komplexeren Verarbeitungszentren, den sekundären und Assoziationskortex. Als zweite Stufe erfolgt eine temporäre Abspeicherung im Gedächtnis, welches für diese Aufgaben zumeist das Arbeitsgedächtnis (ehemals Kurzzeitgedächtnis) beinhaltet. Als dritte Stufe kann man mit diesem Paradigma herausfinden, wie das Gehirn ein Wiedererkennen bewerkstelligt, also die Unterscheidung hinsichtlich der Übereinstimmung des Test- Stimulus mit dem Sample.

1.1 Visuelles System

Das visuelle System besitzt anfangs einen hierarchisch gegliederten Aufbau. Zunächst treffen die Lichtstrahlen, welche die Informationen über das Bild enthalten, auf die Retina, wo die Information in elektrische Signale transformiert wird. Diese Signale werden anschließend über die bipolaren Zellen und Ganglienzellen der Retina an das Corpus geniculatum laterale im Thalamus weitergeleitet, von wo aus es über die Sehstrahlung (Radatio optica) die Sehrinde auf Kortexniveau erreicht. Diese sogenannte Area striata, V1 (visueller Kortex 1), stellt die erste perzeptive Verarbeitungsstufe dar. Ihr folgen die komplexeren Verarbeitungen des visuellen Bildes in V2, V4 und anschließend in den höheren kortikalen Zentren, den Assoziationskortex, des Temporallappens. In den einzelnen Stationen konvergieren dabei mehrere Neurone auf ein nachgeschaltetes Neuron hin, was zur Bildung sog. "rezeptiver Felder" führt, deren Größe mit zunehmender Stufe in der Hierarchie wächst. Die Größe eines solchen rezeptiven Feldes beträgt

¹ Im Interesse einer einfacheren Darstellung und begrifflichen Klarheit werden in dieser Arbeit meist die englischen Fachbegriffe verwendet.

dabei in V4 das 40-fache und im infero-temporalen Kortex das 1000-fache von V1 (Pollen, 1999). Die Informationen der nasalen Retinaabschnitte werden im sogenannten Chiasma opticum auf die gegenüberliegende Hemisphäre geleitet, so dass schließlich die Information über das visuelle Bild aus der rechten Gesichtshälfte in die linken Hirnhälfte gelangt und die Information über das visuelle Bild aus der linken Gesichtshälfte in die rechte Hirnhemisphäre. (Schmidt and Thews, 1997b)

Im visuellen System hat die Gesichtererkennung eine wichtige Rolle. Nach Haxby stellt sie die wahrscheinlich am weitesten entwickelte perzeptuelle Fähigkeit dar und spielt darüber hinaus eine entscheidende Rolle in der sozialen Interaktion. Denn über das Gesicht erkennen sich die Menschen untereinander, und der Gesichtsausdruck, die Mimik, spielt als nonverbale Komponente bei der Kommunikation eine sehr große Rolle. Schon Kleinkinder schauen sich kurz nach der Geburt lieber Gesichter als andere Objekte an und haben schon zu einem frühen Zeitpunkt eine Vorliebe für die Imitation von Gesichtsausdrücken (Morton and Johnson, 1991). Darüber hinaus folgt die Aufmerksamkeit von 6 Monate alten Kleinkindern der Blickrichtung anderer Gesichter (Hood et al., 1998). Gerade die Blickrichtung und die Ausrichtung des Gesichtsprofils beinhalten Informationen über die Richtung, der die Person ihre Aufmerksamkeit zuwendet, und daher die Richtung, in welcher sich eine potentielle Gefahrenquelle befinden könnte. Aufgrund dieser exponierten Stellung eignet sich die Gesichterverarbeitung besonders gut für Untersuchungen von perzeptiven und kognitiven visuellen Funktionen.

Wie ein neuronales Netzwerk der Gesichterverarbeitung aussehen könnte, stellte Haxby 2002 in seinem „Model of the distributed human neural system for face perception“ vor [siehe Bild 1.1]. Demnach besteht die kortikale Verarbeitung von Gesichtern aus einem „core system“, welches der visuellen Analyse dient, und einem „extended system“ für die weiterführende Verarbeitung in Verbindung mit anderen neuronalen Systemen. Zunächst gelangt die Information zur frühen Wahrnehmung von Gesichtermerkmalen in den inferioren okzipitalen Gyrus, von wo aus sie in den superioren temporalen Sulcus zur Wahrnehmung von variierenden Aspekten des Gesichtes wie der Blickrichtung, des Ausdrucks und der Lippenbewegungen weitergeleitet wird, und in den lateralen fusiformen Gyrus, wo die Wahrnehmung der spezifischen Identität vollzogen wird. Im „extended system“ wird im infraparietalen Sulcus die räumliche Aufmerksamkeit gesteuert, im auditorischen Cortex (Gyrus temporalis superior) die prälexikalische Sprachwahrnehmung vollzogen, in der Amygdala, dem Inselcortex und dem

limbischen System die Emotionsverarbeitung und emotionale Antwort durchgeführt und im anterioren temporalen Kortex die individuelle Identität, Name und biographische Informationen bearbeitet. (Haxby et al., 2002)

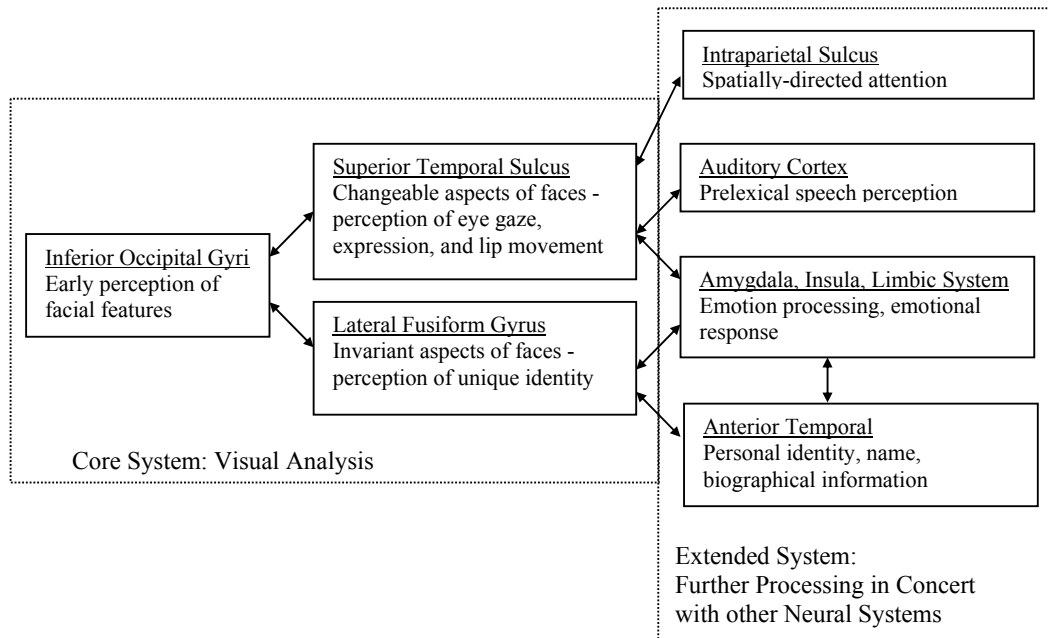


Bild 1.1: Zu sehen ist Haxbys Modell des verzweigten neuronalen Systems der Gesichterwahrnehmung. Haxby unterteilt dabei in ein „core“- System für die visuelle Analyse von Gesichtern, welches aus drei Regionen des okzipito- temporalen extrastriatalen Kortex besteht, und in ein „extended“- System für die weitere Verarbeitung der Bedeutung der Information, die von den Gesichtern ausgeht. Dieses letztere System wird dabei auch von anderen kognitiven Funktionen des Gehirns genutzt.

1.1.1 Okzipito- temporaler extrastriataler Cortex

Sergent fand 1992 während Gesichterdiskriminationsaufgaben eine bilaterale, allerdings rechtsdominante Aktivierung des fusiformen Gyrus, eine bilaterale Aktivierung der medialen temporalen Kortexregion und eine Aktivierung der rechten Parahippocampalregion (Sergent et al., 1992). 1997 konnte Kanwisher dann zeigen, dass eine Region im fusiformen Gyrus stärker auf passiv angeschaute Gesichter hin aktiviert wurde als auf Tier- oder Menschenbilder oder auch Körperteile und dass diese Region eine stärkere Aktivität aufwies, wenn bei identischer retinaler Stimulation die Aufmerksamkeit im Vergleich mit Häusern auf Gesichtern lag (Kanwisher et al., 1997). Kanwisher führte daraufhin den Begriff der „fusiform face area“ (FFA) für diese Region im mittleren Teil des fusiformen Gyrus ein. Werden Gesichterphotos allein

gezeigt, so ruft dies eine Antwort in beiden fusiformen Gyri hervor, werden die Gesichter allerdings zusammen mit anderen Objekten gezeigt, so kann eine gesichterspezifische Antwort nur noch in der rechten Hemisphäre beobachtet werden (McCarthy et al., 1997). Elektrische Stimulation der fusiformen und infero-temporalen Region ruft des Weiteren eine vorübergehende Unfähigkeit hervor, familiäre Gesichter zu benennen (Allison et al., 1994).

Weiteren Aufschluss darüber, dass die für die Gesichteridentifizierung wichtigen Regionen in den bilateralen fusiformen Gyri, vor allem aber dem rechten, liegen, liefern außerdem Beobachtungen an Patienten mit Prosopagnosie. Prosopagnosiepatienten können zwar ein Gesicht als solches erkennen, dieses aber nicht als das einer bestimmten Person zugehörig identifizieren. Gesichter von anderen Objekten zu unterscheiden, stellt für sie kein Problem dar. Die Läsionen liegen bei diesem Krankheitsbild entweder bilateral oder unilateral rechts in der Region des fusiformen Gyri. (Barton et al., 2002; Marotta et al., 2001) Darüber hinaus liefern Untersuchungen an „split-brain“ Patienten Unterstützung für die Dominanz der rechten Hemisphäre im Rahmen der Gesichtererkennung. So können zwar beide der diskonnektierten Hirnhälften Gesichter erkennen, doch vollzieht sich die Gesichterverarbeitung im rechten Kortex wesentlich effektiver (Levy et al., 1972).

Neben dem fusiformen Gyri zeigten sich auch andere auf Gesichter antwortende Bereiche des extrastriären Cortex im fMRT (funktionale Magnetresonanztomographie, im Englischen fMRI = „functional magnetic resonance imaging“), nämlich der inferiore okzipitale Cortex, sowie der superiore temporale Sulcus (Hoffman and Haxby, 2000). Durch das fMRT werden Veränderungen der Sauerstoffsättigung des Blutes in Verbindung mit dem Blutfluss und Blutvolumen gemessen. Beide Parameter hängen von der Aktivität der Hirnareale ab. Während der fusiforme Gyri eine stärkere Antwort bei selektiver Aufmerksamkeit („attention“) auf die Identität von Gesichtern zeigt, geschieht dies im superioren temporalen Sulcus durch selektive Aufmerksamkeit auf die Blickrichtung. Der anatomisch weiter am Beginn der visuellen Verarbeitungsstrecke liegende inferiore okzipitale Cortex dient somit als Vorstufe der höheren Gesichterwahrnehmung, der dann entweder der fusiforme Gyri für die Identität oder der superiore temporale Sulcus für die Blickrichtung folgen (Haxby et al., 2002).

1.1.2 „Extended system“

Auch der infraparietale Sulcus zeigt bei der Lenkung der Aufmerksamkeit auf die Blickrichtung oder bei passivem Betrachten von Gesichtern mit abgewendeten Augen eine erhöhte Aktivität. Da er über reziproke Verbindungen zum superioren temporalen Sulcus verfügt, liegt es nahe anzunehmen, dass letzterer Informationen über die Blickrichtung und Profilausrichtung an das parietale System für die Raumwahrnehmung und die räumliche Aufmerksamkeitsänderung („spatial attention“) weiterleitet. Der „attentional shift“ auf eine wahrgenommene Blickrichtung erfolgt automatisch: er tritt sogar dann auf, wenn den Probanden erzählt wird, die Blickrichtung sei irrelevant. (Haxby et al., 2002)

Der superiore temporale Sulcus kann neben Blickrichtung und Profilausrichtung auch durch Lippenbewegungen aktiviert werden. Das Ablesen von den Lippen ruft des weiteren eine Aktivität im superioren temporalen Gyrus hervor, welcher zum auditorischen Kortex gehört und beim Hören von gesprochenen Worten eine Rolle spielt. Der superiore temporale Gyrus extrahiert also phonemische Informationen aus den visuellen Bildern der Lippenbewegungen.

Verbindungen vom fusiformen Gyrus bestehen zu anterioren temporalen Regionen, welche wahrscheinlich für das biographische Wissen eine Rolle spielen, da sie durch Namen von berühmten Personen, durch vertraute Landschaften oder das Erkennen von vertrauten Gesichtern aktiviert werden. Über den anterioren Temporallappen können somit der passende Name, sowie andere Informationen, die mit dem Gesicht assoziiert sind, abgerufen werden. (Haxby et al., 2002)

Strukturen im „extended system“, die für die emotionale Wahrnehmung oder auch Vorbereitung emotionaler Antworten eine Rolle spielen, haben Verbindungen zu beiden Untergruppen des „core systems“. Direkter Blickkontakt, sowie unvertraute im Gegensatz zu vertrauten Gesichtern rufen eine Aktivierung der Amygdala hervor. Dies macht auch ein Gesichtsausdruck der Angst. Die Amygdala spielt somit wahrscheinlich bei der Einschätzung eine Rolle, ob eine soziale Begegnung ein Gefühl von Sicherheit oder Unsicherheit beinhaltet. So kann ein direkter Blick entweder Interesse oder aber auch eine potentielle Bedrohung bedeuten. Unvertraute Personen und deren Gesichter stellen ebenfalls eher eine potentielle Bedrohung dar, als bekannte.

Die Wahrnehmung von Ekel in dem Gesichtsausdruck einer anderen Person ruft eine Aktivierung des Inselkortex hervor, der vermutlich mit der Wahrnehmung von Gerüchen und Tiefensensibilität assoziiert ist. (Haxby et al., 2002)

1.1.3 Elektrophysiologische Untersuchungen

Die bisher aufgeführten Ergebnisse, welche hauptsächlich mittels bildgebender („imaging“) oder neuropsychologischer Methoden gewonnen wurden, beziehen sich in erster Linie auf die Lokalisation von Aufgaben zu bestimmten Gehirnregionen. Denn die hämodynamische Antwort, die mittels fMRT („funktionelle Magnetresonanztomographie“) gemessen wird, tritt mit einer Verzögerung von Sekunden auf, was zu einer niedrigen Zeitauflösung dieser Methode führt. Um den Zeitablauf neuronaler Ereignisse, die sich größtenteils in einem Zeitbereich von mehreren hundert Millisekunden abspielen, zu untersuchen, sind andere Verfahren mit einer höheren Zeitauflösung notwendig, wie zum Beispiel die Aufzeichnung von evozierten Potentialen und Feldern mittels Elektro- und Magnetoenzephalographie oder die direkte intrazelluläre Ableitung der neuronalen Aktivität. (Haxby et al., 2002)

1982 konnte Perrett anhand von Einzelzellaufzeichnungen an Rhesusaffen zeigen, dass es im superioren temporalen Sulcus (STS) Neurone gibt, die spezifisch auf Gesichter hin antworten (Perrett et al., 1982). Desimone konnte dieses Ergebnis später an Makaken wiederholen und fand auch gesichterspezifische Neurone im inferioren temporalen Gyrus (Desimone, 1991). Der superioren temporale Sulcus (STS) und der inferioren temporale Gyrus im Makaken sind wahrscheinlich dem gesichterspezifischen STS und dem fusiformen Gyrus im Menschen homolog. Denn intrakranielle Ableitungen bei letzterem zeigen eine Potentialänderung um 200ms herum, die spezifisch auf Gesichter hin auftritt, aber nicht auf andere Gruppen von Stimuli wie Autos oder Schmetterlinge (Allison et al., 1994).

Mittels extrakraniell abgeleiteter ERP's („event related potentials“, im Deutschen EKP's = „Ereignis korrelierte Potentiale“) konnte bilateral über posteriore okzipito-temporalen Regionen eine zumeist negative Komponente mit einem Amplitudenmaximum zwischen 140 und 200 ms nachgewiesen werden, die als „N170“ in der Literatur beschrieben wird, und welche größer für Gesichter ausfällt als für Objekte (Boetzel et al., 1995; Botzel and Grusser, 1989; George et al., 1996; Itier and Taylor, 2004b; Jeffreys, 1989). Möbel, Körperteile, Tiere und

andere Objekte rufen, wenn überhaupt, nur eine sehr viel schwächere Antwort hervor, Gesichtsbestandteile erreichen immerhin eine Antwortstärke von 40% im Vergleich zu ganzen Gesichtern (Eimer, 2000b; Halgren et al., 2000; Puce et al., 1999). Augen können teilweise sogar eine stärkere „N170“-Antwort auslösen als ganze Gesichter (Taylor et al., 2001). Die „N170“ ist schon bei Kindern in einem Alter von vier Jahren zu finden (Taylor et al., 1999). Bei einem Prosopagnosiepatienten hingegen konnte keine Potentialänderung um 170ms auf einen Gesichterstimulus hin festgestellt werden (Eimer, 2000b). Hinweise darauf, dass die „N170“ eine frühe Stufe der Gesichterverarbeitung darstellt, zeigen Untersuchungen, bei denen festgestellt wurde, dass diese Komponente für auf dem Kopf stehende („inverted“) Gesichter verspätet auftritt und sie eine größere Amplitude als für normal orientierte („upright“) Gesichter besitzt (Eimer, 2000a; Itier and Taylor, 2002; Linkenkaer-Hansen et al., 1998). Eine längere Latenz und größere Amplitude ist auch bei einer Kontrastumkehr des Bildes („negative face“) zu sehen (Itier and Taylor, 2002). Unbeeinflusst bleibt diese gesichterspezifische Komponente von der Größe des Gesichtes, von der Farbe (s/w oder farbig) und auch von der Tatsache, ob ein Bild unscharf präsentiert wurde oder nicht („blurring“) (McCarthy et al., 1999).

Auch schon eine frühere elektrophysiologische Komponente, die sogenannte „P100“ oder „P1“, welche in einem Zeitbereich zwischen 100 und 120 ms auftritt, scheint in der Gesichterverarbeitung eine Rolle zu spielen. Denn für auf dem Kopf stehende („inverted“) Gesichter besitzt die „P1“ eine längere Latenz und bisweilen größere Amplitude als für normal orientierte Gesichter (Itier and Taylor, 2004b; Linkenkaer-Hansen et al., 1998; Liu et al., 2002; Taylor et al., 2001). Die Amplituden für sämtliche Gesichter („inverted“ und „upright“) waren bei kürzlich durchgeführten Experimenten von Itier & Taylor größer als die Amplituden von anderen Objekten (Itier and Taylor, 2004b). Der „P1“ kommt somit eine frühe globale Antwort auf Gesichter hin zu, wie Sugase anhand von Makaken zeigen konnte (Sugase et al., 1999). Die „N170“ (bzw. „M170“) markiert eine Verarbeitungsstufe, auf der ein Gesicht hinsichtlich seiner Struktur genauer analysiert wird (Eimer, 2000b).

Bisweilen wird auch eine zu einem noch früheren Zeitpunkt auftretende elektrophysiologische Komponente vor allem von Seeck erwähnt, welche um 50 ms herum zu finden ist (Seeck et al., 1997). In Seecks Arbeit konnte gezeigt werden, dass schon zu diesem frühen Zeitpunkt eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Kategorien stattfindet, welche allerdings sehr wahrscheinlich auf der Analyse von „low- level“ Bestandteilen („features“)

beruht (VanRullen and Thorpe, 2001). Dies stimmt auch mit der Erkenntnis überein, dass diese frühe sogenannte „C1“ Komponente die Aktivität in der Region V1 des visuellen Kortex reflektiert (Foxy and Simpson, 2002).

Schließlich gibt es noch spätere elektrophysiologische Komponenten, welche der Wiedererkennung bekannter Gesichter zu dienen scheinen. Zum einen die von Schweinberger beschriebene „N250“, welche im Zeitbereich zwischen 200 bis 300 ms über temporalen Bereichen auftritt und welche einen Repetitionseffekt (Wiedererkennungseffekt) zeigt (Schweinberger et al., 2002b), des weiteren die um 300 bis 500 ms in parietalen Bereichen liegende „N400“, in welcher die Vertrautheit (Familiarität) von Gesichtern, also ein Bekannt- unbekannt- Unterschied zu sehen ist (Eimer, 2000b; Paller et al., 2000), sowie weitere frontale und parietale Positivierungen um 300 bis 600ms welche auch eine vorhandene Vertrautheit (Familiarität) widerspiegeln und Wiederholungseffekte zeigen [siehe in (Itier and Taylor, 2004a)].

1.1.4 Das holistische Modell

Nun stellt sich abschließend noch die Frage, ob die Gesichter als Gesamtes verarbeitet werden oder ob zunächst einzelne Strukturelemente verarbeitet werden und aus diesen anschließend ein Gesamtbild „zusammengesetzt“ wird. Ein Patient mit schwerer Objektagnosie und Dyslexie, dessen Gesichtererkennung noch funktionstüchtig war, zeigte bei gedrehten („inverted“) oder zerstückelten („fractured“) Gesichtern eine gestörte Wiedererkennung und eine gestörte perzeptuelle Zuordnung sich gleichender Gesichter („perceptual matching performance“) (Moscovitch, 1997). Des weiteren ist die Gesichterwiedererkennung („face recognition“) im Vergleich zur Objektwiedererkennung („object recognition“) stärker beeinträchtigt wenn Skizzen anstelle von echten Photographien gezeigt werden (Davis et al., 1978), oder wenn das Gesicht auf den Kopf gestellt wird („inversion“) (Valentine, 1988). Außerdem ist die Objekterkennung durch Umkehr der Kontrast- Polarität wesentlich weniger beeinträchtigt als die Gesichtererkennung (Subramanian and Biederman, 1997).

Nach Farah basiert die Gesichtererkennung demnach auf einer „holistischen“ Repräsentation des Bildes, während die Objekterkennung eher auf einer Zerlegung des Objektes in seine Bestandteile beruht (Farah, 1991). Dazu passt auch, dass Gesichter ein Beispiel einer

Stimulusklasse sind, welche die gleichen grundlegenden Konfigurationen beinhaltet, die sich nur in leichten Variationen der räumlichen Struktur unterscheiden.

Die holistische Verarbeitung von Gesichterstimuli scheint lateralisiert zu sein und vorwiegend in der rechten Hemisphäre durchgeführt zu werden. Stimulationen des halben Gesichtsfeldes zeigen, dass die rechte Hemisphäre besser aufrechte Gesichterphotos prozessiert, während die linke Hemisphäre einen Vorteil bei gekippten („inverted“) Gesichtern besitzt (McCarthy et al., 1999). Wenn die Probanden ihre Aufmerksamkeit auf spezielle Merkmale des Gesichtes legen, so ist die Aktivität im linken fusiformen Gyrus größer als im rechten. Der gleiche Effekt tritt auch bei der Betrachtung von Gesichtsmerkmalen auf (Rossion et al., 2000). Prosopagnosiepatienten mit rechtsseitigen Läsionen zeigen im Vergleich zu gesunden Probanden bei der Perzeption von Gesichtern auch eine größere Aktivität in der linken Hemisphäre (Marotta et al., 2001). Auch Halgren, der in seiner Studie keinen Hinweis auf eine Lateralisation findet, da die Antwort auf „scrambled“ Gesichter in beiden Hemisphären um 25% geringer ist als die auf komplette Gesichter (Halgren et al., 2000), interpretiert diese Ergebnisse auf der Grundlage einer holistisch rechtsseitigen Verarbeitung im Normalfall. Im Falle einer Störung könne die Informationsverarbeitung auch über den zeitraubenden Weg der integrativen Analyse der individuellen Merkmale vor allem in der linken Hemisphäre ablaufen.

1.2 „Working memory“

Das Arbeitsgedächtnis („working memory“) dient dazu, eine aktive Repräsentation einer Information über eine kurze Zeitspanne hinweg zu erhalten, so dass sie zum Abruf oder zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung steht (Baddeley, 1992). Das Arbeitsgedächtnis steht somit an einem Punkt zwischen Gedächtnis, Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (Perzeption). Es kann in drei Komponenten gegliedert werden: eine zentrale Exekutive („central executive“) und zwei Hilfssysteme, das „visuospatial sketch pad“ (räumliche visuelle Informationen) und den „phonological loop“ (verbale Informationen). Die beiden Hilfssysteme lassen sich anhand des folgenden Experimentes verdeutlichen. Probanden, deren verbaler Zahlenspeicher („digit memory“), also der „phonological loop“, mit maximaler Kapazität ausgelastet ist, indem sie sich Zahlenfolgen merken müssen, können währenddessen noch sehr effektiv denken und lernen. Das Vorhandensein einer zentralen Exekutive wird an dem Beispiel von Alzheimerpatienten deutlich,

die zwar Einzelaufgaben (eine visuelle und eine verbale) auf gleichem Niveau wie eine altersentsprechende Gruppe durchführen können, jedoch in der gleichzeitigen Ausführung beider Aufgaben deutlich Defizite gegenüber der Kontrollgruppe aufweisen. Die annähernd normale Gedächtnisspanne bleibt sogar bei Fortschreiten der Erkrankung stabil. (Baddeley, 1992)

Die zentrale Exekutive ist somit ein Aufmerksamkeits- Kontroll- System („attentional-controlling system“), welches zum Beispiel beim Schachspielen sehr wichtig ist. Der „phonological loop“ speichert und übt sprachbasierte Informationen, was vor allem für das Erlernen von neuen Vokabeln und einer neuen Sprache Wichtigkeit besitzt. Probanden können dabei im Allgemeinen so viele Worte erinnern, wie sie in zwei Sekunden aussprechen können. Der „visuospatial sketch pad“ schließlich dient der Verarbeitung von visuellen Bildern.(Baddeley, 1992)

Das visuelle Arbeitsgedächtnis („visuospatial sketch pad“) besteht aus einer gemeinsamen Aktivität verschiedener Regionen eines weitläufig verteilten Systems. Ventro-latero- frontal werden vor allem Gesichter im Arbeitsgedächtnis abgelegt, dorso- latero- frontal räumliche Komponenten, und der mediale Frontalhirnbereich mit Prä-SMA („pre supplementary motor area“) und „cingulate motor area“ dient der Vorbereitung einer Antwort, wahrscheinlich sogar der Vorbereitung zur Auswahl einer Antwortmöglichkeit auf der Grundlage der Informationen, die sich im Arbeitsgedächtnis befinden.

Die neuronale Grundlage des Arbeitsgedächtnisses bildet eine anhaltende Aktivität bestimmter Neurone über Intervalle hinweg, in denen die Gedächtnisspur erhalten bleiben muss. Dies wird auch als „delay activity“ bezeichnet. Für die gesichterspezifischen ventro-lateralen Frontalhirnregionen lassen sich hinsichtlich dieser „sustained delay activity“, die das Arbeitsgedächtnis repräsentiert, noch weitere Unterteilungen vornehmen. Während die posteriore mittlere Frontalhirnregion die geringste „sustained delay activity“ zeigt, dafür aber die größte vorübergehende Antwort auf visuelle Stimuli, findet sich das Gegenteil bei der anterioren mittleren Frontalhirnregion, die somit für die Speicherung von Gesichtern im Arbeitsgedächtnis die größte Rolle spielt. Bei der inferioren Frontalhirnregion findet sich schließlich sowohl eine mittlere gedächtnisassoziierte, als auch eine mittlere perzeptive Aktivität. (Haxby et al., 2000)

1.3 Priming

Priming ist die Erleichterung, Ziel („target“)- Stimuli nach kürzlich erfolgter Exposition zu identifizieren oder Einschätzungen über sie abzugeben, ohne dass es notwendig ist, dass die Versuchspersonen die Exposition erinnern können (Tulving and Schacter, 1990). In einem typischen Priming- Experiment wird zunächst eine Liste von Worten gezeigt, auf die später eine vermeintlich zusammenhanglose Aufgabe folgt, die kein explizites Gedächtnis der Wortliste erfordert. Den Probanden werden darin die ersten drei Buchstaben eines Wortes präsentiert, das sie vervollständigen müssen. Eine Hälfte der Wortanfänge kann mit Hilfe der zuvor präsentierten Liste bearbeitet werden, die andere Hälfte nicht. Priming zeigt sich darin, dass die Probanden mehr Wortstämme vervollständigen können, die sich in der zuvor präsentierten Liste befinden, als Wortstämme, welche keinen Bezug zu dieser aufweisen. Dabei können auch sogenannte „nonwords“ benutzt werden, die nicht mit der regulären Orthographie übereinstimmen und daher nicht im Gedächtnis der Probanden vorhanden sind.

Hinweise darauf, dass Priming als Variante des impliziten Gedächtnisses scharf von den expliziten Gedächtnisstrukturen des medial-temporal/ dienzephalen Systems getrennt werden kann, liefern unter anderem Beispiele von Patienten mit Amnesien, bei denen solche Experimente, wie das obengenannte, vom Ergebnis her denen der Kontrollgruppe gleichen, das Priming demnach also bei der Gruppe der Amnesiepatienten intakt ist (Schacter, 1992). Als Amnesie wird eine schwere Störung der Gedächtnisfunktion bezeichnet, die nicht auf andere Funktionsbeeinträchtigungen, wie z.B. eine Aufmerksamkeitsstörung zurückgeführt werden kann. Hierbei sind Strukturen des limbischen Systems (u.A. der Hippocampus) geschädigt, wodurch es beispielsweise bei einer anterograden Amnesie zu einer Unfähigkeit kommt, neue Gedächtnisinhalte explizit, d.h. willentlich und bewusst, zu erwerben (Hartje and Sturm, 1997). Des weiteren scheint die altersabhängige Verminderung des Priming- Effektes geringer auszufallen als die des expliziten Gedächtnisses und des Wiedererkennens. Der Priming- Effekt ist zwischen dem dritten und achtzigsten Lebensjahr als relativ stabil zu betrachten. Im Gegensatz zum episodischen Gedächtnis, in welchem wichtige Ereignisse des persönlichen und öffentlichen Leben abgespeichert werden, ist das Priming unbeeinträchtigt von langen Zwischenintervallen, Veränderungen der Stimulusattribute (z.B. Größe) oder Manipulationen der Aufmerksamkeit (d.h. geteilte Aufmerksamkeit = „dividing attention“).(Wiggs and Martin, 1998)

Das Priming kann wiederum in zwei größere Unterbereiche unterteilt werden. Zum einen in das modalitätsunabhängige und auf das semantische Kodieren angewiesene „conceptual priming“ (z.B. Name mit dazugehörigem Gesicht oder die Gesichter zweier Eheleute wie Prince Charles und Prinzessin Diana), welches mit linksseitigen präfrontalen Kortexregionen assoziiert ist, und zum anderen in das in diesen Experimenten eine größere Rolle spielende „perceptual priming“ (z.B. Gesicht mit gleichem Gesicht), welches modalitätsspezifisch ist und nicht von semantischen oder komplexeren Kodierungsstrategien abhängt. Letzteres ist vor allem mit posterioren (extrastriatalen) Kortexarealen assoziiert. So ist zum Beispiel von Gabrielli 1995 ein Patient mit einer selektiven Schädigung extrastriataler Areale mit einem gestörten „perceptual priming“ beschrieben worden. (Schacter, 1992)

Als neuronales Korrelat des „perceptual priming“ wird die sogenannte „repetition suppression“ angesehen. „Functional magnetic resonance imaging“ (fMRI) Experimente zeigen eine Verminderung der Aktivität in den oben genannten Hirnregionen während der Durchführung von Priming- Aufgaben. Intrazelluläre Ableitungen am infero- temporalen Kortex von Primaten zeigten, dass sich nach sechs bis acht Präsentationen eines anfangs unvertrauten Stimulus ein Plateau von ungefähr 40% der Ausgangsaktivität bei ca. einem Drittel der Neurone einstellte (Li et al., 1993). Eine „Repetition suppression“ ist auch noch bei einer hohen Anzahl eingestreuter Stimuli (>150) zu beobachten und tritt auf, sobald ein Stimulus wiederholt wird, unabhängig von seiner Relevanz für das Verhalten. Dieses konnte durch ein sogenanntes ABBA-Paradigma gezeigt werden, bei welchem auch eingestreute Stimuli, die nicht von den Probanden erkannt werden müssen und daher keine Bedeutung für diese haben, eine verminderte neuronale Aktivität bei deren Wiederholung aufwiesen (Desimone et al., 1994). Darüber hinaus bleibt die „repetition suppression“ unbeeinflusst von Transformationen der Größe und Lokalisation des Stimulus, sowie passiver Fixation, Anästhesie und cholinerg Blockade [siehe in (Wiggs and Martin, 1998)]. Letzteres lässt vermuten, dass es sich hierbei um eine automatisch ablaufende intrinsische Antwort von kortikalen Neuronen handelt. Alles in allem spiegeln sich in den Charakteristika der „repetition suppression“ die charakteristischen Elemente des „perceptual priming“ wieder (d.h. lang anhaltend, stufenförmige Antwort und keine Beeinträchtigung durch Manipulationen von bestimmten Stimulusattributen und des Bewusstseinsgrades). Diese Parallelen bestärken die Annahme, dass es sich bei der „repetition suppression“ um einen ausführenden Mechanismus des „perceptual priming“ handelt. (Wiggs and Martin, 1998)

Bruce & Youngs Modell, welches die theoretische Grundlage der Gesichtsverarbeitung schuf (Bruce and Young, 1986), geht von einem seriellen, dem „bottom-up“- Mechanismus folgenden Informationstransfer aus, d.h. von früheren (niedrigeren) Arealen der Verarbeitung hin zu höheren (späteren). Auf der ersten Stufe steht dabei die perzeptuelle Verarbeitung des Gesichtes hinsichtlich seiner Struktur, auf der zweiten Stufe die Abspeicherung der visuellen Präsentation in sogenannten FRUs (= „face recognition units“) und in der dritten Stufe anschließend die Verknüpfung mit identitätsspezifischen Informationen (PINs = „person identity nodes“), semantischen Informationen (SIUs= „semantic information units“) und dem zugehörigen Namen (NIUs= „name identification units“). Dieses Modell wurde später unter anderem von Burton dahingehend abgewandelt, dass aus dem rein seriellen Aufbau von Bruce & Young ein interagierendes, miteinander vernetztes Modell entstand (Burton et al., 1990). Allerdings war davon die perzeptuelle frühe Ebene ausgenommen.

Geht man von diesem Modell aus, dann dürfte die elektrophysiologische Komponente „M170“ („N170“), welche der perzeptuellen Verarbeitung zugeordnet wird, weder durch Vertrautheit (Familiarität) beeinflusst werden, noch bei Wiederholung eines Gesichterstimulus (Priming) eine „repetition suppression“ (Amplitudendekrement) zeigen. Viel eher müssten sich diese Aspekte in der zu einem späteren Zeitpunkt liegenden „N400“ manifestieren, welche unter anderem einer Aktivierung der FRUs zugeordnet wird. Denn dort sollen sich die Informationen über spezifische Gesichter befinden, wodurch ein gezeigtes Gesicht als vertraut eingestuft werden kann.

Einige Arbeiten zeigen auch, dass die „N170“ unbeeinflusst von der Vertrautheit eines Gesichterstimulus ist, demgegenüber aber der Zeitbereich zwischen 200 und 600ms sensibel auf die Vertrautheit eines Gesichtes reagiert (Bentin and Deouell, 2000;Eimer, 2000b;Schweinberger et al., 2002a). Des weiteren konnte in einigen Arbeiten keine „repetition suppression“ auf der „N170“ gefunden werden, was in Übereinstimmung mit dem oben erwähnten Modell liegt (Eimer, 2000b;Schweinberger et al., 2002b;Schweinberger et al., 2002a). Andere Arbeiten hingegen zeigen einen „repetition“- Effekt auf der „N170“, welcher entweder in Form einer kleineren Amplitude auf die zweite Präsentation eines Gesichterstimulus hin ausfällt, „repetition suppression“ (Boetzel et al., 1995;Campanella et al., 2000;Itier and Taylor, 2004a;Jemel et al., 2003), oder in Form einer größeren Amplitude für vertraute Gesichter (Caharel et al., 2002).

Auch bisher unveröffentlichte Daten unserer Arbeitsgruppe zeigen eine „repetition suppression“, bzw. Amplitudendekrement, in diesem Zeitbereich unter Verwendung eines „delayed matching to sample tasks“ (DMS).

Die Unterschiede in der Literatur, die „N170“ betreffend, könnten methodischer Art sein und auf Unterschieden in den verwendeten Gesichterstimuli beruhen (s/w vs. farbig vs. Mooney, gleiche bzw. verschiedene Fotos für die einzelnen Präsentationen, neutraler vs. emotionaler Gesichtsausdruck), oder auf sich unterscheidenden Versuchsabläufen, den sogenannten Paradigmen (sofortige vs. verzögerte Wiederholung = „immediate vs. delayed repetition“, eine einzige vs. mehrere Wiederholung, bekannt/unbekannt oder vertraut/unvertraut Entscheidung vs. übereinstimmend/nicht-übereinstimmend Entscheidung).

Sollte sich die Annahme als zutreffend herausstellen, dass die „M170“ einer „repetition suppression“, bzw. einem Amplitudendekrement präferentiell für vertraute Gesichter unterliegt, so könnte das als Hinweis auf eine „Top-down“-Beeinflussung der „M170“-Verarbeitungsebene gelten, welche über Rückprojektionen von der Ebene stabiler Langzeitrepräsentationen (FRU's) aus geschieht. Für den Einfluss von „Top-down“- Mechanismen auf solch frühe Stadien der Gesichterverarbeitung und demnach auch visuellen Verarbeitung im Allgemeinen sprechen auch Ergebnisse von Bentin et al. (Bentin et al., 2002) und Bentin und Golland (Bentin and Golland, 2002). So riefen schematische Formen, welche zunächst keine gesichterspezifische Antwort erzeugten, nach Präsentation im Rahmen eines Gesichtes solche Antworten hervor (Bentin et al., 2002), und das gleiche konnte auch für Gesichter gezeigt werden, deren innere Komponenten entstellt und vertauscht waren, die jedoch nach Präsentation einer normalen Konfiguration eine gesichterspezifische Antwort hervorriefen (Bentin and Golland, 2002).

Für die vorliegende Arbeit wurde nun ein Versuchsaufbau verwendet, welcher einen uneingeschränkten Vergleich der zwei Gesichterklassen ‚vertraut‘ und ‚unvertraut‘ zulässt und welcher durch zahlreiche Wiederholungen der Gesichterpräsentationen über mehrere Blöcke hinweg einen guten Ansatz für eine Verlaufsbeobachtung einer möglichen „repetition suppression“, bzw. eines Amplitudendekrements, bietet. Denn der Versuch war in acht Blöcke unterteilt, von denen jeder aus 128 „Trials“ besteht, in welchen die Probanden die Aufgabe hatten, ein Gesicht, welches zu Beginn eines solchen gezeigt wurde („Sample“), anschließend

wiederzuerkennen („Match“). Die Gruppe der „Samples“ bestand zur einen Hälfte aus vertrauten Gesichtern des eigenen Schuljahrgangs und zur anderen Hälfte aus unvertrauten Gesichtern von Schülern einer anderen Schule. Die Gruppe der vertrauten Gesichter besitzt somit einerseits einen höheren Vertrautheitsgrad für die Probanden als berühmte/ bekannte Gesichter und ist für die Probanden andererseits homogener über die verschiedenen Stimuli hinweg. Bekanntheit und Vertrautheit (bzw. Familiarität) sind einerseits deckungsgleich, als sie beide die Bedeutung haben, zu beschreiben wie gut ich ein Gesicht kenne, was eine komplexe Funktion ist. Bekanntheit hat jedoch auch die Bedeutung von „wie viele Menschen kennen eine bestimmte Person“. In diesem Sinn kann jemand sehr bekannt (berühmt), sein Gesicht mir jedoch sehr unvertraut sein.

Hinsichtlich der Analyse eines Vertrautheitseffektes, d.h. eines Unterschiedes zwischen vertrauten und unvertrauten Stimuli, stellt sich hierbei zudem nicht das Problem wie in anderen Arbeiten (Schweinberger et al., 2002b), dass eine Unterscheidung zwischen bekannten und unbekanntem oder vertrauten und unvertrauten Stimuli vorgenommen werden muss, wodurch den beiden Gesichterklassen unter Umständen nicht mehr die gleiche Bedeutung bei der Verarbeitung zukommt, sondern beide Stimulusklassen im Bezug auf das Aufgabendesign gleichberechtigt neben einander stehen. Für die Betrachtung einer „repetition suppression“, bzw. eines Amplitudendekrements, und somit dem zu Grunde liegenden „Top-down“- Mechanismus, besitzt dieses Versuchsparadigma einen weiteren Vorteil, da neben einem von der bewussten Nutzung des Arbeitsgedächtnisses unabhängigen Priming über die Blöcke hinweg („Samples“) auch der Einfluss des Arbeitsgedächtnisses auf die „Top-down“- Einflüsse untersucht werden kann („Matches“).

2 Methoden

2.1 Elektrophysiologische Grundlagen

Die Zellkörper der Nervenzellen befinden sich mitsamt ihrer Dendriten im zerebralen Kortex. Sie liegen dort parallel zueinander und in senkrechter Anordnung zur Kortexoberfläche vor. Im Ruhezustand liegt eine Spannung von intrazellulär zu extrazellulär von -70mV an, die durch unterschiedliche Ionenkonzentrationen in den beiden Räumen hervorgerufen wird. Intrazellulär spielt dabei vor allem die hohe Kaliumionen- und niedrigere Natriumionenkonzentration, extrazellulär der umgekehrte Zustand eine Rolle. Bei einer Depolarisation (Aktivierung) der Nervenzelle kommt es bei Überschreitung des sogenannten Schwellenpotentials zu einer Öffnung von spannungsabhängigen Natriumkanälen, so dass Natriumionen in das Zellinnere einströmen, also vom extrazellulären Ort höherer Konzentration zum intrazellulären Ort niedrigerer Konzentration. Dadurch kommt es zu einer Potentialverschiebung zwischen intra- und extrazellulär, so dass der Intrazellulärraum nun positiv gegenüber dem Extrazellulärraum geladen ist, was als Aktionspotential bezeichnet wird. Konsekutiv kommt es nun zu einer Ausbreitung des Aktionspotentials, also der Spannungsumkehr zwischen Innen und Außen, entlang des Neurons. Durch Erreichen des positiven Membranpotentials kommt es dann zu einer Inaktivierung der Natriumkanäle und zu einer Öffnung von Kaliumkanälen, so dass Kaliumionen in den Extrazellulärraum übertreten und sich somit das Membranpotential wieder in Richtung negative Werte senkt (Repolarisation). Abschließend erfolgt ein Rücktransport von Natriumionen nach außen und Kaliumionen nach innen mittels einer Na^+/K^+ -Pumpe, so dass wieder das am Ausgangspunkt vorherrschende Ruhemembranpotential aufgebaut werden kann (Schmidt and Thews, 1997a).

Dadurch, dass nun das eine Ende des Neurons, welches depolarisiert wurde, im Gegensatz zu dem weiter distal liegenden Ende ein unterschiedliches Membranpotential aufweist, liegt auch innerhalb der Nervenzelle eine Spannung an, wodurch ein Stromfluss durch das Neuron hervorgerufen wird [siehe Bild 2.1]. Die diesem Stromfluss zugrundeliegenden Potentialdifferenzen können mittels auf der Kopfhaut befestigter Elektroden abgeleitet werden (Elektroencephalogramm = EEG). Vor allem der intrazelluläre Stromfluss spielt dabei die entscheidende Rolle, da er eine wesentlich größere Dichte aufweist als die zusätzlich

bestehenden extrazellulären Ströme oder transmembranären Ströme, welche sich gegenseitig aufheben, da sie einander gegenüber liegen (Pizella and Romani, 1990). Jeder stromdurchflossene Leiter erzeugt auch ein Magnetfeld, welches sich mittels der Rechten-Hand-Regel bestimmen lässt. Dabei zeigt der Daumen der rechten Hand in Richtung des Stromflusses und die gekrümmten Finger stellen die Ausrichtung des Magnetfeldes dar. Das Magnetfeld liegt demnach in einem Winkel von 90 Grad zum Stromleiter (hier dem Neuron). [siehe Bild 2.1]

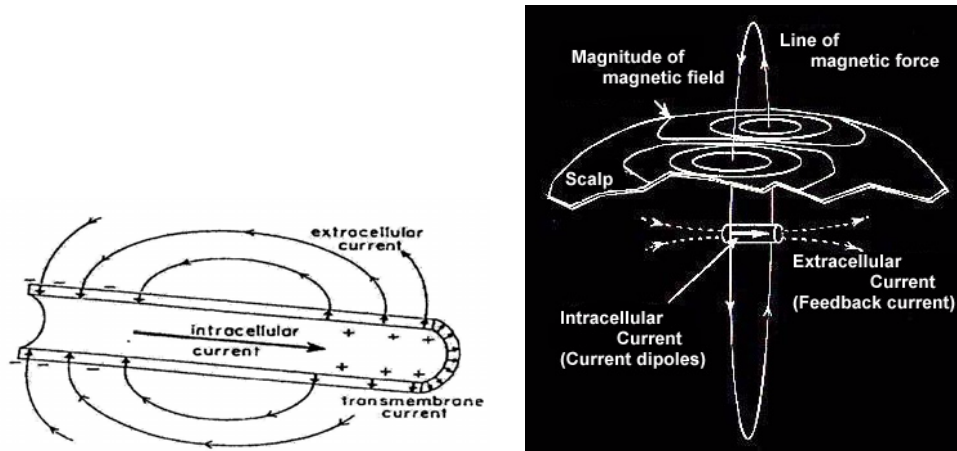


Bild 2.1: Auf der linken Seite ist ein Neuron sichtbar, in welchem ein intrazellulärer Stromfluss von links, dem Ort negativer Ladung, nach rechts, dem Ort positiver Ladung, vorliegt. Auf der extrazellulären Seite liegt ein Stromfluss in die umgekehrte Richtung vor, da an der Lokalisation, an welcher intrazellulär ein positives Potential anliegt, extrazellulär ein negatives Potential vorherrscht und umgekehrt. Auf der rechten Seite sieht man ein solches stromdurchflossenes Neuron in der Mitte des Bildes. Kreisförmig wird das Neuron von einem Magnetfeld umgeben, welches die Ebene der Kopfhaut („scalp“) überschreitet. Extrakranial können nur tangential zur Kopfhaut liegende Neurone mit ihrem Magnetfeld erfasst werden, welche sich relativ nah an der Hirnoberfläche, also im Kortex, befinden. [Abbildungen aus (Williamson and Kaufman, 1987), von „Yokogawa Electrical Corporation“]

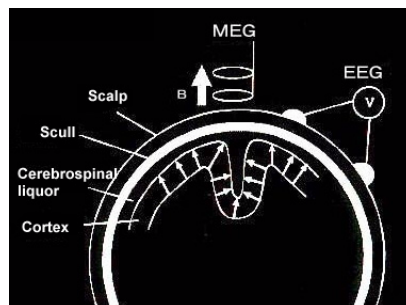


Bild 2.2: Da das Magnetfeld nur von Neuronen gemessen werden kann, die tangential zur Kopfhaut („scalp“) liegen, sind vor allem die Neurone von Bedeutung, welche innerhalb eines Sulcus liegen, d.h. solche Neurone, die in dem Kortex-Abschnitt liegen, welcher in Form einer Schleife in das Innere des Kopfes ragt. [Bild von „Yokogawa Electrical Corporation“]

Liegt nun ein Neuron tangential zur Position eines Sensors, lässt sich das Magnetfeld messen. Nervenzellen im Inneren der Sulci haben somit die günstigste Lage, da sie senkrecht zur Kortexoberfläche liegen, welche in den Sulcus gerichtet ist, und damit tangential zum Sensor [siehe Bild 2.2]. Das Magnetfeld, welches ein einzelnes Neuron erzeugen kann ist allerdings zu schwach, um ohne weiteres gemessen werden zu können. Da die Nervenzellen jedoch in paralleler Anordnung zueinander liegen und sich die Stärken der Magnetfelder addieren, können ausreichende Feldstärken von Neuronenpopulationen ab ca. 10 000 nachgewiesen werden (Williamson and Kaufman, 1987). Doch auch dann noch ist die Stärke eines zerebral evozierten Feldes um ein Einmilliardstel (10^9 Mal) schwächer als das der Erde (Hari, 1994).

2.2 Messvorrichtung

Die Messungen erfolgten daher in einer magnetisch abgeschirmten Kammer, in welcher sich ein Ganzkopf- MEG- System (Eagle Technology ET-160) befindet. In einem Helm sind bei diesem 80 SQUIDs, sogenannte „superconducting quantum interference devices“, angebracht, welche das Magnetfeld messen. Die SQUIDs sind von flüssigem Helium umspült, um ihren supraleitenden Zustand zu erhalten. Um die Verflüchtigung des Heliums so gering wie möglich zu halten, ist das Ganze von einer Vakuumisolationsschicht umgeben („Dewar“). Das neuronale Magnetfeld induziert einen Stromfluss in einer dicht über dem Kopf liegenden Spule. Der induzierte Strom erzeugt seinerseits wiederum ein Magnetfeld im SQUID, dessen Antwort letztendlich elektronisch aufgezeichnet und dargestellt wird und von der Feldstärke des Neurons direkt proportional abhängt (Williamson and Kaufman, 1987). [siehe Bild 2.3]

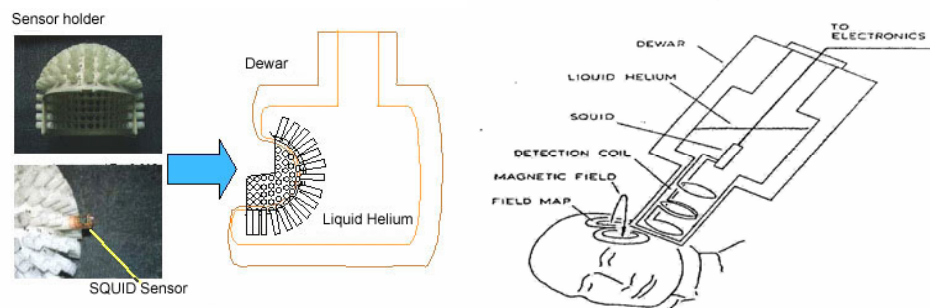


Bild 2.3: Auf der linken Seite ist zunächst der sogenannte Dewar abgebildet, bestehend aus einem von flüssigem Helium umspülten Helm, welcher die einzelnen Sensoren enthält und in welchen die Probanden ihren Kopf hineinlegen mussten. [Abbildung von „Yokogawa Electrical Corporation“] Auf der rechten Seite ist schematisch der Aufbau eines solchen Dewars dargestellt. Zu sehen ist zunächst die detektierende Spule („detection coil“), an welcher das neuronale magnetische Feld einen Strom induziert. An die Spule angeschlossen findet sich ein SQUID, welches von flüssigem Helium umspült wird. [Abbildung aus(Williamson and Kaufman, 1987)]

Die Vorteile des MEG sind vor allem eine gute räumliche Auflösung und die Selektivität bezüglich des in den Sulci liegenden Kortex, also der oberflächlichen Strukturen. Durch die Einfaltung des inferotemporalen Kortex liegen die Neurone in dieser Zielstruktur des vorliegenden Experimentes in tangentialer Ausrichtung auf die Sensoren des Messgerätes. Der große Nutzen des MEG ist darauf zurückzuführen, dass das Hirngewebe und der Schädel praktisch transparent für Magnetfelder sind. Im Gegensatz zu der Spezifität des MEG auf tangentielle, oberflächliche Neuronenpopulationen können mit dem EEG zwar zusätzlich axiale und tiefere Generatoren abgeleitet werden, allerdings wird der Stromfluss durch die umliegenden Schädelstrukturen und Flüssigkeiten stark verändert und fortgeleitet, so dass es zu Überlagerungen und Abweichungen von dem ursprünglichen Generatorpotential kommt (Hari, 1994).

Bei der Datenerhebung mittels des MEG wurde mit einer Abtastfrequenz von 500 Hz vorgegangen. Außerdem wurde ein Tiefpassfilter von 45 Hz und ein Hochpassfilter mit einer Frequenz von 0.5 Hz und 8 dB/Octave angelegt, sowie Epochen herausgenommen, die im EOG-Kanal (Elektroenzephalogramm zur Messung von Augenbewegungen) eine Antwortstärke von $>50 \mu\text{V}$ aufwiesen.

2.3 Gesichterphotos

Mittels einer Digitalkamera vom Typ Olympus „C3030 Zoom“ wurden unter künstlicher Ausleuchtung vor einem schwarzen Hintergrund Gesichter von Schülern der 12. Klassenstufe in Frontalansicht im ‚Tif‘- Format aufgenommen. Die Gesichterfotos wurden dann mittels eines besonders lichtstarken und gleichzeitig hochauflösenden Videoprojektors über ein Objektiv langer Brennweite durch eine Öffnung in der Wand der Abschirmkammer in letztere projiziert. In den Strahlengang wurden zwei Umlenkspiegel eingebracht, die das Bild auf eine Mattscheibe etwa einen Meter vor dem Gesicht der Versuchsperson projizierten. Die Spiegel waren an besonderen Aufhängungen aus unmagnetischem Aluminium befestigt. Die durch dieses Projektionsverfahren hervorgerufenen Bildverzerrungen und -drehungen wurden durch eine entsprechende Bearbeitung der Monitorbilder kompensiert. So wurden die Bilder mit Hilfe von Photoshop® gegenläufig verzerrt, sowie im Uhrzeigersinn gedreht, und wurden anschließend als ‚bmp‘- Datei gespeichert. Durch eine stufenlos verstellbare Aufhängung des zweiten Spiegels an dünnen Seilen konnte die Bildpräsentation individuell für die jeweilige Versuchsperson angepasst werden, so dass diese die projizierten Gesichter vollständig in entspannter Augenposition sehen konnten. Zu den farbigen Gesichterphotos der Schüler wurden zusätzlich noch schwarz-weiß Photos von jungen Erwachsenen aus einem anderen Bilderpool dahingehend bearbeitet, dass sie den anderen vom Hintergrund und der Größe her glichen. Unter der rechten Hand der Probanden befand sich eine „Tastatur“ mit zwei Tasten, mit denen die Antworten vorgenommen wurden (Versuchsablauf siehe unten).

2.4 Probanden

13 Schüler der zwölften Klassenstufe eines Gymnasiums nahmen als Probanden an den Experimenten teil. Schüler der höheren Klassenstufen boten sich deshalb an, da für dieses Experiment ein Teil der Gesichterphotos überlernt, d. h. vertraut sein sollte. Da sich Schüler täglich, fast das gesamte Jahr lang, über mehrere Jahre konstant sehen, kann man bei ihnen innerhalb des eigenen Semesters von solch einem Fall hoher Vertrautheit der Gesichter ausgehen. Die Probanden waren 18 bzw. 19 Jahre alt, normalsichtig und Rechtshänder. Unter ihnen nahmen fünf Frauen und acht Männer teil. Zunächst wurden ihnen nach dem 10- 20- System vier EEG- Elektroden auf die Positionen O1, O2 (okzipital) und T5, T6 (temporal)

geklebt, zwei EOG- Elektroden lateral und oberhalb des rechten Auges, sowie eine Referenzelektrode auf das Os nasale. Anschließend bekamen die Probanden eine individuelle Einarbeitungszeit, in welcher sie mit der Aufgabenstellung des Versuches vertraut werden konnten.

2.5 Versuchsablauf

Der Versuch war in acht Blöcke unterteilt. Jeder dieser Blöcke bestand wiederum aus 128 „Trials“. Die Probanden hatten die Aufgabe, während eines „Trials“ ein Gesicht, welches zu Beginn eines solchen für 500ms gezeigt wurde („Sample“), anschließend wiederzuerkennen („Match“) [siehe Bild 2.4]. Dabei konnte das „Match“ entweder direkt im Anschluss an das „Sample“ auftauchen oder es waren bis zu zwei sogenannte „Non- match“ Gesichter eingestreut („Intervening“). Für jedes „Non- match“ musste die eine, für das „Match“ die andere Taste gedrückt werden. Die Zuordnung der Tasten erfolgte balanciert. Die eine Hälfte der Versuchspersonen musste mit dem Mittelfinger (D3) der rechten Hand auf die „Matches“ und mit dem Zeigefinger (D2) auf die „Non- matches“ antworten, für die andere Hälfte der Versuchspersonen war die Zuordnung umgekehrt. Die Gesichter waren nochmals in zwei Gruppen zu je 64 Photos unterteilt. Eine Gruppe bestand aus Gesichterphotos von Schülern der gleichen Schule wie die Probanden („Sample1“/ „Match1“), waren also vertraute (überlernte), die andere Gruppe bestand aus Gesichtern von Schülern der gleichen Klassenstufe einer anderen Schule („Sample2“/ „Match2“), waren also unvertraute Gesichter, zumindest zu Beginn des Experimentes. Die „Non- match“ bestanden auch aus zwei Gruppen, je 52 schwarz- weiß Gesichterphotos („Filler“) und 72 farbige Gesichterphotos („Repeated“), somit also aus ca. 40% „Filler“ und ca. 60% „Repeated“. Dadurch war den Probanden keine Möglichkeit gegeben, eine Ratestrategie auf der Basis von farbig/ nicht- farbig anzuwenden. „Repeated“ wurden solche Gesichter genannt, die den Status eines „Non- match“ hatten und genauso wie die „Samples“ über die Blöcke hinweg wiederholt wurden. Diese „Repeated“ Gesichter setzten sich je zur Hälfte aus den beiden „Sample“ Gesichtergruppen zusammen, wobei durch die Konstruktion der Trials sichergestellt wurde, dass ein „Non- match“ Gesicht nicht einem „Sample“ Gesicht in demselben „Trial“ entsprach. Über die acht Blöcke hinweg blieb der Pool der „Sample“ bzw. „Match“ Gesichter, sowie der „Repeated“ Gesichter der gleiche, der Pool der „Filler“ Gesichter

war jedoch in jedem Block neu, so dass diese Gesichter nur jeweils ein einziges Mal im Verlaufe des gesamten Experimentes gezeigt wurden.

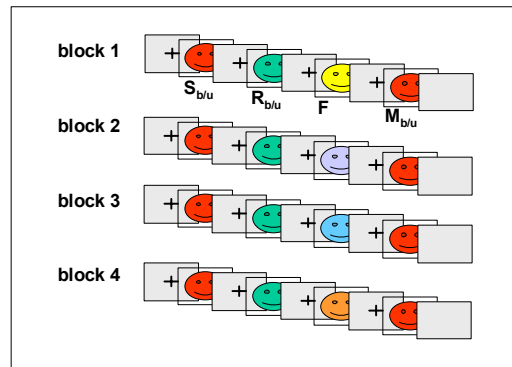


Bild 2.4: S: „Sample“ (vertraut oder unvertraut)

R: Intervenierende/„Repeated“ Gesichter (vertraut oder unvertraut); ca 60 %

F: Intervenierende/„Filler“ (schwarz-weiß) ; ca 40 %

M: „Match“ (vertraut oder unvertraut)

Anhand von vier Blöcken ist der Ablauf der Bilderpräsentationen gezeigt. Dasselbe „Sample“- und somit auch das „Match“- Gesicht (rot) wird in allen Blöcken gezeigt. Es handelt sich dabei in 50% der Fälle um ein vertrautes und in 50% der Fälle um ein unvertrautes Gesicht. Auch dasselbe intervenierende „Repeated“- Gesicht (grün), welches sich wiederum zur Hälfte aus vertrauten und zur Hälfte aus unvertrauten Gesichtern zusammensetzt, wird in allen Blöcken wiederholt gezeigt. Ein „Filler“- Gesicht wird nur ein einziges Mal während des gesamten Experimentes präsentiert.

Insgesamt gab es pro Block von den 128 „Trials“ 44, in denen das „Match“ Gesicht direkt auf das „Sample“ Gesicht folgte, 44 „Trials“, in denen es ein „Non-match“ Gesicht gab und 40 „Trials“ mit zwei „Non-match“ Gesichtern. Die „Trials“ wurden in randomisierter Reihenfolge aufgerufen. Jedes der Gesichterphotos in einem „Trial“ wurde für 500ms projiziert. Im Interstimulusintervall zwischen zwei Präsentationen wurde für jeweils 1100ms eine graue Fläche mit einem schwarzen Fixationskreuz, welches sich auf der Höhe des Nasenstegs zwischen den Augen befand, gezeigt. Im „Inter-Trial- Intervall“, d.h. im Anschluss an das „Match“ Gesicht wurde ein rein graues Bild (ohne Fixationskreuz) für 1100ms präsentiert, wodurch den Probanden das Ende eines „Trials“ angezeigt wurde. [siehe Bild 2.5]

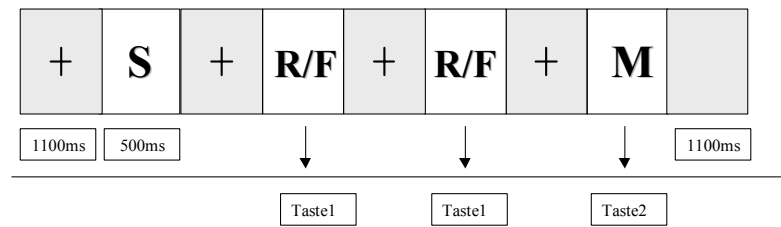


Bild 2.5: Dargestellt ist schematisch der Ablauf eines Trials. Zu Beginn wurde für 1100ms ein graues Bild mit einem Fixationskreuz auf Augenhöhe gezeigt. Anschließend folgte für 500ms das „Sample“- Gesicht. Im weiteren Verlauf wurden bis zu zwei „non- matches“ („Repeated“ oder „Filler“) für jeweils 500ms gezeigt und zum Schluss kam das „Match“, welches das gleiche Gesicht wie das „Sample“ darstellte. Zwischen den einzelnen Gesichterpräsentationen wurde für jeweils 1100ms ein graues Bild mit einem Fixationskreuz in Augenhöhe gezeigt. Auf das „Match“ folgend kam ein rein graues Bild für 1100ms, welches das Ende des Trials anzeigte. Für jedes „non- match“ musste die eine, für jedes „Match“ die andere der beiden Tasten gedrückt werden.

Die Dauer eines Blockes betrug insgesamt ca. 12 Minuten. Zwischen den Blöcken hatten die Probanden die Möglichkeit, eine kleine Pause zu bekommen, in welcher sie jedoch in dem MEG- System liegen bleiben mussten. Zu Beginn des Experimentes wurden die Schüler angewiesen, so selten wie möglich zu blinzeln, und wenn ja, nur zwischen den Präsentationen der Gesichterphotos. Sie sollten die Antwort so schnell wie möglich, aber erst nach der Präsentation des Gesichtes geben. Dies war wichtig, weil die Probanden darüber aufgeklärt wurden, dass ein „Trial“ maximal vier Gesichterpräsentationen beinhalten konnte.

2.6 Datenanalyse

Idealerweise sollte auf eine so große Gruppe von vertrauten und unvertrauten Gesichtern zurückgegriffen werden können, daß sich in einer einzigen Präsentation (d.h. einem einzelnen Block) ein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis ergibt. Denn ein wesentliches Ziel dieser Studie war, Änderungen in evozierten Potentialen von einer Präsentation zur nächsten nachzuweisen. Durch das Fotografieren eines gesamten Schuljahrgangs stehen sich zwei hohe und experimentell bisher in dieser Größe nicht realisierte Gruppen von 65 vertrauten und 65 unvertrauten Gesichtern gegenüber. Bei der Kontrastierung berühmter Gesichter mit unbekanntem gibt es zwar ähnlich große Gruppen, das hier verwendete Stimulusmaterial hat jedoch den wesentlichen Vorteil, daß die Gruppe vertrauter Gesichter einen höheren Vertrautheitsgrad für die Probanden besitzt als berühmte Gesichter und daß sie bezüglich des

Vertrautheitsgrades für den einzelnen Probanden über die verschiedenen Stimuli hinweg homogener ist. Neben der größeren Homogenität der Gruppen vertrauter und unvertrauter Stimuli kann davon ausgegangen werden, daß sich die beiden Gruppen ausschließlich bezüglich des Faktors Vertrautheit unterscheiden, daß sie aber nicht zufällig bezüglich anderer Faktoren wie z.B. der Altersverteilung kovariieren und es damit zu unbeabsichtigten Konfundierungen kommt.

Trotz der Gruppengröße von 65 war es jedoch notwendig, zwei aufeinanderfolgende Blöcke zusammenzufassen, um ein ausreichendes hohes Signal-Rausch-Verhältnis zu erhalten [siehe Bild 2.6]. Damit ergeben sich für die Datenanalyse vier aufeinanderfolgende Präsentationen.

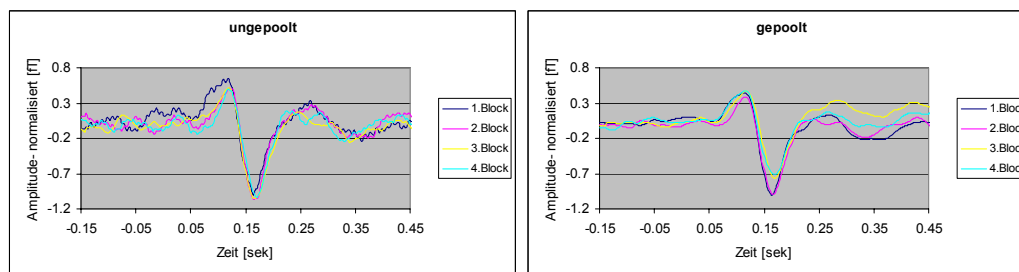


Bild 2.6: Die ungepoolten Daten zeigen Block 1-4, während die gepoolten Daten Block 1-8 zeigen, jeweils 2 aufeinanderfolgende Blöcke zusammengefasst. Durch das erhöhte n , welches durch das Poolen der Daten erreicht wird, entsteht ein wesentlich besseres Signal-Rausch-Verhältnis.

Die Kanalauswahl erfolgte daraufhin folgendermaßen: manuell wurden im okzipito-temporalen Bereich bis zu fünf nebeneinander liegende Kanäle ausgewählt, auf denen ein Amplitudenmaximum im Bereich zwischen 140 und 190ms („M170“, bzw. „N170“) zu sehen war, sowie ein weiteres Amplitudenmaximum um 100ms („M100“), welchem allerdings die geringere Bedeutung zukam. Dies geschah einzeln für beide Hemisphären. Die Lage der so ausgewählten Kanäle wurde anschließend mit der Aktivitätsverteilung auf den Feldkarten verglichen. Interindividuell schwankt die Antwortstärke der evozierten Felder beim MEG stärker als beim EEG, was damit zusammenhängt, dass sich die gemessene magnetische Feldstärke invers zur dritten Potenz des Abstandes zur Quelle verhält. Diese stärkere Schwankung erfordert eine Normierung der MEG-Daten (siehe Bild 2.7). Als Bezugspunkt wurde für den okzipito-

temporalen Bereich jeweils für die linke und rechte Hemisphäre das Maximum der Amplitude im Bereich zwischen 140 und 190ms für die bekannten „Samples“ des ersten Blockes ausgewählt.

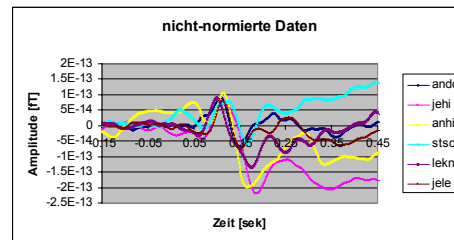


Bild 2.7: Dargestellt sind die nicht-normierten Daten einiger Probanden für die "Samples" des ersten Blockes über der rechten Hemisphäre. Zu sehen sind die starken interindividuellen Schwankungen der Amplitude der magnetischen Feldstärken, weshalb eine Normierung der Daten notwendig ist.

Wegen der deutlichen Streuung der Latenzen interindividuell von bis zu 40ms wurden zur Ermittlung des „Grand averages“ deshalb die Zeitkurven der Einzelpersonen jedes Wiederholungsblocks auf die mittlere Latenz der „M170“ zentriert. Das war deshalb möglich, weil der Faktor Wiederholung keinen Einfluß auf die Latenz, sondern ausschließlich auf die Amplitude der „M170“ hatte. Ohne Zentrierung hätte die Streuung der Latenzen zu einer Verbreiterung des „Grand average“ Gipfels („peak“) und zu einer Effektabschwächung geführt. Analog wurden für die statistische Analyse die individuellen Amplitudengipfel herangezogen. Dabei erwies sich die Berechnung des Mittelwertes über ein Intervall von ± 6 ms um den individuellen Peak als statistisch trennschärfer als der isolierte Wert für die Peakamplitude. Ersterer Mittelwert liegt daher den statistischen Analysen zugrunde.

Bei den Reaktionszeiten und Fehlern wurden zur Erhöhung der Anzahl der einzelnen Messwerte, welche in die Mittelwertbildung eingingen, jeweils zwei aufeinanderfolgende Blöcke zu einem Block zusammengefasst. Des weiteren wurden für die Analyse von Verhaltensmaßen (Reaktionszeiten, Fehler), sowie elektrophysiologischen Parametern (Amplitude der „M170“) bezüglich der „Matches“ Trials mit zwei intervenierenden Stimuli ausgeschlossen, da hier die Matches vorhersagbar waren (die Versuchspersonen waren über die maximale Triallänge informiert).

Vier der Dreizehn Probanden konnten aufgrund eines schlechten Signal- Rausch-Verhältnisses nicht berücksichtigt werden. Reaktionszeiten, Fehlerraten und „M170“-

Amplituden wurden mit multifaktoriellen Varianzanalysen (Meßwiederholungs-ANOVA; „repeated- measures- ANOVA“) und gepaarten T-Tests analysiert. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0.05$ gesetzt. Die unkorrigierten Freiheitsgrade, die korrigierten p-Werte, sowie das errechnete Huynh-Feld ϵ finden Erwähnung.

3 Ergebnisse

3.1 Verhaltenskomponente

Die Probanden mussten sich das „target“ („Sample“) explizit merken und sollten anschließend entscheiden, ob die „non- targets“ mit dem „Sample“ übereinstimmten oder nicht. Reaktionszeiten wurden daher für die „Non- matches“ („Repeated“ und „Filler“) und „Matches“ gemessen.

3.1.1 „Repeated“

Zunächst wurde untersucht, ob sich die Reaktionszeit auf die vertrauten Gesichter von der auf die unvertrauten Gesichter unterscheidet. Ein solcher Unterschied konnte nicht gefunden werden [statistische Ergebnisse in Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2]. Beide Klassen zusammengenommen zeigten jedoch eine Reaktionszeitverkürzung im Verlauf der Blöcke. Für sich allein betrachtet konnte eine signifikante Verbesserung der Reaktionszeit nur noch für die vertrauten „Repeated“-Gesichter, nicht jedoch für die unvertrauten beobachtet werden. Bei letzteren ist nur eine Tendenz in der graphischen Darstellung sichtbar [siehe Bild 3.1]. Für eine Tendenz zur Reaktionszeitabnahme bei den unvertrauten Gesichtern spricht weiterhin die Tatsache, dass die 2- faktorielle Varianzanalyse der vertrauten und unvertrauten „Repeated“ eine signifikante Veränderung der Reaktionszeit über die Blöcke hinweg ergab (signifikanter Blockeffekt).

Ein Unterschied zwischen den vertrauten und unvertrauten Gesichtern konnte somit nicht in einem direkten Vergleich gefunden werden. Er trat jedoch in Form eines spezifisch für die vertrauten Gesichter vorhandenen signifikanten Priming- Effektes auf, welcher für die unvertrauten Gesichter nur tendenziell zu sehen ist.

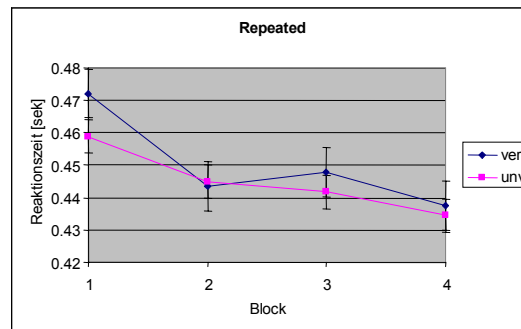


Bild 3.1: Aufgetragen ist die Reaktionszeit (RT) gegen die Blöcke. Des weiteren ist in der Graphik (wie auch in allen nachfolgenden) der Standardfehler dargestellt. Deutlich sichtbar ist der Abfall der RT für die vertrauten „Samples“ (blau) im Verlauf vom ersten zum vierten Block. Eine Tendenz zur Abnahme der RT, kann auch für die unvertrauten „Samples“ (rot) beobachtet werden. Allerdings zeigt die statistische Analyse für letztere keine signifikanten Werte.

3.1.2 „Matches“

Bei dieser Stimulusklasse unterscheiden sich die vertrauten und unvertrauten Gesichter hinsichtlich der Reaktionszeit voneinander, wobei die vertrauten „Matches“ auf einem niedrigeren Reaktionszeitniveau liegen. Eine Veränderung der Reaktionszeit über die Blöcke hinweg war weder für die vertrauten noch für die unvertrauten Gesichter signifikant. [siehe Tabelle 3.1, Tabelle 3.2 und Bild 3.2]

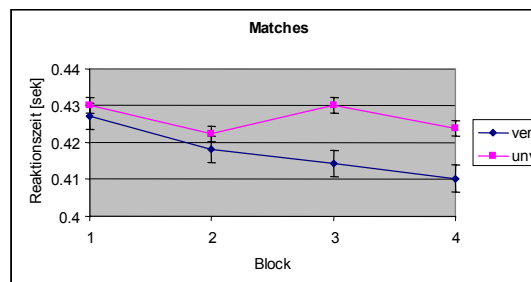


Bild 3.2: Abgebildet sind die RT im Verlauf über die Blöcke hinweg. Die RT für die vertrauten „Matches“ (blau) liegen dabei unter denen der unvertrauten „Matches“ (rot). Ein signifikanter Abfall im Verlauf der Blöcke ist weder für die vertrauten noch für die unvertrauten Gesichter festzustellen.

3.1.3 „Repeated“ vs. „Matches“

Bei den vertrauten Gesichtern konnte ein Unterschied in der Reaktionszeit für die „Repeated“ und „Match“ Gesichter festgestellt werden, wobei die „Matches“ auf einem niedrigeren Niveau liegen [siehe Tabelle 3.1]. Beide Stimulusklassen zusammengenommen zeigen auch eine Veränderung der Reaktionszeit über die Blöcke hinweg (Blockeffekt). Für die unvertrauten Gesichter hingegen konnten keine Unterschiede hinsichtlich der Stimulusklasse oder des Blockverlaufs festgestellt werden. Allerdings ist bei der Betrachtung der graphischen Mittelwertdarstellung erkennbar, dass auch bei den unvertrauten Gesichtern die „Matches“ auf einem niedrigeren Reaktionszeitniveau liegen als die „Repeated“ [siehe Bild 3.3].

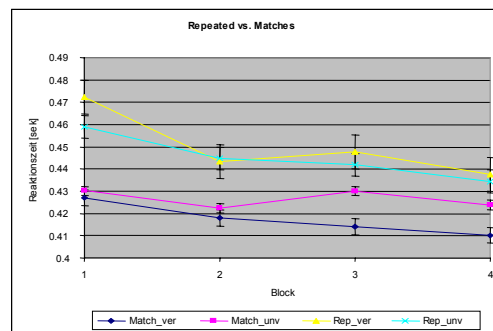


Bild 3.3: In dieser Darstellung der RT über die Blöcke hinweg ist ein niedrigeres RT-Niveau der „Matches“ (blau, rot) gegenüber den „Repeated“ (gelb, hellblau) erkennbar. Statistische Signifikanz erreicht dieser Unterschied allerdings nur bei den vertrauten Gesichtern (blau-„match“, gelb-„repeated“).

Tabelle 3.1: Werte der 2-faktoriellen Varianzanalyse für die Verhaltenskomponente (Reaktionszeit)

	vertraut vs unvertraut	vertraut/unvertraut-Block-Interaktion	Blockeffekt
Repeated	p = 0.189 F(1, 8) = 2.060, ϵ = 1.0	p = 0.523 F(3, 8) = 0.631, ϵ = 0.569	p = 0.046 F(3, 8) = 3.244, ϵ = 0.896
Matches	p = 0.004 F(1, 8) = 16.375, ϵ = 1.0	p = 0.558 F(3, 8) = 0.684, ϵ = 1.0	p = 0.658 F(3, 8) = 0.470, ϵ = 0.767
	repeated vs match	repeated/match-Block-Interaktion	
Vertraut	p = 0.029 F(1, 8) = 7.043, ϵ = 1.0	p = 0.396 F(3, 8) = 1.033, ϵ = 1.0	p = 0.008 F(3, 8) = 4.920, ϵ = 1.0
Unvertraut	p = 0.204 F(1, 8) = 1.909, ϵ = 1.0	p = 0.205 F(3, 8) = 1.671, ϵ = 0.903	p = 0.579 F(3, 8) = 0.548, ϵ = 0.628

Tabelle 3.2: Werte der 1- faktoriellen Varianzanalyse für die Verhaltenskomponente (Reaktionszeit) hinsichtlich des Verlaufs über die **Blöcke** hinweg.

	vertraut	unvertraut
Repeated	p = 0.004 F(3, 8) = 5.727, $\epsilon = 1.0$	p = 0.326 F(3, 8) = 1.204, $\epsilon = 0.701$
Matches	p = 0.370 F(3, 8) = 1.096, $\epsilon = 1.0$	p = 0.824 F(3, 8) = 0.190, $\epsilon = 0.650$
Filler		p = 0.572 F(3, 8) = 0.680, $\epsilon = 0.996$

Zusammenfassend lässt sich ein Effekt des Faktors Vertrautheit eines Gesichts bei den Reaktionszeiten nur für die Stimulusklasse der „Matches“ nicht jedoch für die „Repeated“ feststellen. Bei der Stimulusklasse „Repeated“ zeigt sich ein Effekt des Faktors Vertrautheit nur indirekt dadurch, daß Wiederholung nur bei den vertrauten nicht jedoch bei den unvertrauten „Repeated“ zu einer signifikanten Verkürzung der Reaktionszeiten führt. Die Reaktionszeiten auf die „Matches“ sind unabhängig vom Faktor Vertrautheit generell gegenüber denen auf die „Repeated“ verkürzt.

3.1.4 „Filler“

Die „Filler“ wurden als weitere intervenierende Stimulusklasse eingeführt, um Vigilanzeffekte bei den Verhaltensmaßen und den elektrophysiologischen Parametern zu kontrollieren. Da jedes Bild nur einmal gezeigt werden konnte, war eine sehr hohe Stimuluszahl erforderlich (n=416). Aufgrund des logistisch extrem hohen Aufwandes, eine so hohe Anzahl von Schülern zu fotografieren, entschieden wir uns, auf einen Pool von Schwarz-Weiß-Fotographien von Gesichtern zurückzugreifen. Die Hypothese war, daß ein Vigilanzeffekt einen Einfluß auf die RT's in Form einer Reaktionszeitverlängerung hat. Die Reaktionszeit blieb jedoch über die Blöcke hinweg konstant. [siehe Tabelle 3.2 und Bild 3.4].

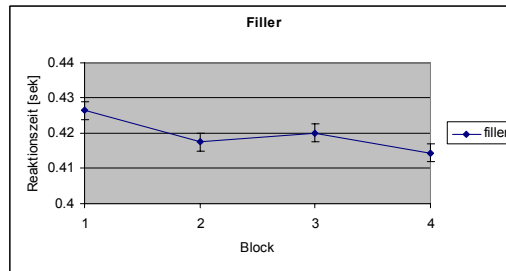


Bild 3.4: Dargestellt sind die Reaktionszeiten (RT) für die „Filler“ im Verlauf der vier Blöcke. Eine Veränderung der RT im Verlauf des Experimentes konnte nicht festgestellt werden. Die RT befinden sich um ein Niveau von 420 ms herum. Auch wenn die hier verwendete Skalierung eine Veränderung der RT suggeriert, so liegt diese nur bei einer numerischen Größe von 10 ms und ist statistisch nicht signifikant. (Im Unterschied hierzu liegt die statistisch signifikante numerische Differenz der Reaktionszeit bei den vertrauten „Repeated“ bei 30 bis 40 ms.)

3.2 Fehler

Die Fehlerraten befinden sich im Prozentrahmen zwischen vier und zehn Prozent. Bei Betrachtung der graphischen Mittelwertdarstellung [siehe Bild 3.5] ist zu erkennen, dass das Fehlerniveau, sowohl für die „Matches“ als auch für die „Repeated“, für die vertrauten Gesichter leicht unter dem der unvertrauten Gesichter liegt. Statistisch konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden [siehe Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4].

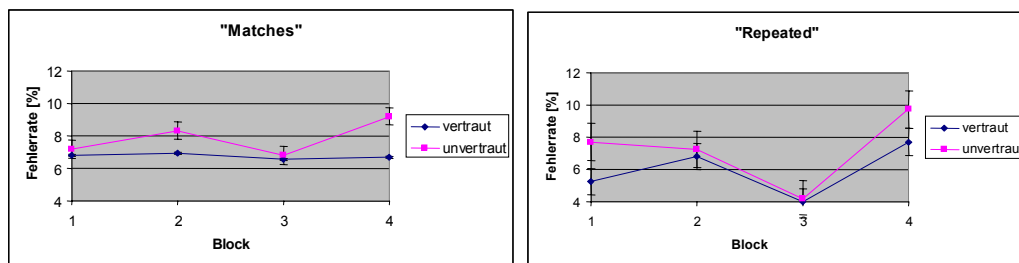


Bild 3.5: Aufgetragen sind die Fehler in Prozent über die Blöcke hinweg. Sowohl für die „Matches“ (links), als auch für die „Repeated“ (rechts) liegt die Fehlerrate für die vertrauten Gesichter (blau) unter der Fehlerrate der unvertrauten Gesichter (rot). Allerdings ergibt die statistische Analyse in allen Fällen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 3.3: Werte der 2-faktoriellen Varianzanalyse für die Fehler

	vertraut vs unvertraut	vertraut/unvertraut-Block-Interaktion	Blockeffekt
Repeated	p = 0.173 F(1, 8) = 2.241, ϵ = 1.0	p = 0.805 F(3, 8) = 0.328, ϵ = 1.0	p = 0.104 F(3, 8) = 2.288, ϵ = 1.0
Matches	p = 0.231 F(1, 8) = 1.679, ϵ = 1.0	p = 0.582 F(3, 8) = 0.664, ϵ = 1.0	p = 0.821 F(3, 8) = 0.283, ϵ = 0.918
	repeated vs match	repeated/match-Block-Interaktion	
Vertraut	p = 0.669 F(1, 8) = 0.196, ϵ = 1.0	p = 0.678 F(3, 8) = 0.512, ϵ = 1.0	p = 0.537 F(3, 8) = 0.740, ϵ = 0.989
Unvertraut	p = 0.700 F(1, 8) = 0.160, ϵ = 1.0	p = 0.597 F(3, 8) = 0.640, ϵ = 1.0	p = 0.085 F(3, 8) = 2.485, ϵ = 1.0

Tabelle 3.4: Werte der 1-faktoriellen Varianzanalyse für die Fehler hinsichtlich des Verlaufs über die **Blöcke** hinweg.

	vertraut	unvertraut
Repeated	p = 0.490 F(3, 8) = 0.832, ϵ = 1.0	p = 0.066 F(3, 8) = 2.731, ϵ = 1.0
Matches	p = 0.981 F(3, 8) = 0.023, ϵ = 0.696	p = 0.624 F(3, 8) = 0.596, ϵ = 1.0
Filler		p = 0.671 F(3, 8) = 0.522, ϵ = 1.0

3.3 MEG

Die Kanalauswahl erfolgte folgendermaßen: manuell wurden im okzipito-temporalen Bereich bis zu fünf nebeneinander liegende Kanäle ausgewählt, auf denen ein Amplitudenmaximum im Bereich zwischen 140 und 190ms („M170“, bzw. „N170“) zu sehen war, sowie ein weiteres Amplitudenmaximum um 100ms („M100“), welchem allerdings die geringere Bedeutung zukam. Dies geschah einzeln für beide Hemisphären. Denn eine „M170“ bildet sich sowohl auf der rechten als auch auf der linken Hemisphäre mit der gleichen Latenz ab. Die Lage der so ausgewählten Kanäle wurde anschließend mit der Aktivitätsverteilung auf den Feldkarten verglichen. Aus den jeweils bestimmten Kanälen wurden die räumlichen Mittelwerte sowohl für die linke als auch für die rechte Hemisphäre gebildet.

Die MEG- Daten wurden wegen der stärkeren interindividuellen Variabilität normiert. Als Bezugswert diente das Amplitudenmaximum des Mittelwertes der vertrauten „Sample“ im ersten Block (siehe Abschnitt Methoden, S.25). Die individuellen Amplitudengipfel der „M170“ wurden auf den Zeitpunkt der mittleren Latenz für alle Probanden zentriert (siehe ebenfalls Abschnitt Methoden, S.26).

3.3.1 „Samples“

Um die Annahme zu überprüfen, dass sich auf der „M170“ ein Vertrautheitseffekt, d.h. ein Unterschied zwischen vertrauten und unvertrauten Gesichtern finden lässt, wurden zunächst die vertrauten und unvertrauten „Samples“ des ersten Blockes mittels eines gepaarten T-Testes miteinander verglichen. Weder für die rechte Hemisphäre ($p=0.940$), noch für die linke Hemisphäre ($p=0.763$) konnte ein Unterschied zwischen beiden Gruppen festgestellt werden [siehe Bild 3.6].

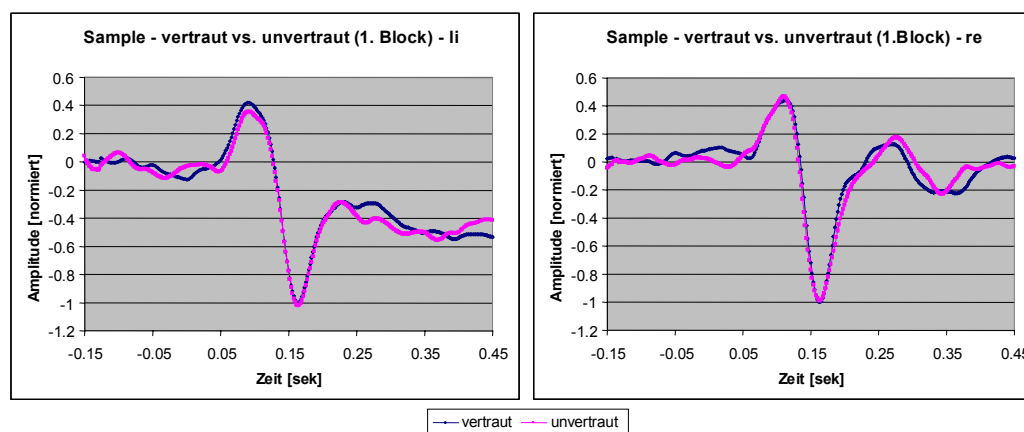


Bild 3.6: Aufgetragen gegen die Zeit sind mit ihren normierten okzipito-temporalen Amplitudenstärken die vertrauten und unvertrauten „Samples“ im Vergleich, sowohl für die linke als auch für die rechte Hemisphäre. Erkennbar ist, dass im ersten Block kein Unterschied in der Antwortstärke auf vertraute und unvertraute Gesichter vorliegt.

Nachdem die Frage betrachtet worden war, ob sich langfristige Vertrautheit auf der Ebene der „M170“ abbildet (Block 1), sollte vor allem auch ein möglicher Priming- Effekt auf der „M170“ untersucht werden, und ob die Stärke eines solchen Effektes von der Vertrautheit beeinflusst

wird. Da bisher veröffentlichte Studien eine Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Gesichtsverarbeitung nahe legen (siehe Einleitung), erfolgte eine seitengetrennte Analyse jeweils für die rechte und die linke Hemipshäre.

Auf der rechten Hemisphäre konnte ein Priming- Effekt auf der „M170“ bei der Betrachtung beider Gesichterklassen zusammen nicht gezeigt werden, sondern war nur tendenziell zu erkennen. Dieser tendenzielle Effekt könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Priming- Effekt stärker bei der einen Gesichterklasse ausgeprägt ist als bei der anderen. Daher wurde der Verlauf der „M170“ Amplitude über die Blöcke hinweg einzeln für die beiden Gesichterklassen mittels einer 1- faktoriellen Varianzanalyse untersucht. Für die vertrauten „Samples“ war ein Abfall über die vier Blöcke hinweg zu beobachten, während dies für die unvertrauten „Samples“ nicht der Fall war. [siehe Tabelle 3.5, Bild 3.7 und Bild 3.8]

*Tabelle 3.5: Werte der 1- faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitude der „M170“ der „Samples“ hinsichtlich des Verlaufs über die **Blöcke** hinweg.*

	vertraut	unvertraut
Rechts	p = 0.006 F(3, 8) = 5.296, $\epsilon = 1.0$	p = 0.392 F(3, 8) = 1.041, $\epsilon = 1.0$
Links	p = 0.561 F(3, 8) = 0.632, $\epsilon = 0.749$	p = 0.636 F(3, 8) = 0.577, $\epsilon = 1.0$

Auf der linken Hemisphäre zeigte eine 1- faktorielle Varianzanalyse für jeweils beide Gesichterklassen weder bei den vertrauten, noch bei den unvertrauten „Samples“ eine Veränderung. [siehe Tabelle 3.5].

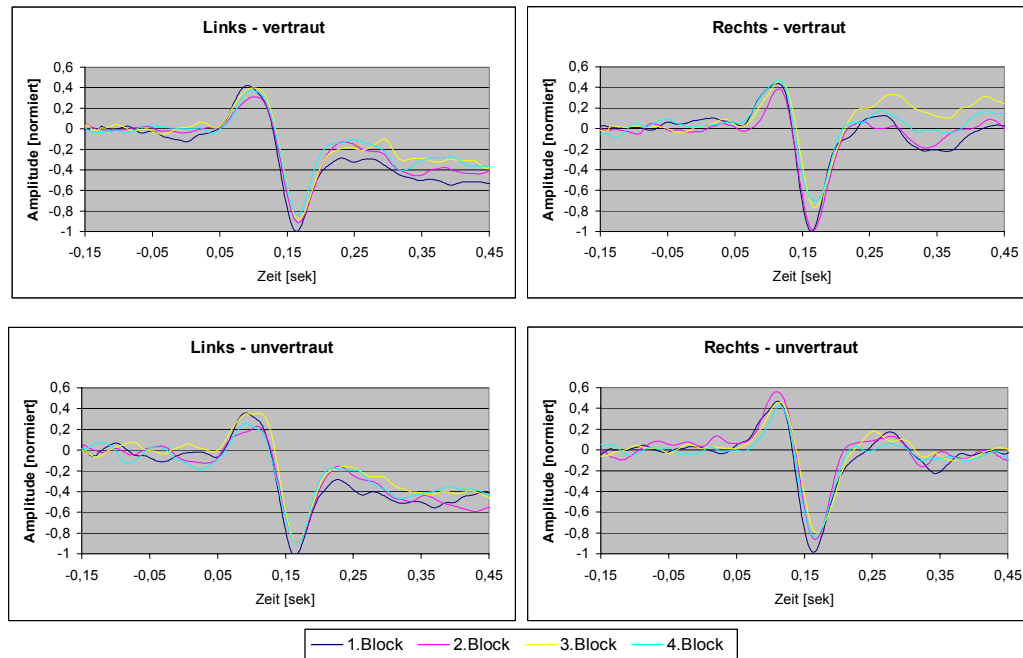


Bild 3.7: Für die „Samples“ sind sowohl für die unvertrauten als auch für die vertrauten Gesichter jeweils für die rechte und die linke Hirnhemisphäre die normierten Amplituden gegen die Zeit aufgetragen (über alle vier Blöcke hinweg). Sichtbar ist ein deutlicher Abfall der Amplitudenstärke der „M170“ (in den Graphen bei ca. 160 ms gelegen) für die vertrauten „Samples“ über die Blöcke hinweg auf der rechten Hemisphäre (rechts oben). Eine Tendenz hinsichtlich einer Amplitudenminderung ist auf der rechten Hemisphäre auch für die unvertrauten „Samples“ zu erkennen (rechts unten). Für die linke Hemisphäre lässt sich ein solcher Priming- Effekt weder für die vertrauten (links oben) noch für die unvertrauten (links unten) „Samples“ erkennen.

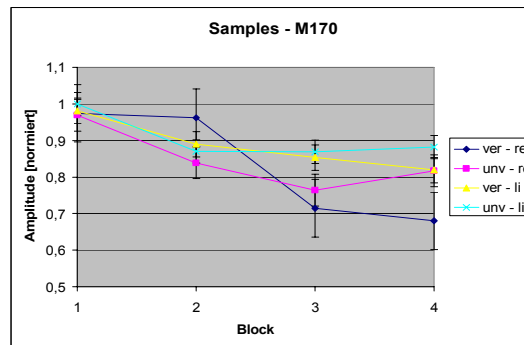


Bild 3.8: In dieser Graphik sind nur die Beträge der Amplitudenmaxima der „M170“ dargestellt, und deren Verlauf über die Blöcke hinweg, jeweils für die vertrauten und unvertrauten „Samples“ rechts- und linkshemispheral. Erkennbar ist auch hier wieder der eindeutige Abfall der Amplitude auf der rechten Hemisphäre für die vertrauten Gesichter (blau) und angedeutet für die unvertrauten (rot), während auf der linken Hemisphäre (hellblau, gelb) kein Abfall hinsichtlich der Amplitude zu beobachten ist.

Durch die Normierung auf die Amplituden der „Sample“ des ersten Blocks wird die Varianz in diesem Block null. Es ist möglich, daß es dadurch artifiziell zu einem statistisch signifikanten Effekt der Stimuluswiederholung (Faktor Block) auf die Amplitude der „M170“ gekommen ist. Deshalb erfolgte eine zweite komplementäre Analyse, bei der zunächst relative Differenzen (D_1 , D_2 , D_3) der Amplituden (A_1 , A_2 , A_3) in den Blöcken 2, 3 und 4 mit Block1 gebildet wurden ($D_1 = (A_2 - A_1) / A_1$; D_2 , D_3 analog). Eine 1- faktorielle Varianzanalyse zeigte auch hier eine Veränderung über die Blöcke hinweg nur für die vertrauten, nicht jedoch für die unvertrauten „Samples“. [siehe Tabelle 3.6 und Bild 3.9]

Tabelle 3.6: Werte der 1- faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitudendifferenzen der „M170“ der „Samples“ im Verlauf über die **Blöcke** hinweg.

vertraut	unvertraut
p = 0.022	p = 0.582
F(3, 8) = 4.866, $\varepsilon = 1.0$	F(3, 8) = 0.581, $\varepsilon = 0.725$

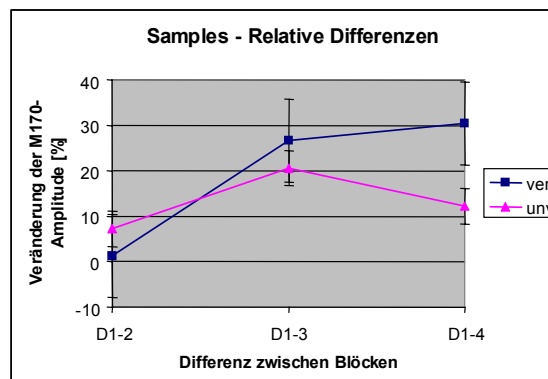


Bild 3.9: Für die vertrauten und unvertrauten „Samples“ sind jeweils die relativen Differenzen der „M170“-Amplitude für die rechte Hemisphäre aufgetragen. Für die vertrauten Gesichter (blau) nimmt der prozentuale Unterschied zum vierten Block hin zu, während dies bei den unvertrauten Gesichtern (rot) nicht zu beobachten ist.

3.3.2 „Repeated“

Bei der Betrachtung der graphischen Mittelwertdarstellung der „Repeated“ fällt auf, dass sich dort ein ähnliches Ergebnisses wie bei den „Samples“ abzeichnet [siehe Bild 3.10]. Die vertrauten Gesichter zeigen einen Abfall der „M170“- Amplitude im Verlauf über die Blöcke hinweg, während dies für die unvertrauten Gesichter nicht der Fall ist. Auch bei den „Repeated“ ist der vertrautheitsspezifische Abfall nur auf der rechten Hemisphäre zu sehen, nicht jedoch auf der linken.

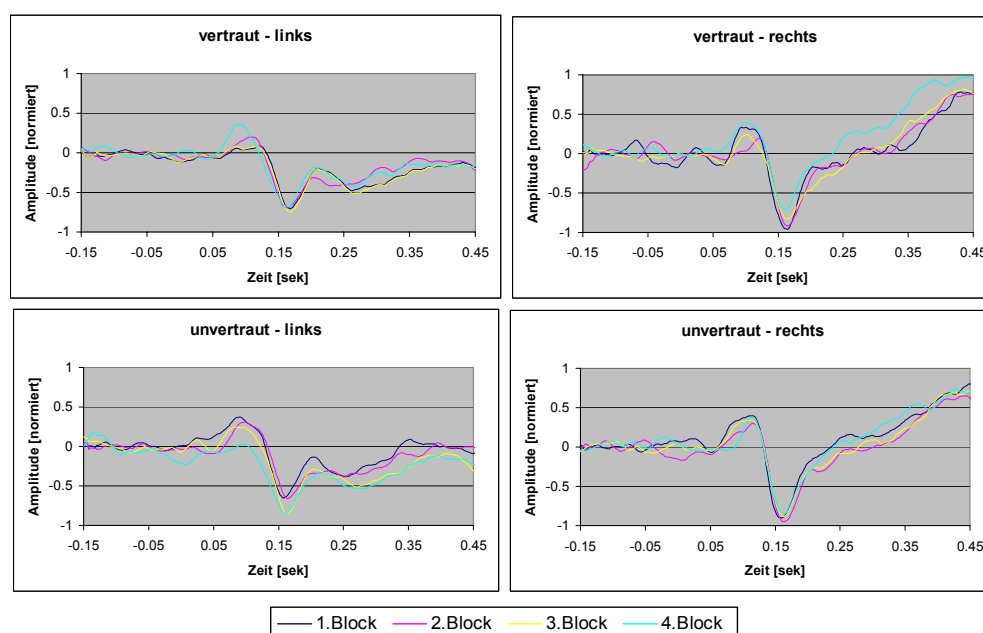


Bild 3.10: Abgebildet sind die „Repeated“ jeweils für unvertraut und vertraut auf der rechten und linken Hemisphäre im Verlauf über die vier Blöcke. Nur die vertrauten Gesichter auf der rechten Hemisphäre (rechts oben) zeigen einen Abfall der Amplitude der „M170“ über die Blöcke hinweg. Der bei der Betrachtung der Graphik anzunehmende Anstieg der unvertrauten „Repeated“ auf der linken Hemisphäre bestätigt sich in statistischen Analyse nicht.

Die statische Analyse ergab wiederum keinen Unterschied zwischen den vertrauten und unvertrauten Gesichtern [siehe Tabelle 3.7]. Im Gegensatz zu den „Sample“- Gesichtern war bei den vertrauten „Repeated“ jedoch auch der Abfall über die Blöcke hinweg nicht signifikant, was daran liegen könnte, daß das „Repeated“ Gesicht in demselben Block zuvor schon als „Sample“ und „Match“ gezeigt wurde und somit schon eine niedrigere Amplitude hatte, die nicht mehr so stark abfällt. [siehe Tabelle 3.8]. Eine Tendenz ist allerdings daher anzunehmen, als dass die

„Repeated“ zusammengenommen mit den „Samples“ einen klaren Blockeffekt aufweisen [siehe Tabelle 3.13 in „Samples“ vs. „Repeated“]. Interessant ist auch die niedrigere Amplitude für die „Repeated“ auf der linken Hemisphäre im Vergleich zur rechten.

Tabelle 3.7: Werte der 2-faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitude der „M170“ der „Repeated“

	vertraut vs unvertraut	vertraut/unvertraut-Block-Interaktion	Blockeffekt
Repeated	p = 0.575 F(1, 8) = 0.342, ϵ = 1.0	p = 0.702 F(3, 8) = 0.401, ϵ = 0.764	p = 0.422 F(3, 8) = 0.956, ϵ = 0.876

Tabelle 3.8: Werte der 1-faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitude der „M170“ der „Repeated“ hinsichtlich des Verlaufs über die **Blöcke** hinweg.

	vertraut	unvertraut
Rechts	p = 0.268 F(3, 8) = 1.398, ϵ = 1.0	p = 0.918 F(3, 8) = 0.167, ϵ = 1.0
Links	p = 0.951 F(3, 8) = 0.069, ϵ = 0.762	p = 0.166 F(3, 8) = 1.844, ϵ = 1.0

3.3.3 „Matches“

Bei dieser Stimulusklasse liegt ein Unterschied in der Amplitude der „M170“ zwischen den vertrauten und unvertrauten Gesichtern vor, wobei die vertrauten „Matches“ auf einem niedrigeren Niveau liegen als die unvertrauten [siehe Bild 3.11 und Tabelle 3.9]. Um eine mögliche Entwicklung der Antwortstärken der „M170“- Amplitude über die Blöcke hinweg zu erkennen, wurde wiederum eine 1-faktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Diese zeigte, dass weder die vertrauten, noch die unvertrauten „Matches“ abfallen [siehe Tabelle 3.10]. Allerdings lässt sich mittels eines gepaarten T-Tests bei den unvertrauten Gesichtern ein Unterschied zwischen dem ersten und dem vierten Block feststellen ($p=0.027$), was auch schon in der Graphik zu erkennen ist [siehe Bild 3.11]. Durch das niedrigere Antwortniveau für die unvertrauten „Matches“ im vierten Block zeigt der gepaarte T-Test zur Unterscheidung von vertrauten und unvertrauten „Matches“, welcher für den ersten Block signifikant ausfällt ($p=0.034$), im vierten Block keinen Unterschied zwischen den beiden Gesichterklassen ($p=0.115$). Der Unterschied zwischen vertrauten und unvertrauten „Matches“ ist nur auf der rechten Hemisphäre zu beobachten und tritt nicht auf der linken Hemisphäre auf (siehe Tabelle 3.9, Tabelle 3.10 und Bild 3.11).

Tabelle 3.9: Werte der 2-faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitude der „M170“ der „Matches“

	vertraut vs unvertraut	vertraut/unvertraut-Block-Interaktion	Blockeffekt
rechts	p = 0.026 F(1, 8) = 7.399, $\epsilon = 1.0$	p = 0.069 F(3, 8) = 2.690, $\epsilon = 1.0$	p = 0.308 F(3, 8) = 1.271, $\epsilon = 0.726$
links	p = 0.742 F(1, 8) = 0.116, $\epsilon = 1.0$	p = 0.584 F(3, 8) = 0.656, $\epsilon = 0.976$	p = 0.353 F(3, 8) = 1.141, $\epsilon = 1.0$

Tabelle 3.10: Werte der 1-faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitude der „M170“ der „Matches“ hinsichtlich des Verlaufs über die **Blöcke** hinweg.

	vertraut	unvertraut
Rechts	p = 0.378 F(3, 8) = 1.072, $\epsilon = 0.944$	p = 0.105 F(3, 8) = 2.583, $\epsilon = 0.681$
Links	p = 0.474 F(3, 8) = 0.863, $\epsilon = 1.0$	p = 0.348 F(3, 8) = 1.152, $\epsilon = 1.0$

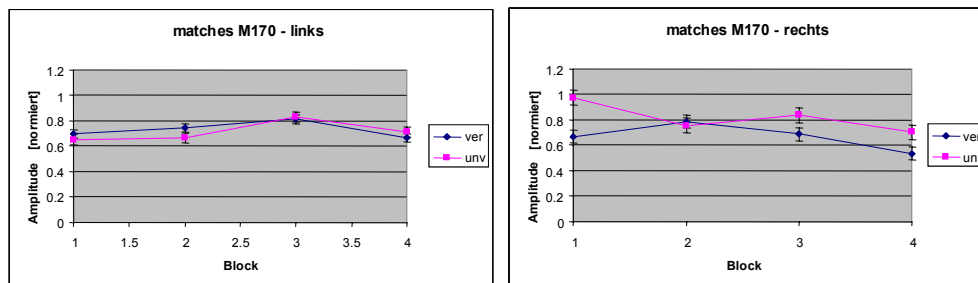


Bild 3.11: Dargestellt sind im Vergleich die Maximalamplituden (mit Standardfehler) der „M170“ der vertrauten (blau) und unvertrauten (rot) „Matches“ für die rechte und linke Hemisphäre. Auf der rechten Hemisphäre lässt sich ein Unterschied zwischen vertrauten und unvertrauten Stimuli erkennen, mit einem niedrigeren Amplitudenmaximum für die vertrauten „Matches“.

3.3.4 „Filler“

Diese Stimulusklasse diente der Vigilanzkontrolle, d.h. ein Aufmerksamkeitsabfall im Verlaufe des Experimentes sollte durch sie detektiert werden. Jedes der Gesichter wurde nur einmal während des gesamten Experimentes gezeigt. Sowohl für die rechte, als auch für die linke Hemisphäre veränderten sich die Amplituden der „M170“ nicht über die Blöcke hinweg. [siehe Bild 3.12 und Tabelle 3.11]

Tabelle 3.11: Werte der 1-faktoriellen Varianzanalyse für die Amplitude der „M170“ der „Filler“ hinsichtlich des Verlaufs über die **Blöcke** hinweg.

	links	rechts
Filler	p = 0.738 F(3, 8) = 0.423, ε = 1.0	p = 0.332 F(3, 8) = 1.198, ε = 1.0

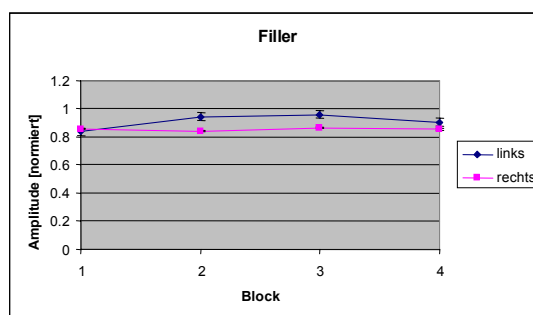


Bild 3.12: Dargestellt sind im Vergleich die Amplitudenmaxima (mit Standardfehler) der „Filler“ über die Blöcke hinweg, sowohl für die rechte (rot) als auch die linke (blau) Hemisphäre. Es ist keine Veränderung der Amplitude über die Blöcke hinweg sichtbar.

3.3.5 “Samples” vs. “Matches”

Legt man nun zu Grunde, dass die vertrauten „Samples“ auf der rechten Hemisphäre in ihrer Amplitude über die Blöcke hinweg signifikant abfallen und die vertrauten „Matches“ auf gleichem Niveau bleiben, sich somit also die vertrauten „Samples“ dem Niveau der vertrauten „Matches“ annähern, dann müsste im ersten Block noch eine „Sample- Match“- Differenz in der Amplitude der „M170“ sichtbar sein, die anschließend im vierten Block verschwindet, was durch gepaarte T-Test statistisch gesichert werden konnte ($p=0.04$ im Ggs. zu $p=0.341$). Für die unvertrauten Gesichter findet sich weder im ersten noch im letzten Block ein „Sample- Match“-Effekt ($p=0.96$ und $p=0.43$). [siehe Bild 3.13 und Bild 3.14]

Eine 3-faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Block (1/4), Klasse („Sample“/„Match“) und Vertrautheit (Vertraut/Unvertraut) zeigte einen Blockeffekt und einen Vertrautheitseffekt, sowie eine Vertrautheits-Klasseninteraktion. Dies legt wiederum ein unterschiedliches Verhalten der beiden Vertrautheitsgruppen (Vertraut und Unvertraut) nahe. Eine dreifach Interaktion zwischen den oben genannten Faktoren verfehlte jedoch knapp das Signifikanzniveau. [siehe Tabelle 3.12].

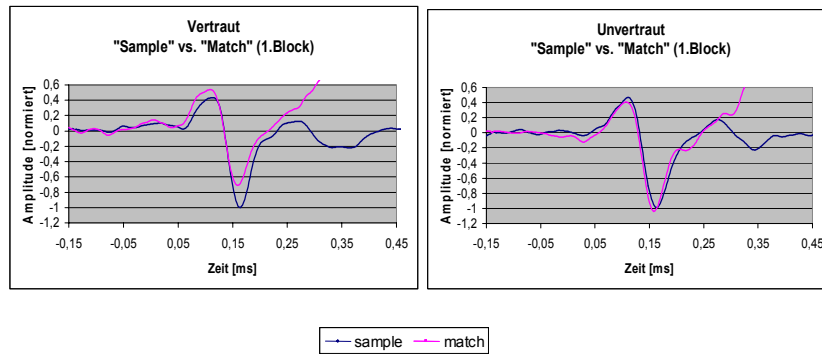


Bild 3.13: Abgebildet sind die „Samples“ (blau) im Vergleich mit den „Matches“ (rot) jeweils für die vertrauten Gesichter (links) als auch die unvertrauten (rechts). Auffallend ist der deutliche „Sample“-„Match“-Unterschied welcher zwar bei den vertrauten Stimuli zu sehen ist, nicht jedoch aber bei den unvertrauten.

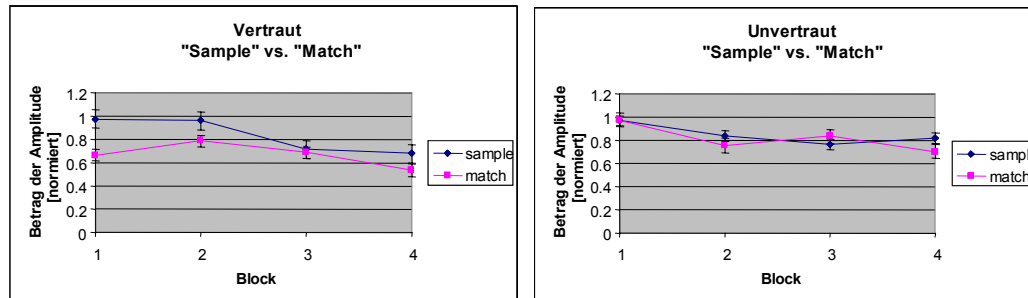


Bild 3.14: Aufgetragen sind die Beträge der Maximalamplitudenwerte der „M170“ der „Samples“ im Vergleich zu den „Matches“, sowohl für die vertrauten Gesichter (linke Seite) als auch für die unvertrauten Gesichter (rechte Seite). Für die vertrauten Gesichter (links) ist ein Unterschied in der Amplitudenhöhe zwischen den „Sample“ (blau) und den „Matches“ (rot) im ersten Block sichtbar, welcher zum vierten Block hin verschwindet. Die „Samples“ (blau) und „Matches“ (rot) der unvertrauten Gesichter (rechts) hingegen liegen auf dem gleichen Amplitudenniveau.

Tabelle 3.12: Werte der 3- faktoriellen Varianzanalyse für den Amplitudenunterschied der „M170“ mit den Faktoren Block (1/4), Klasse (Sample/Match) und Vertrautheit (Vertraut/Unvertraut).

Block	Klasse	Vert	Block* Klasse	Block* Vert	Klasse* Vert	Block* Klasse* Vert
p = 0.027 F(1,8)=7.261 $\epsilon = 1.0$	p = 0.301 F(1,8)=1.221 $\epsilon = 1.0$	p = 0.034 F(1,8)=6.512 $\epsilon = 1.0$	p = 0.809 F(3,8)=0.662 $\epsilon = 1.0$	p = 0.962 F(3,8)=0.002 $\epsilon = 1.0$	p = 0.044 F(3,8)=5.675 $\epsilon = 1.0$	p = 0.058 F(7,8)=4.894 $\epsilon = 1.0$

3.3.6 "Samples" vs. "Repeated"

Die Stimulusklassen der „Samples“ und „Repeated“ speisen sich aus dem gleichen Gesichterpool, haben jedoch innerhalb eines „Tasks“ unterschiedliche Bedeutungen. Eine 2-faktorielle Varianzanalyse [siehe Tabelle 3.13] zeigte für die Gesamtheit aus vertrauten „Samples“ und „Repeated“ einen signifikanten Blockeffekt, d.h. einen Abfall der „M170“-Amplitude über die Blöcke hinweg. Im Vergleich dieser beiden Stimulusklassen miteinander konnte allerdings kein Unterschied festgestellt werden. Auch bei den unvertrauten Gesichtern trat kein Unterschied zwischen den „Samples“ und „Repeated“ auf, allerdings konnte auch keine Veränderung der Amplitude über die Blöcke hinweg beobachtet werden. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich die Stimulusklassen der „Repeated“ und der „Samples“ in der elektrophysiologischen Komponente der „M170“ einander ähneln. [siehe Bild 3.15]

Tabelle 3.13: Werte der 2-faktoriellen Varianzanalyse für den Amplitudenunterschied der „M170“ zwischen den „Samples“ und „Repeated“.

	sample vs repeated	s/r -Block-Interaktion	Blockeffekt
Vertraut	p = 0.992 F(1, 8) = 3.488, ϵ = 1.0	p = 0.542 F(3, 8) = 0.704, ϵ = 0.871	p = 0.031 F(3, 8) = 3.488, ϵ = 1.0
Unvertraut	p = 0.810 F(1, 8) = 0.061, ϵ = 1.0	p = 0.686 F(3, 8) = 0.460, ϵ = 0.860	p = 0.665 F(3, 8) = 0.532, ϵ = 1.0

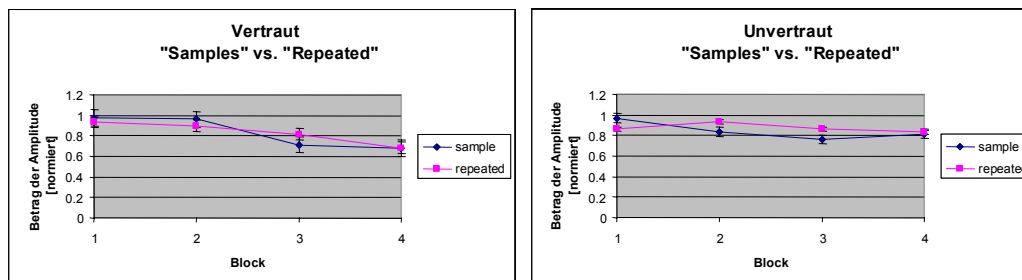


Bild 3.15: Dargestellt sind die Beträge der maximalen Amplitudenwerte der „M170“ über die Blöcke hinweg, jeweils für die vertrauten (links) und unvertrauten (rechts) „Samples“ und „Repeated“ im Vergleich. Weder bei den vertrauten noch bei den unvertrauten Gesichtern tritt ein Unterschied zwischen den Stimulusklassen der „Samples“ und der „Repeated“ auf. Die beiden Stimulusklassen scheinen sich demnach ähnlich zu verhalten. Betrachtet man die vertrauten und unvertrauten Gesichter im Vergleich, fällt ein deutliche Abfall der Amplitude über die Blöcke hinweg für die vertrauten Gesichter auf, welcher bei den unvertrauten Gesichtern nur in schwächerer Form zu sehen ist.

3.3.7 “Repeated” vs. “Matches”

Die Stimulusklassen der „Repeated“ und der „Matches“ speisen sich aus dem gleichen Gesichterpool, haben jedoch eine andere Bedeutung innerhalb eines „Trials“. Eine 2- faktorielle Varianzanalyse für die elektrophysiologische Komponente der „M170“ zeigte für die vertrauten Gesichter auf der rechten Hemisphäre einen Unterschied zwischen den „Repeated“ und den „Matches“ , wobei sich die „Matches“ auf einem niedrigeren Niveau befinden. Für die unvertrauten Gesichter konnte solch ein Unterschied nicht festgestellt werden. [siehe Tabelle 3.14 und Bild 3.16]

Tabelle 3.14: Werte der 2- faktoriellen Varianzanalyse für den Amplitudenunterschied der „M170“ zwischen den „Repeated“ und „Matches“.

	repeated vs match	r/m -Block-Interaktion	Blockeffekt
Vertraut	p = 0.032 F(1, 8) = 6.708, ϵ = 1.0	p = 0.462 F(3, 8) = 0.849, ϵ = 0.801	p = 0.300 F(3, 8) = 1.297, ϵ = 0.870
Unvertraut	p = 0.625 F(1, 8) = 0.259, ϵ = 1.0	p = 0.533 F(3, 8) = 0.707, ϵ = 0.822	p = 0.287 F(3, 8) = 1.345, ϵ = 0.831

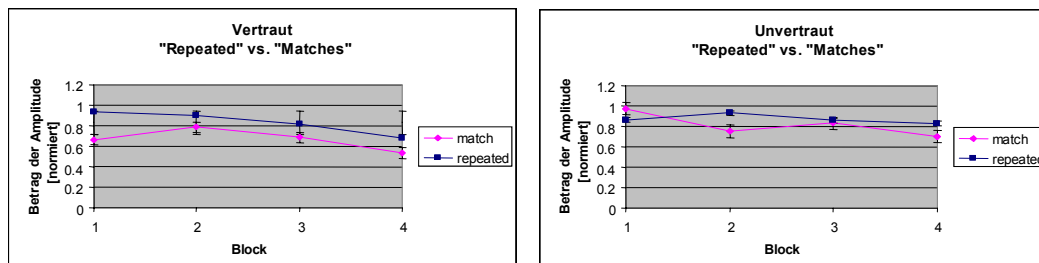


Bild 3.16: Die Beträge der Maximalamplitudenwerte für die „M170“ sind für die rechte Hemisphäre jeweils für die vertrauten (links) und unvertrauten (rechts) „Repeated“ und „Matches“ über die Blöcke hinweg dargestellt. Bei den vertrauten Gesichtern ist ein Unterschied zwischen der Amplitude der „Repeated“ (blau) und der Amplitude der „Matches“ (rot) zu sehen, wobei die „Matches“ auf einem niedrigeren Niveau liegen. Bei den unvertrauten Gesichtern ist solch ein Unterschied nicht zu finden.

4 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluss von Priming, welchem auf elektrophysiologischer Ebene ein Abfall der Amplitudenstärke auf wiederholte Präsentationen hin zugeordnet wird (Amplitudendekrement, „repetition suppression“), sowie den Einfluss von Vertrautheit (Familiarität) auf die Amplitude der „M170“ zu untersuchen. Die Besonderheit des vorliegenden Studiendesigns liegt darin, dass sowohl Wiederholungen innerhalb eines Trials („intra-trial“), als auch über Trialgrenzen hinweg („inter-trial“) untersucht werden können, und gleichzeitig der Frage nachgegangen werden kann, ob sich Vertrautheit auf der frühen Verarbeitungsebene der „M170“ abbildet. Denn das Stimulusmaterial ist durch die Verwendung von gleichaltrigen Schülern sehr homogen und unterscheidet sich ausschliesslich bezüglich des Vertrautheitsgrades, welcher durch die Überlerntheit der vertrauten Gesichter durch tägliche Konfrontation im Gegensatz zu den völlig unvertrauten Gesichtern sehr ausgeprägt ist.

4.1 Die „M170“

Wie allgemein akzeptiert wird, konnte auch in diesem Experiment gezeigt werden, dass sich in Antwort auf Gesichterstimuli sowohl auf der linken als auch auf der rechten Hemisphäre ein zumeist negatives Potential um 164 ms abhebt, welches in der Literatur als „M170“ („N170“) bezeichnet wird (Halgren et al., 2000; Hoshiyama et al., 2003; Lu et al., 1991; Sams et al., 1997; Swithenby et al., 1998; Watanabe et al., 1999b). Dieses Potential wird als gesichterspezifisch angesehen, denn im Vergleich von Gesichtern zu unbelebten Objekten, wie zum Beispiel Häusern, oder auch im Vergleich zu anderen Teilen des menschlichen Körpers findet sich zu diesem Zeitpunkt ein Amplitudenunterschied. Auch tritt dieses Potential generalisierend für Gesichter verschiedener Spezies auf. (Carmel and Bentin, 2002); (Eimer, 2000b) Weder die Farbe (s/w, mehrfarbig), noch die Größe beeinflussen die „N170“ (McCarthy et al., 1999), und auch das Geschlecht des Gesichtes hat keinen Effekt auf die Amplitude und Latenz dieser elektrophysiologischen Komponente (Mouchetant-Rostaing et al., 2000). (Liu et al., 2000); (Schweinberger et al., 2002b)

4.2 Bildet sich Vertrautheit auf der M170 ab?

Beim Vergleich zwischen den vertrauten und unvertrauten „Samples“ des ersten Blockes ist kein Amplitudenunterschied in der „M170“ zu finden. Ein direkter Vertrautheitseffekt auf der „M170“ tritt daher nicht auf, wie es auch schon in anderen Arbeiten beschrieben wurde (Eimer, 2000b;Jemel et al., 2003;Rossion et al., 1999). Die Mehrheit der Studien geht jedoch von einer Beeinflussung der Vertrautheit (Familiaritätseffekt) auf elektrophysiologischer Ebene erst zu einem späteren Zeitpunkt zwischen 200 und 600 ms nach Präsentation des Stimulus aus. (Eimer, 2000b;Schweinberger et al., 2002a) Auch die vorliegenden Daten lassen einen Vertrautheitseffekt in diesem späten Zeitbereich (um 400ms) vermuten.

Einige ERP- Arbeiten („event related potentials“) zeigten allerdings, dass die „N170“ in gewisser Weise doch von der Vertrautheit eines Gesichterstimulus beeinflusst werden kann (Barrett et al., 1988;Caharel et al., 2002;Jemel et al., 2003). Barrett und Jemel fanden heraus, dass ein „match/ non-match“- Effekt nur für familiäre Gesichter um 160ms nach Stimuluspräsentation auftritt, wie auch in dem vorliegenden Experiment gezeigt werden konnte, und Caharel beobachtete eine größere „N170“- Amplitude für vertraute im Gegensatz zu unvertrauten Gesichtern, die auf die rechte okzipito- temporale Region beschränkt war. Die besondere Aussagekraft der vorliegenden Studie bezüglich dieser Fragestellung liegt jedoch darin, dass sehr homogene Stimulusklassen verwendet wurden, welche sich ausschliesslich im Faktor Vertrautheit unterscheiden (siehe oben).

4.3 Amplitudendekrement der M170

Interessanterweise tritt für die „M170“ ein Amplitudendekrement über die Blöcke hinweg auf („inter-trial priming“). Dieses ist nur für die vertrauten Gesichter auf signifikantem Niveau zu beobachten, nicht jedoch für die unvertrauten. Auch bei der Betrachtung des „intra-trial“ Priming, d.h. der Betrachtung des Amplitudenunterschiedes zwischen „Sample“ und „Match“, konnte ein Amplitudendekrement im ersten Block nur für die vertrauten Gesichter beobachtet werden. Demnach scheint Vertrautheit einen Einfluß auf den Priming Effekt der „M170“ zu haben.

Die Veränderung der „M170“ in der vorliegenden Arbeit sind dabei nicht Folge von Vigilanzschwankungen. Denn dann müssten auch die unvertrauten Gesichter, welche genauso

häufig und auch in der gleichen Art wiederholt wurden wie die vertrauten Gesichter, eine Veränderung der Amplitude über die Blöcke hinweg zeigen. Zur Kontrolle einer abfallenden Vigilanz als trivialer Ursache für das Amplitudendekrement der „M170“ über die Blöcke hinweg wurden zusätzlich Schwarz-weiss-Bilder gezeigt, und zwar im Gegensatz zu allen anderen Stimuli nur einmal pro Block. Die Amplitude der „M170“ auf diese Stimuli blieb über die Blöcke hinweg konstant.

In dem vorliegenden Fall von Priming handelt es sich um das sogenannte „perceptual priming“, welches bei der Wiederholung von Stimuli zu beobachten ist, wenn die perzeptuellen Prozesse und Anforderungen die gleichen sind. Diesem „perceptual priming“ wird in fMRT Experimenten eine Aktivitätsreduzierung in den posterioren kortikalen Regionen, d.h. den extrastriatalen Arealen zugeordnet. (Schacter and Buckner, 1998; Sugiura et al., 2001) Aufgrund seiner größeren Zeitauflösung spiegelt das fMRT jedoch die Aktivität mehrerer aufeinanderfolgender Arbeitsschritte wieder und kann daher nicht mit elektrophysiologischen Ergebnissen gleichgesetzt werden. Dass beim „perceptual priming“ auch die Amplitude der „N170“ reduziert werden kann, zeigen Arbeiten von Campanella, Itier und Jemel (Campanella et al., 2000; Itier and Taylor, 2004a; Jemel et al., 2003). Letztere fand dabei auch eine nur auf familiäre Gesichter beschränkte „repetition suppression“. Allerdings kann ein Priming- Effekt auf der „N170“ auch auf unvertraute Gesichterstimuli hin auftreten, wie unter anderem eine Arbeit von Itier zeigt (Itier and Taylor, 2002). Für einen stärkeren Priming- Effekt von vertrauten Stimuli gegenüber unvertrauten sprechen jedoch die Ergebnisse von Untersuchungen, vertraute und unvertraute Namen betreffend, in denen dieser Effekt nur für die vertrauten (familiären) Namen auftrat, wenngleich auch ein späterer Zeitbereich um 400 bis 800ms untersucht wurde (Sommer et al., 1997).

Zwei Theorien über die Ursachen eines solchen Priming- Effektes werden dabei derzeit diskutiert. Zum einen wird angenommen, dass es sich um eine Veränderung des Aktivitätsniveaus der einzelnen Repräsentationen handelt, zum anderen, dass es sich um eine Veränderung der Verbindungen von perzeptuellen zu post- perzeptuellen Repräsentationen, zum Beispiel den sogenannten FRUs („face recognition units“) von Bruce & Young (Bruce and Young, 1986), handelt. Momentan wird eher letztere Erklärung favorisiert. [siehe in (Schweinberger et al., 2002a)].

Der herausstechende Effekt von Vertrautheit auf sowohl das „inter-trial“, als auch „intra-trial“ Amplitudendekrement der „M170“ in der vorliegenden Arbeit legt in der Tat die Folgerung nahe, dass es sich dabei um Rückprojektionen von stabilen Gedächtnisrepräsentationen („face recognition units“, FRUs) auf die „M170“ handelt. Denn der Unterschied zwischen den beiden Gesichterklassen ist derjenige, dass die vertrauten Gesichter schon bestehende Gedächtnisrepräsentationen (FRUs) besitzen, unvertraute Gesichter jedoch noch nicht, und letztere daher auf der „M170“-Komponente auch keinen „top-down“- (bzw. „feed-back“-) Einflüssen unterliegen können. Vertrautheit wirkt sich demnach anscheinend indirekt über „feed-back“-Mechanismen auf die Ebene der „M170“ aus. Die FRUs betreffend beschreibt Jemel in einer Arbeit eine größere „N400“ für familiäre Gesichter, einem Zeitpunkt, zu welchem die Aktivierung der FRUs vermutet wird (Jemel et al., 2003).

Die Eingebundenheit von „top-down“-Mechanismen in die visuelle Verarbeitung ist schon seit längerem bekannt und in den frühen Arealen dieser anhand von Makakengehirnen untersucht worden. So gibt es in den visuellen Kortexen zahlreiche „feed-forward“ Verbindungen, welche Informationen von niedrigeren Stufen auf höhere Stufen der Verarbeitung weiterleiten, und sogar noch zahlreichere „feed-back“ Verbindungen, welche die Informationen in umgekehrter Reihenfolge leiten, wodurch der Informationsfluss in den früheren (niedrigeren) Verarbeitungsebenen modifiziert und zum Beispiel sensibilisiert wird (Hupe et al., 1998). Einzelzelleableitungen haben des Weiteren gezeigt, dass Neurone des infero-temporalen Kortex hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Verhalten über „top-down“ („feed-back“) Verbindungen zwischen dem Frontal- und dem Temporallappen beeinflusst werden können (Chelazzi et al., 1998; Desimone, 1996). Als Folge einer Inaktivierung des „top-down“-Einflusses verschwindet auch der „repetition“-Effekt im infero-temporalen Kortex (Chelazzi et al., 1998).

Auch bildgebende Verfahren geben Hinweise darauf, dass die extrastriatalen Areale (FFA = „fusiform face area“) durch den präfrontalen Kortex, vermutlich über „feed-back“ Mechanismen, beeinflusst werden können. Denn mit steigender Anforderung in einer Gedächtnisaufgabe kommt es zu einer korrespondierenden Aktivitätssteigerung sowohl im präfrontalen Kortex als auch im Gyrus Fusiformis (Druzgal and D'Esposito, 2001).

Dass bei der Gesichterverarbeitung die frühe Komponente der „M170“ „top-down“-Einflüssen unterliegt, unterstreicht neben den in diesem Experiment erhaltenen Ergebnissen auch die Tatsache, dass ein Priming-Effekt auf der „M170“ bzw. „N170“ nicht nur innerhalb einer

Modalität („within-domain“ Priming), d.h. bei reiner Verwendung von Gesichtern, auftritt, sondern auch bei Verwendung von Namen zum Primen von Gesichtern, also bei Verwendung zweier Modalitäten („cross-domain“ Priming)(Jemel et al., 2003). Allerdings scheint der Einfluß von „top-down“ Mechanismen abhängig von der Aufgabenstellung zu sein („task-dependent“). Denn mit der Aufgabe, seltener auftretende Haus- oder Gesichterstimuli zu erkennen, wobei die Aufmerksamkeit blockweise jeweils auf Häusern oder Gesichtern liegt, ist kein Priming- Effekt auf der „M170“ zu sehen (noch unveröffentlichte Daten von Lüscho). Möglicherweise erfolgt dort die Selektion der relevanten Modalität nicht mehr basierend auf einer überwiegend noch perzeptuell basierten Repräsentation (FRU's) sondern unter Zugriff auf konzeptuelle Repräsentationen, die jenseits dieser Ebene liegen. Im Unterschied dazu könnte es im Rahmen der in dem vorliegenden Experiment verwendeten Arbeitsgedächtnisaufgabe zu einer anhaltenden Aktivierung von FRU's kommen, sowie einer gleichzeitig stattfindenden Koppelung mit primär visuell basierten Repräsentationen („M170“), welche über Rückprojektionen vermittelt ist.

Den hier gemessenen Priming- Effekt könnte man entsprechend einer solchen Sichtweise als transientes Epiphänomen einer stattgehabten Rückprojektion auffassen. Durch das Amplitudendekrement der unvertrauten „Matches“ über die Blöcke hinweg lässt sich erkennen, dass diese „feedback“ Verbindungen und/oder strukturellen Enkodierungen (z.B FRU's) im Laufe des Experimentes angelegt, bzw. optimiert werden. Daß diese Mechanismen einem gewissen Maximum bei der Beeinflussung der „M170“ unterliegen, kann durch das Plateauverhalten der vertrauten „Matches“ vermutet werden, welche auch auf einem signifikant niedrigeren Niveau liegen als die der unvertrauten „Matches“, sowie dadurch, daß sich die „Sample“- Antwort durch wiederholte Intra-Trial-Attenuation immer mehr einem Plateau nähert.

Der vorliegende vertrautheitsabhängige Priming- Effekt verstärkt sich im Verlaufe des Experimentes über den Zeitraum von einer Stunde, so dass es zu einem direkten Amplitudenunterschied auf der „M170“ zwischen vertrauten und unvertrauten Gesichter im letzten Block kommt. Wie lange dieser Effekt anhält, lässt sich durch diese Studie allerdings nicht sagen. Bisher wurde eine reduzierte Antwort auf zuvor präsentierte Stimuli bis zu 24

Stunden lang beobachtet (dem längsten Zeitraum, welcher bisher getestet wurde), allerdings erfolgte dies anhand der Verhaltenskomponente (Reaktionszeit) (Fahy et al., 1993).

Die Frage stellt sich nun, warum es in anderen Arbeiten bisher nicht möglich war, ein „repetition priming“ mit Bezug auf die „N170“ zu zeigen. (Begleiter et al., 1995; Eimer, 2000b; Schweinberger et al., 2002a) Der Grund dafür könnte zum einen in der Art der verwendeten Stimuli zu finden sein (dieselben oder unterschiedliche Fotos zwischen den ersten und weiteren Präsentationen, s/w vs. farbige vs. Mooney Gesichter, neutraler vs. emotionaler Gesichtsausdruck), zum anderen im Studiendesign (Studienphase- Testphase- Design, „delayed same- different matching task“, berühmt vs. unbekannt Entscheidung, Blockdesign mit wiederholten Trials vs. einzelne Trials), oder auch in Unterschieden in der Messung und Auswertung. So betrachteten einige Studien die „N170“- Amplitude über einen längeren Zeitbereich umfassendes Mittel (Eimer, 2000b; Schweinberger et al., 2002a), was einen auf das Amplitudenmaximum („peak“) beschränkten Effekt verwischen könnte. Ein solches Amplitudenmaximum wurde in der vorliegenden Studie und auch in den Studien von Itier und Jemel betrachtet. Auch könnte die Anzahl der intervenierenden Bilder („items“) eine Rolle spielen, die bei solchen Arbeiten, die keinen Priming- Effekt zeigen konnten, bis über einhundert betrug (Eimer, 2000b) (Schweinberger et al., 2002a), bei den Arbeiten, die solch einen Effekt auf der „N170“ zeigen konnten, jedoch nur aus einigen wenigen bestand oder sogar aus direkten Wiederholungen (Campanella et al., 2000; Itier and Taylor, 2004a; Jemel et al., 2003)

Zuletzt mögen Unterschiede auch dadurch hervorgerufen sein, dass in den meisten anderen Arbeiten mittels des EEG die sogenannten ERP's („event related potentials“) gemessen wurden. Das EEG ist allerdings mehr „Störfaktoren“, vor allem überlagernder Aktivität ausgehend von weiteren neuronalen Generatoren, ausgesetzt als das MEG, welches präferentiell tangential orientierte Quellen mißt (Okada et al., 1999). Allerdings wurden mit EEG- Arbeiten auch solche Resultate erzielt, die einen Einfluß von Vertrautheit auf die „N170“ zeigen (Barrett et al., 1988; Caharel et al., 2002; Jemel et al., 2003). Barrett und Jemel fanden heraus, dass ein „match/ non-match“- Effekt nur für familiäre Gesichter um 160ms nach Stimulus- „onset“ auftritt, wie auch in dem vorliegenden Experiment gezeigt werden konnte, und Caharel beobachtete eine größere „N170“- Amplitude für vertraute im Gegensatz zu unvertrauten Gesichtern, die auf die rechte okzipito- temporale Region beschränkt war. Daher stellt sich die

grundsätzliche Frage, welche Aussagekraft die mit den unterschiedlichen Methoden (im Besonderen EEG und MEG) erhobenen Ergebnisse haben, und in welcher Form sie miteinander in Bezug zu setzen sind. Um eine eindeutige Antwort in diesem Fall finden zu können, sind jedoch simultane EEG- MEG-Messungen nötig.

4.4 Priming- Effekt in der Verhaltenskomponente

Die Reaktionszeiten zeigen im großen und ganzen ein ähnliches Bild wie die mittels MEG erhobenen Daten auf der „M170“. Denn auch hier konnte ein vertrautheitsspezifischer Priming-Effekt für die vertrauten Gesichter beobachtet werden, in Form kürzerer Antwortzeiten auf häufigere Wiederholungen der Stimuli hin. Dieser Priming- Effekt trat nicht für die unvertrauten Gesichter auf. Dieses steht in einer Linie mit früheren Studien, welche zeigen, dass ein „repetition priming“ hinsichtlich einer schnelleren Reaktionszeit nur bei vertrauten Gesichtern beobachtet werden kann, nicht jedoch bei unvertrauten (Ellis et al., 1987; Ellis et al., 1996). Auch das Ergebnis beim Vergleich der beiden Klassen von „Matches“, mit einem niedrigeren Niveau für die vertrauten Gesichter als für die unvertrauten, ist mittels der Verhaltenskomponente zu reproduzieren, mit der Einschränkung allerdings, dass die unvertrauten „Matches“ keine Veränderung der Reaktionszeit über die Blöcke hinweg zeigen, während dies für die Amplitude der „M170“ der Fall ist.

Eine länger dauernde Verarbeitung (von Perzeption bis hin zu motorischer Antwort) von unvertrauten Stimuli im Gegensatz zu vertrauten Stimuli wurde auch schon früher vor allem in Wiedererkennungsaufgaben („recognition tasks“), die auch im vorliegenden Fall verwendet wurden, gezeigt. (Rossion et al., 1999; Sergent et al., 1994) Durch etablierte gedächtnisbasierte Gesichterrepräsentationen (FRUs) für die vertrauten Personen können im Vergleich zu den unvertrauten Personen qualifiziertere Informationen zur Entscheidung betreffs der Übereinstimmung des Gesichtes herangezogen werden, was den Entscheidungsprozeß beschleunigt.

Ein nur für die vertrauten Gesichter auftretender Priming- Effekt auf der Verhaltensebene wird auch bei der Betrachtung des „Intra- Trial“- Effektes deutlich. Denn beim Vergleich der Reaktionszeiten zwischen den „Repeated“ („non-match“) und den „Matches“ zeigte sich bei den vertrauten Gesichtern eine signifikante Verkürzung der Antwortzeiten zu letzteren hin. Bei den

unvertrauten Gesichtern konnte ein kürzere Reaktionszeit für die „Matches“ im Vergleich zu „Repeated“ nur ansatzweise festgestellt werden, erreichte allerdings kein signifikantes Niveau. Daß die Reaktionszeiten für die „Matches“ generell kürzer sind als für die „Repeated“, ist darauf zurückzuführen, das die „Matches“ aktiv im Arbeitsgedächtnis gehalten werden. Die Tatsache, dass die vertrauten „Matches“ im Vergleich zu den unvertrauten noch einmal ein verbessertes Reaktionszeitniveau zeigen, kann analog wie der Effekt von Vertrautheit bei den anderen Stimulusklassen auf das Vorhandensein bereits voll etablierter FRU's zurückgeführt werden.

Bei der Fehlerbetrachtung fällt eine höhere Fehlerrate im letzten Block auf, die auf die zunehmende Vertrautheit der anfangs unvertrauten Gesichter im Laufe des Experimentes zurückzuführen sein könnte, die mit der Wiedererkennung des Sample interferiert. So fand auch Böhm eine höhere Fehlerrate auf „non-targets“ hin wenn sie häufiger wiederholt wurden (Boehm and Sommer, 2005).

4.5 Beziehung Verhaltensdaten/ Elektrophysiologie

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Verhaltenskomponente (Reaktionszeit) und der Ergebnisse der elektrophysiologischen „M170“ sind gewisse Parallelen zu erkennen. In beiden Fällen zeigt sich ein spezifisch für die vertrauten Gesichter auftretender Priming- Effekt, welcher sowohl über die Blöcke hinweg auftritt („inter-trial“), als auch innerhalb eines Trials („intra-trial“) unter Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses. Ein Einfluß der FRU's auf das Arbeitsgedächtnis ist dabei anzunehmen. Ein direkter vertrautheitsspezifischer Unterschied, welcher zwischen den beiden Klassen der „Repeated“ zu sehen sein müsste, trat auch in der Verhaltenskomponente nicht auf. Interessanterweise bleibt der „intra-trial“ Effekt für die Verhaltenskomponente konstant über die Blöcke hinweg, was im Gegensatz zu der „M170“ steht, bei welcher der „intra-trial“ Effekt über die Blöcke hinweg verschwindet. Eine direkte Beziehung zwischen den Verhaltensdaten und der „M170“ besteht daher sicherlich nicht.

4.6 Lateralisierung des M170 Amplitudendekrements

Der oben beschriebene Priming- und auch indirekte Vertrautheits- Effekt tritt nur unilateral auf der rechten Hemisphäre auf. Dieser Befund steht auf einer Linie mit Erkenntnissen, die auf eine

Dominanz der Gesichterverarbeitung in der rechten Hemisphäre hinweisen. So zeigen MEG Experimente eine stärkere rechtsseitige Aktivierung für angenehme Gesichter (Pizzagalli et al., 2002), eine auf die rechte Hemisphäre lateralisierte „M170“ für Gesichter im Vergleich zu anderen Stimuli (Lewis et al., 2003) und einen rechtsseitig stärkeren Unterschied zwischen Gesichtern und anderen Bildern (Swithenby et al., 1998). EEG Studien zeigen eine größere „N170“ im Vergleich von rechts zu links (Balconi and Lucchiari, 2005;Pfütze et al., 2002;Rossion et al., 2003), eine Arbeit von Watanabe, MEG und EEG verwendend, spricht von einer rechtseitigen Dominanz bei der Gesichterverarbeitung (Watanabe et al., 1999a), und auch mittels PET (Dubois et al., 1999;Sergent et al., 1992) und fMRT (Dubois et al., 1999); (Kanwisher et al., 1996;McCarthy et al., 1997;Puce et al., 1995) konnte eine stärkere Aktivierung der rechten Hemisphäre für die Verarbeitung von Gesichtern ermittelt werden. Im Gegensatz zu den meisten fMRT und EEG studien, welche nur eine vermehrte Aktivität rechtshemisphäriell finden, gibt die vorliegende Arbeit jedoch auch Hinweise darauf, dass die rechte Hemisphäre im Vergleich zur linken spezifisch in die Gesichterverarbeitung eingebunden zu sein scheint.

4.7 Schlussfolgerungen

In einem verbreiteten Modell zur Gesichterverarbeitung von Bruce und Young aus dem Jahre 1986 (Bruce and Young, 1986) geht man davon aus, daß nach einer strukturellen Analyse von Gesichtern (möglicherweise äquivalent mit der Analyse der spezifischen Konfiguration von Augen, Nase und Mund eines individuellen Gesichtes) die Erkennung des Gesichtes als einer Person X zugehörig über die Aktivierung von „Face-Recognition-Units“ (FRUs), abstrakten invarianten Repräsentationen desselben Gesichtes, zustande kommt. Diese werden um einen Zeitraum von 400ms vermutet (Jemel et al., 2003).

Die Besonderheit des vorliegenden Experimentes liegt darin, dass durch die Verwendung eines sehr homogenen Stimulusmaterials (Schüler der gleichen Altersstufe, welche sich nur in dem Faktor Vertrautheit unterscheiden) ein direkter und keinen Störfaktoren unterliegender Einfluß von Vertrautheit (Familiarität) auf die „M170“ untersucht werden konnte. Dabei konnten sowohl „inter-“ als auch „intra-trial“ Priming- Effekte analysiert werden.

Die Ergebnisse des vorliegenden Experimentes zeigen, dass die „M170“ nicht direkt von der Vertrautheit eines Stimulus beeinflusst wird. Allerdings tritt ein für die vertrauten Gesichter spezifischer Priming- Effekt auf, wodurch im Verlauf des Experimentes ein kurzzeitiger induzierter Vertrautheitsunterschied auf der „M170“ zu Tage tritt. Die Abwesenheit eines direkten Vertrautheitseffektes auf der „M170“, welche hier und in den anderen oben genannten Arbeiten gezeigt werden konnte, ist ein Hinweis darauf, dass diese Komponente eher eine Stufe der perceptiven Verarbeitung als eine Stufe der Gesichtererkennung („face recognition“) darstellt. Sie scheint allerdings von zuvor aktivierten FRUs („face recognition units“) über „top-down“- (oder „feed-back“-) Mechanismen beeinflussbar zu sein. Dieses geschieht vor allem lateralisiert in der rechten Hemisphäre, was ein erneutes Beispiel der Arbeitsteilung beider Hirnhemisphären darstellt.

Noch ungelöst ist die Frage, wie lange ein solcher Effekt anhält und in wieweit er seinerseits wiederum die weitere Verarbeitung beeinflusst. Auch wäre zu klären, wieso der Effekt der „repetition suppression“, bzw. des Amplitudendekrements, nicht konstant in der Literatur nachgewiesen wurde. Ganz zu schweigen von methodischen Fragen wie der Aussagekraft und Kombinierbarkeit des MEG und EEG.

Diese Arbeit liefert jedoch Anhaltspunkte dafür, dass frühe Verarbeitungsstufen der Gesichterwahrnehmung durch „top-down“-, bzw. „feed-back“- Mechanismen aus höheren, späteren Verarbeitungsstufen moduliert werden können. Daher ist die von Bruce und Young implizierte rein sequentielle Abfolge modularer Verarbeitungsschritte der Gesichtererkennung zu Gunsten einer Parallelverarbeitung zu modifizieren. Eine solche parallele Organisation setzt dabei schon zu sehr frühen Zeitpunkten der Gesichterverarbeitung ein, welche um 160ms herum liegen.

5 Zusammenfassung

Die „M170“ stellt eine frühe spezifische Komponente der Verarbeitung von Gesichtern dar. Es wird immer noch diskutiert, ob die „M170“ von der Vertrautheit eines Gesichterstimulus beeinflusst werden kann und/oder Priming-Effekten unterliegt. Zahlreiche EEG und MEG Studien brachten bisher widersprüchliche Aussagen hervor, die unter Umständen auf methodische Unterschiede zurückzuführen sind. In der vorliegenden Arbeit wurden in einer Wiederholungsprimingaufgabe sowohl vertraute als auch unvertraute Gesichter verwendet. Die Aufgabe sah so aus, daß sich die Versuchspersonen wiederholt über einige Sekunden in einer Arbeitsgedächtnisaufgabe („delayed-matching-to-sample task“) ein Gesicht merken mussten. Durch die Verwendung mehrerer Blöcke mit sich wiederholenden Stimuli konnte ein Priming-Effekt sowohl innerhalb eines Trials (zwischen „Sample“ und „Match“ = „intra-trial“) als auch zwischen zwei Blöcken („inter-trial“) untersucht werden. Der Fokus der Arbeit lag auf der Analyse einer frühen Komponente der Gesichterverarbeitung („M170“).

Bei der Erstdarbietung unterscheidet sich die „M170“ nicht zwischen vertrauten und unvertrauten Gesichtern. Dieses Ergebnis bestätigt die bestehende Annahme, dass sich Vertrautheit nicht direkt in der „M170“ widerspiegelt. Interessanterweise tritt jedoch ein spezifischer Priming-Effekt für die vertrauten Gesichter auf, der sich als Amplitudendekrement der „M170“ manifestiert und welcher auf die rechte Hemisphäre beschränkt ist. Die Tatsache, daß Vertrautheit einen Effekt auf Wiederholungspriming hat, muß so interpretiert werden, daß offensichtlich prä-existente Repräsentationen vertrauter Gesichter („face-recognition-units“, FRUs) über Rückprojektionen („top-down“ / „feed-back“) einen Effekt auf die „M170“-Verarbeitungsebene der Gesichterverarbeitung ausüben.

Literaturverzeichnis

1. Allison T, Ginter H, McCarthy G, Nobre AC, Puce A, Luby M, Spencer DD (1994) Face recognition in human extrastriate cortex. *J Neurophysiol* 71: 821-825.
2. Baddeley A (1992) Working memory. *Science* 255: 556-559.
3. Balconi M, Lucchiari C (2005) Event-related potentials related to normal and morphed emotional faces. *J Psychol* 139: 176-192.
4. Barrett SE, Rugg MD, Perrett DI (1988) Event-related potentials and the matching of familiar and unfamiliar faces. *Neuropsychologia* 26: 105-117.
5. Barton JJ, Press DZ, Keenan JP, O'Connor M (2002) Lesions of the fusiform face area impair perception of facial configuration in prosopagnosia. *Neurology* 58: 71-78.
6. Begleiter H, Porjesz B, Wang W (1995) Event-related brain potentials differentiate priming and recognition to familiar and unfamiliar faces. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 94: 41-49.
7. Bentin S, Deouell LY (2000) Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cogn Neuropsychol* 35-54.
8. Bentin S, Golland Y (2002) Meaningful processing of meaningless stimuli: the influence of perceptual experience on early visual processing of faces. *Cognition* 86: B1-14.
9. Bentin S, Sagiv N, Mecklinger A, Friederici A, von CY (2002) Priming visual face-processing mechanisms: electrophysiological evidence. *Psychol Sci* 13: 190-193.
10. Boehm SG, Sommer W (2005) Neural correlates of intentional and incidental recognition of famous faces. *Brain Res Cogn Brain Res* 23: 153-163.
11. Boetzel K, Schulze S, Stodiek S (1995) Scalp topography and analysis of intracranial sources of face-evoked potentials. *Exp Brain Res* 104: 135-143.
12. Botzel K, Grusser OJ (1989) Electric brain potentials evoked by pictures of faces and non-faces: a search for "face-specific" EEG-potentials. *Exp Brain Res* 77: 349-360.
13. Bruce V, Young A (1986) Understanding face recognition. *Br J Psychol* 77: 305-327.
14. Burton AM, Bruce V, Johnston RA (1990) Understanding face recognition with an interactive activation model. *British Journal of Psychology* 361-380.
15. Caharel S, Poiroux S, Bernard C, Thibaut F, Lalonde R, Rebai M (2002) ERPs associated with familiarity and degree of familiarity during face recognition. *Int J Neurosci* 112: 1499-1512.
16. Campanella S, Hanoteau C, Depy D, Rossion B, Bruyer R, Crommelinck M, Guerit JM (2000) Right N170 modulation in a face discrimination task: an account for categorical perception of familiar faces. *Psychophysiology* 37: 796-806.
17. Carmel D, Bentin S (2002) Domain specificity versus expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition* 83: 1-29.

18. Chelazzi L, Duncan J, Miller EK, Desimone R (1998) Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *J Neurophysiol* 80: 2918-2940.
19. Davis GM, Ellis HD, Shepherd JW (1978) Face recognition accuracy as a function of mode of representation. *J Appl Psychol* 63: 180-187.
20. Desimone R (1991) Face-selective cells in the temporal cortex of monkeys. *Journal of Cognitive Neuroscience* 3: 1-8.
21. Desimone R (1996) Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proc Natl Acad Sci U S A* 93: 13494-13499.
22. Desimone R, Miller, Chelazzi, Lüschow (1994) multiple memory systems in the visual cortex. pp 475-486.
23. Druzgal TJ, D'Esposito M (2001) Activity in fusiform face area modulated as a function of working memory load. *Brain Res Cogn Brain Res* 10: 355-364.
24. Dubois S, Rossion B, Schiltz C, Bodart JM, Michel C, Bruyer R, Crommelinck M (1999) Effect of familiarity on the processing of human faces. *Neuroimage* 9: 278-289.
25. Eimer M (2000a) Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces. Evidence from event-related brain potentials. *Brain Res Cogn Brain Res* 10: 145-158.
26. Eimer M (2000b) Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clin Neurophysiol* 111: 694-705.
27. Ellis AW, Flude BM, Young A, Burton AM (1996) Two loci of repetition priming in the recognition of familiar faces. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 22: 295-308.
28. Ellis AW, Young AW, Flude BM, Hay DC (1987) Repetition priming of face recognition. *Q J Exp Psychol A* 39: 193-210.
29. Fahy FL, Riches IP, Brown MW (1993) Neuronal activity related to visual recognition memory: long-term memory and the encoding of recency and familiarity information in the primate anterior and medial inferior temporal and rhinal cortex. *Exp Brain Res* 96: 457-472.
30. Farah MJ (1991) Patterns of co-occurrence among the associative agnosias: Implications for visual object recognition. *Cognitive Neuropsychology* 8: 1-19.
31. Foxe JJ, Simpson GV (2002) Flow of activation from V1 to frontal cortex in humans. A framework for defining "early" visual processing. *Exp Brain Res* 142: 139-150.
32. George N, Evans J, Fiori N, Davidoff J, Renault B (1996) Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Brain Res Cogn Brain Res* 4: 65-76.
33. Halgren E, Raj T, Marinkovic K, Jousmaki V, Hari R (2000) Cognitive response profile of the human fusiform face area as determined by MEG. *Cereb Cortex* 10: 69-81.
34. Hari R (1994) Magnetoencephalography as a Tool of Clinical Neurophysiology. In: *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields* pp 1035-1061. Niedermayer, DaSilva.
35. Hartje W, Sturm W (1997) Amnesie. In: *Klinische Neuropsychologie* (Hartje.W., Poeck K, eds), pp 208 ff. Thieme-Verlag.

36. Haxby JV, Hoffman EA, Gobbini MI (2002) Human neural systems for face recognition and social communication. *Biol Psychiatry* 51: 59-67.
37. Haxby JV, Petit L, Ungerleider LG, Courtney SM (2000) Distinguishing the functional roles of multiple regions in distributed neural systems for visual working memory. *Neuroimage* 11: 380-391.
38. Heilman K, Valenstein E (1993) *clinical neuropsychology*. Oxford University Press.
39. Hoffman EA, Haxby JV (2000) Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nat Neurosci* 3: 80-84.
40. Hood B, Willen J, Driver J (1998) Adult's eyes trigger shifts of visual attention in human infants. *Psychol Science* 9: 131-134.
41. Hoshiyama M, Kakigi R, Watanabe S, Miki K, Takeshima Y (2003) Brain responses for the subconscious recognition of faces. *Neurosci Res* 46: 435-442.
42. Hupe JM, James AC, Payne BR, Lomber SG, Girard P, Bullier J (1998) Cortical feedback improves discrimination between figure and background by V1, V2 and V3 neurons. *Nature* 394: 784-787.
43. Itier RJ, Taylor MJ (2002) Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs. *Neuroimage* 15: 353-372.
44. Itier RJ, Taylor MJ (2004a) Effects of repetition learning on upright, inverted and contrast-reversed face processing using ERPs. *Neuroimage* 21: 1518-1532.
45. Itier RJ, Taylor MJ (2004b) N170 or N1? Spatiotemporal differences between object and face processing using ERPs. *Cereb Cortex* 14: 132-142.
46. Jeffreys DA (1989) A face-responsive potential recorded from the human scalp. *Exp Brain Res* 78: 193-202.
47. Jemel B, Pisani M, Calabria M, Crommelinck M, Bruyer R (2003) Is the N170 for faces cognitively penetrable? Evidence from repetition priming of Mooney faces of familiar and unfamiliar persons. *Brain Res Cogn Brain Res* 17: 431-446.
48. Kanwisher N, Chun MM, McDermott J, Ledden PJ (1996) Functional imagining of human visual recognition. *Brain Res Cogn Brain Res* 5: 55-67.
49. Kanwisher N, McDermott J, Chun MM (1997) The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci* 17: 4302-4311.
50. Levy J, Trevarthen C, Sperry RW (1972) Reception of bilateral chimeric figures following hemispheric deconnexion. *Brain* 95: 61-78.
51. Lewis S, Thoma RJ, Lanoue MD, Miller GA, Heller W, Edgar C, Huang M, Weisend MP, Irwin J, Paulson K, Canive JM (2003) Visual processing of facial affect. *Neuroreport* 14: 1841-1845.
52. Li L, Miller EK, Desimone R (1993) The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *J Neurophysiol* 69: 1918-1929.
53. Linkenkaer-Hansen K, Palva JM, Sams M, Hietanen JK, Aronen HJ, Ilmoniemi RJ (1998) Face-selective processing in human extrastriate cortex around 120 ms after stimulus onset revealed by mag. *Neurosci Lett* 253: 147-150.

54. Liu J, Harris A, Kanwisher N (2002) Stages of processing in face perception: an MEG study. *Nat Neurosci* 5: 910-916.
55. Liu J, Higuchi M, Marantz A, Kanwisher N (2000) The selectivity of the occipitotemporal M170 for faces. *Neuroreport* 11: 337-341.
56. Lu ST, Hamalainen MS, Hari R, Ilmoniemi RJ, Lounasmaa OV, Sams M, Vilkmann V (1991) Seeing faces activates three separate areas outside the occipital visual cortex in man. *Neuroscience* 43: 287-290.
57. Marotta JJ, Genovese CR, Behrmann M (2001) A functional MRI study of face recognition in patients with prosopagnosia. *Neuroreport* 12: 1581-1587.
58. 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. *Cereb Cortex* 9: 431-444.
59. McCarthy G, Puce A, Gore JC, Allison T (1997) Face-Specific Processing in the Human Fusiform Gyrus. *J Cogn Neurosci* 9: 605-610.
60. Morton J, Johnson MH (1991) CONSPEC and CONLERN: a two-process theory of infant face recognition. *Psychol Rev* 98: 164-181.
61. Moscovitch M (1997) What Is Special about Face Recognition?: Nineteen Experiments on a Person with Visual Object Agnosia and Dyslexia but Normal Face Recognition. *J Cogn Neurosci* 9: 555-604.
62. Mouchetant-Rostaing Y, Giard MH, Bentin S, Aguera PE, Pernier J (2000) Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *Eur J Neurosci* 12: 303-310.
63. Nichols MJ, Newsome WT (1999) The neurobiology of cognition. *Nature* 402: C35-C38.
64. Okada Y, Lahteenmaki A, Xu C (1999) Comparison of MEG and EEG on the basis of somatic evoked responses elicited by stimulation of the snout in the juvenile swine. *Clin Neurophysiol* 110: 214-229.
65. Paller KA, Gonsalves B, Grabowecky M, Bozic VS, Yamada S (2000) Electrophysiological correlates of recollecting faces of known and unknown individuals. *Neuroimage* 11: 98-110.
66. Perrett DI, Rolls ET, Caan W (1982) Visual neurones responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Exp Brain Res* 47: 329-342.
67. Pfütze EM, Sommer W, Schweinberger SR (2002) Age-related slowing in face and name recognition: evidence from event-related brain potentials. *Psychol Aging* 17: 140-160.
68. Pizella V, Romani GL (1990) Principles of Magnetoencephalography. Sata, Susumo.
69. Pizzagalli DA, Lehmann D, Hendrick AM, REGARD M, Pascual-Marqui RD, Davidson RJ (2002) Affective judgments of faces modulate early activity (approximately 160 ms) within the fusiform gyri. *Neuroimage* 16: 663-677.
70. Pollen DA (1999) On the neural correlates of visual perception. *Cereb Cortex* 9: 4-19.
71. Puce A, Allison T, Gore JC, McCarthy G (1995) Face-sensitive regions in human extrastriate cortex studied by functional MRI. *J Neurophysiol* 74: 1192-1199.
72. Puce A, Allison T, McCarthy G (1999) Electrophysiological studies of human face perception. III: Effects of top-down processing on face-specific potentials. *Cereb Cortex* 9: 445-458.

73. Rossion B, Campanella S, Gomez CM, Delinte A, Debatisse D, Liard L, Dubois S, Bruyer R, Crommelinck M, Guerit JM (1999) Task modulation of brain activity related to familiar and unfamiliar face processing: an ERP study. *Clin Neurophysiol* 110: 449-462.
74. Rossion B, Dricot L, Devolder A, Bodart JM, Crommelinck M, De Gelder B, Zoontjes R (2000) Hemispheric asymmetries for whole-based and part-based face processing in the human fusiform gyrus. *J Cogn Neurosci* 12: 793-802.
75. Rossion B, Joyce CA, Cottrell GW, Tarr MJ (2003) Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex. *Neuroimage* 20: 1609-1624.
76. Sams M, Hietanen JK, Hari R, Ilmoniemi RJ, Lounasmaa OV (1997) Face-specific responses from the human inferior occipito-temporal cortex. *Neuroscience* 77: 49-55.
77. Schacter DL (1992) Implicit knowledge: new perspectives on unconscious processes. *Proc Natl Acad Sci U S A* 89: 11113-11117.
78. Schacter DL, Buckner RL (1998) Priming and the brain. *Neuron* 20: 185-195.
79. Schmidt RF, Thews G (1997a) Aktionspotentiale. In: *Physiologie des Menschen* pp 23-26. Springer-Verlag.
80. Schmidt RF, Thews G (1997b) Gesichtssinn und Okulomotorik. In: *Physiologie des Menschen* pp 295-296. Springer-Verlag.
81. Schweinberger SR, Pickering EC, Burton AM, Kaufmann JM (2002a) Human brain potential correlates of repetition priming in face and name recognition. *Neuropsychologia* 40: 2057-2073.
82. Schweinberger SR, Pickering EC, Jentzsch I, Burton AM, Kaufmann JM (2002b) Event-related brain potential evidence for a response of inferior temporal cortex to familiar face repetitions. *Brain Res Cogn Brain Res* 14: 398-409.
83. Seeck M, Michel CM, Mainwaring N, Cosgrove R, Blume H, Ives J, Landis T, Schomer DL (1997) Evidence for rapid face recognition from human scalp and intracranial electrodes. *Neuroreport* 8: 2749-2754.
84. Sergent, J., MacDonald, B., and Zuck, E. Structural and functional organisation of knowledge about faces and proper names: a positron emission tomography study. Umiltà, C. and Moscovitch, M. *Attention and performance[XV]*, 203. 1994. Cambridge: MIT Press.
85. Sergent J, Ohta S, MacDonald B (1992) Functional neuroanatomy of face and object processing. A positron emission tomography study. *Brain* 115 Pt 1: 15-36.
86. Sommer W, Komoss E, Schweinberger SR (1997) Differential localization of brain systems subserving memory for names and faces in normal subjects with event-related potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 102: 192-199.
87. Subramanian S, Biederman I (1997) Does contrast reversal affect object identification? *Investigative Ophthalmol Visual Sci* 38: 998.
88. Sugase Y, Yamane S, Ueno S, Kawano K (1999) Global and fine information coded by single neurons in the temporal visual cortex. *Nature* 400: 869-873.

89. Sugiura M, Kawashima R, Nakamura K, Sato N, Nakamura A, Kato T, Hatano K, Schormann T, Zilles K, Sato K, Ito K, Fukuda H (2001) Activation reduction in anterior temporal cortices during repeated recognition of faces of personal acquaintances. *Neuroimage* 13: 877-890.
90. Swithenby SJ, Bailey AJ, Brautigam S, Josephs OE, Jousmaki V, Tesche CD (1998) Neural processing of human faces: a magnetoencephalographic study. *Exp Brain Res* 118: 501-510.
91. Taylor MJ, Edmonds GE, McCarthy G, Allison T (2001) Eyes first! Eye processing develops before face processing in children. *Neuroreport* 12: 1671-1676.
92. Taylor MJ, McCarthy G, Saliba E, Degiovanni E (1999) ERP evidence of developmental changes in processing of faces. *Clin Neurophysiol* 110: 910-915.
93. Tulving E, Schacter DL (1990) Priming and human memory systems. *Science* 247: 301-306.
94. Valentine T (1988) Upside-down faces: a review of the effect of inversion upon face recognition. *Br J Psychol* 79 (Pt 4): 471-491.
95. VanRullen R, Thorpe SJ (2001) The time course of visual processing: from early perception to decision-making. *J Cogn Neurosci* 13: 454-461.
96. Watanabe S, Kakigi R, Koyama S, Kirino E (1999a) Human face perception traced by magneto- and electro-encephalography. *Brain Res Cogn Brain Res* 8: 125-142.
97. Watanabe S, Kakigi R, Koyama S, Kirino E (1999b) It takes longer to recognize the eyes than the whole face in humans. *Neuroreport* 10: 2193-2198.
98. Wiggs CL, Martin A (1998) Properties and mechanisms of perceptual priming. *Curr Opin Neurobiol* 8: 227-233.
99. Williamson SJM, Kaufman L (1987) Analysis of Neuromagnetic Signals. In: *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* (Gevins AS, Rémond A, eds), pp 405-448.

Anhang

Danksagung

Als erstes möchte ich mich recht herzlich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. med Gabriel Curio, sowie bei meinem Betreuer Dr. med Andreas Lüschoff für die Überlassung des Themas bedanken. Dr. Andreas Lüschoff bin ich zudem sehr für die hervorragende Unterstützung bei der Bearbeitung der Fragestellung verbunden.

Ein ganz besonderer Dank gilt Dr. Tilmann Sander-Thoemmes und der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht durchzuführen gewesen wäre.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Schulleitern und vor allem Schülern, die diese Arbeit durch ihre Teilnahme an den Messungen ermöglicht haben.

Abschließend möchte ich einen ganz besonderen Dank an meine Eltern Fee und Eike Hinze, sowie meine Frau Shamila aussprechen. Ihre Unterstützung vor allem während schwierigerer Zeiten hat mir die nötige Motivation dafür gegeben, diese Dissertation fertigzustellen.

Curriculum Vitae

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

Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Stephan Hinze, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema:

**Priming einer frühen elektrophysiologischen Komponente („M170“) der
Gesichterverarbeitung**

(Priming of an early electrophysiological component („M170“) of face perception)

selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift