Aus der Neurologischen Klinik

der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Peter Hartung

Die zerebrale Verarbeitung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten - eine fMRT-Studie

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Benedikt Markus Höing

2014

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Rüdiger J. Seitz

Zweitgutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Simon B. Eickhoff

Gewidmet meinen Eltern und meinen Geschwistern, die mich immer unterstützten.

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht

Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften

1. Prochnow D., **Höing B.**, Kleiser R., Lindenberg R., Wittsack, H.-J., Schäfer, R., Franz M., Seitz, R.J. 2012. The neural correlates of affect reading: an fMRI study on faces and gestures. *Behavioural Brain Research, 237 C, 270 – 277.*

2. Prochnow D., **Höing B.**, Brunheim S., Kossack H., Schäfer R., Braunewell M., Franz M., Seitz R.J. 2012. Valuation and Discrimination of Emotional Face Expressions: Localization and Timing of Cerebral Activity. *Psychology of Emotions, Motivations and Actions, Journal of Communications Research, NOVA Science Publishers, Chapter 4, 93 – 116.*

Vorträge

1. **Höing B.**, Prochnow D., Schäfer R., Franz M., Seitz R.J.: Perception and categorization of emotional faces and gestures.
   Vortrag auf dem 2. Doktorandenkongress der Medical Research School der Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, 17.06.2011.

2. Prochnow D., **Höing B.**, Schäfer R., Franz M., Seitz R.J.: The neural correlates of discriminating bodily displays of emotion
   Vortrag auf der 56. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und funktionelle Bildgebung (DGKN), Köln, 15. – 17.03.2012.

Posterpräsentationen

1. **Höing B.**, Prochnow D., Kleiser R., Lindenberg R., Wittsack, H.-J., Schäfer, R., Franz M., Seitz, R.J.: Neurale Korrelate der Wahrnehmung und Diskrimination nonverbaler Körpersprache.
   Posterpräsentation auf der 85. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurologie (DGN), Hamburg, 26. – 29.09.2012.

2. Prochnow D., **Höing B.**, Schäfer R., Wittsack H.-J., Lindenberg R., Franz M., Seitz R.J.: Discriminating bodily expressions of emotions: an fMRI study
   Posterpräsentation auf der Tagung Neurovisionen 7, Essen, 07.10.2011.

3. Seitz R.J., Prochnow D., **Höing B.**, Müller-Schmitz K., Lindenberg R., Schäfer R., Franz M.: Frontal cortex activation related to valuation and categorization of emotional face expressions and gestures. *Neurosci Abstr 299.22.*
   Posterpräsentation auf dem Annual Meeting der American Society for Neuroscience, Washington D.C., 12. – 16.11.2011.

I Zusammenfassung

Emotionale nonverbale Kommunikation spielt im Alltag eine Schlüsselrolle für die soziale Interaktion. Mittels emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten kommunizieren Menschen auf nonverbale Art und Weise. Dabei ist es für den Betrachter von großer Bedeutung, die wahrgenommene Emotion bzw. Geste richtig interpretieren zu können. Die neuronalen Grundlagen der Wahrnehmung und Diskrimination von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten wurden in der vorliegenden Studie mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) bei 16 gesunden Probanden untersucht. Ihnen wurde ein Paradigma mit Videosequenzen von emotionalen Gesichtsausdrücken und emblematischen Gesten präsentiert. Die Probanden waren instruiert, die visuellen Stimuli zu betrachten und per Knopfdruck mit der rechten Hand zu diskriminieren. Es wurden im Mittel 68 % der Gesichter und 91 % der Gesten richtig erkannt. Die Ergebnisse zeigten Regionen aus einem rechtshemisphärisch lokalisierten Netzwerk, die an der Wahrnehmung und Diskrimination von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten beteiligt waren. Es war anzunehmen, dass dem inferioren temporalen Gyrus (ITG) als Teil des ventralen visuellen Pfades die formale visuelle Analyse der Gesichter und Gesten zuzuschreiben war. Die Aktivitäten im inferioren frontalen Gyrus (IFG) und im dorsomedialen Frontalkortex (DMFC) ließen vermuten, dass die sensorische Information reflexiv emotional- (IFG) und kognitiv-empathisch (DMFC) verarbeitet wurde. Die Diskrimination im Sinne eines Entscheidungsprozesses war bei den Gesichtern mit einer spezifischen Aktivierung im dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) assoziiert. Dies deutete auf eine entscheidende Rolle des DLPFC bei belohnungsunabhängigen Entscheidungen in einem affektiven Kontext hin. Insgesamt stützten die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Befunde die Annahme, dass die rechte Hemisphäre dominant in Bezug auf Emotionsverarbeitung ist. Innerhalb der rechten Hemisphäre zeigte die vorliegende Arbeit die Relevanz von vier im temporalen (ITG) und frontalen (IFG, DMFC, DLPFC) Kortex lokalisierten Hirnregionen. Diesen kam für die empathische Bewertung und emotionale Entscheidung im Kontext sozialer Interaktion eine essentielle Funktion zu.

II Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	**s**	Sekunde(n)
BA	Brodmann Areal	**SAM**	Self Assessment Manikin
BOLD	Blood Oxygen Level Dependent	**SD**	Standardabweichung
DLPFC	dorsolateraler präfrontaler Kortex	**SE**	Standardfehler
DMFC	dorsomedialer präfrontaler Kortex	**STS**	superiorer temporaler Sulcus
ERP	ereigniskorrelierte Potentiale	**Sig.**	Signifikanzniveau
fMRT	funktionelle Magnet-resonanztomographie	**syn.**	synonym
FWHM	full width at half maximum	**TAS-20**	Toronto Alexithymia Scale
GLM	General Linear Modell	**TE**	Echozeit (time echo)
HF	Hochfrequenzimpuls	**u.a.**	unter anderem
IFG	inferiorer frontaler Gyrus	**vgl.**	vergleiche
ITG	inferiorer temporaler Gyrus	**VMPFC**	ventromedialer präftontaler Kortex
M	Mittelwert		
min	Minute(n)		
MNS	Mirror Neuron System		
MPFC	medialer präfrontaler Kortex		
ms	Millisekunde		
n	Probandenanzahl		
OFC	orbitofrontaler Kortex		
p	Signifikanzwert		

III Inhaltsverzeichnis

I Zusammenfassung 1

II Abkürzungsverzeichnis 2

III Inhaltsverzeichnis 3

IV Einleitung 5

V Theoretische Grundlagen 6

1. Emotionale nonverbale Kommunikation 6
   1.1 Emotionen 6
   1.2 Nonverbale Kommunikation 7
      1.2.1 Emotionale Gesichter 8
      1.2.2 Emblematische Gesten 9
   1.3 Spiegelneurone 10
2. Bildgebungsbefunde 11
   2.1 Wahrnehmung 11
   2.2 Diskrimination 15
3. Das Neue an dieser Studie 16
4. Prinzipien der Bildgebung 17
   4.1 Magnetresonanztomographie (MRT) 17
   4.2 fMRT/BOLD-Effekt 18
5. Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen 20

VI Ziel, Fragestellungen und Hypothesen der Arbeit 21

1. Ziel 21
2. Fragestellungen 21
3. Hypothesen 22

VII Material und Methoden 24

1. Auswahl der Versuchsteilnehmer 24
   1.1 Probanden 24
   1.2 Fragebögen 25
      1.2.1 Edinburgh-Inventory (Oldfield, 1971) 25
      1.2.2 Toronto Alexithymia Scale (TAS 20, Bagby et al., 1994) 26
      1.2.3 Self-Assessment Manikin (SAM, Bradley & Lang, 1994) 26
2. Experimentelle Bedingungen 27

2.1 Paradigma 27
2.1.1 Visuelle Darbietung 27
2.1.2 Aufbau des Paradigmas 29
2.2 Versuchsaufbau 33
2.3 Funktionelle Magnetresonanztomographie 35
2.4 Auswertung der fMRT-Daten 35
VIII Ergebnisse 38
1. Statistische Vorgehensweise 38
2. Verhaltensdaten 38
3. Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) 39
3.1 Aktivierungsmuster zum Zeitpunkt WAHRNEHMUNG 41
3.2 Aktivierungsmuster zum Zeitpunkt DISKRIMINATION 43
3.3 Weiterführende Analysen 44
IX Diskussion 49
X Ausblick 60
XI Tabellen- und Abbildungsverzeichnis 61
XII Literaturverzeichnis 62
XIII Anhang 72
1. Anhang 1 73
2. Anhang 2 74
3. Anhang 3 75
4. Anhang 4 90
5. Anhang 5 91
XIV Danksagung 92
XV Erklärung 93

IV Einleitung

Was geht in einem Menschen vor, wenn sein Gegenüber mit einer bedrohlichen Geste auf ihn zukommt? Führt der Blick in ein tieftrauriges Gesicht dazu, dass der Betrachter selbst Trauer empfindet? Das Thema dieser Arbeit entschwindet durch diese Fragen der theoretischen Neurowissenschaft und es offenbart sich schnell ein Bezug zum wirklichen Leben. Das Ziel der Studie war, die neuroanatomische Basis für die Verarbeitung von Gesichtern und Gesten als Mittel nonverbaler Kommunikation zu ergründen. Der Fokus lag speziell auf den Vorgängen im Betrachter. Zwei spezifische Prozesse waren Gegenstand der vorliegenden Untersuchung:

die Wahrnehmung und Diskrimination emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten.

Es wurden 16 gesunde Probanden mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) untersucht. Dabei bekamen sie ein Paradigma emotionaler Stimuli zu sehen. Die Probanden hatten die Aufgabe, gezeigte Gesichter und Gesten zu betrachten und per Knopfdruck zu diskriminieren. Diese Prozesse (Wahrnehmung und Diskrimination) haben im Kontext nonverbaler Interaktion eine herausragende Bedeutung. Man stelle sich vor, aufgrund von Blindheit nicht in der Lage zu sein, emotionale Gesichtsausdrücke oder wütende Gesten wahrnehmen und interpretieren zu können. Damit wäre eine essentielle Fähigkeit der nonverbalen Kommunikation verloren. Führt man sich vor Augen, dass psychiatrische Erkrankungen wie Schizophrenie mit ähnlichen Defiziten im Hinblick auf Emotionsverarbeitung einhergehen (Phillips & David, 1995), wird die klinische Relevanz dieser Untersuchung deutlich.

Die Hirnforschung erfuhr in den letzten Jahren, vor allem bedingt durch die rasante Entwicklung der Bildgebungsmodalitäten, einen enormen Aufwind. Wir befinden uns in einer Zeit, in der die Funktionsweisen des am schlechtesten erforschten Körperteils des Menschen, des Gehirns, zunehmend aufgeklärt werden. Als eine experimentelle Untersuchung an der Schnittstelle zwischen neurobiologischer und -psychologischer Forschung hatte die vorliegende Arbeit den Anspruch, einen kleinen Teil zur Entschlüsselung der Funktionsweisen des Gehirns beizutragen.

V Theoretische Grundlagen

1. Emotionale nonverbale Kommunikation

In der vorliegenden Arbeit wurden sowohl emotionale Gesichter als auch emblematische Gesten als Stimuli dargeboten. Diese Studie vereinte zwei Elemente, die untrennbar miteinander verknüpft sind: nonverbale Kommunikation und Emotionen. Im Kontext sozialer Situationen geht es zum einen darum, die Körpersprache anderer Menschen wahrzunehmen und zum anderen im Hinblick auf eine mögliche Reaktion einzuordnen. Dies erfordert eine Diskrimination unterschiedlicher emotionaler Ausdrücke. Beide Prozesse, Wahrnehmung und Diskrimination, waren Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

1.1 Emotionen

Emotionen sind allgegenwärtig und als glückliche Geste oder wütendes Gesicht aus diversen Bereichen des täglichen Lebens bekannt. Das universale Vorkommen der Emotionen rührt aus ihrer fundamentalen Bedeutung als Mittel der nonverbalen Kommunikation (Buck & VanLear, 2002). Ohne die Fähigkeit, Emotionen wahrnehmen und passend auf sie reagieren zu können, sind Menschen unfähig, am sozialen Leben teilzuhaben. Autisten können Emotionen weder in normalem Umfang wahrnehmen oder verarbeiten (Adolphs et al., 2001), noch sind sie in der Lage, Emotionen in angemessener Art und Weise zu zeigen (Snow et al., 1987). Die Folge ist ihre soziale Isolation. Auch depressive oder schizophrene Patienten sind nicht in der Lage, Emotionen in normalem Umfang zu verarbeiten (Naranjo et al., 2011, Phillips & David, 1995). Dies verdeutlicht die klinische Bedeutung der Emotionsforschung. Den Ursprung von Emotionen zu ergründen und damit die Frage zu beantworten, was Emotionen sind, beschäftigt die Wissenschaft seit langer Zeit. Ein Ansatz stellt sich dabei als der älteste und in modifizierter Form auch als einer der stichfestesten dar.

Der entwicklungsgeschichtliche Erklärungsansatz zur Herkunft von Emotionen basiert auf der Selektionshypothese Darwins. Dabei wurden Emotionen als Fähigkeiten betrachtet, die sich im Laufe der Zeit entwickelten und im Sinne eines Selektionsvorteils das Überleben der Individuen sicherten (LeDoux, 1998). Basierend auf Darwins Theorie wiesen Ekman und Friesen 1971 nach, dass bestimmte Basisemotionen (Angst, Ekel,

Freude, Trauer, Überraschung und Wut) kulturübergreifende Gültigkeit besaßen. Eingeborene aus Neu Guinea, die weder Zugang zu Massenmedien, noch Kontakt zur Zivilisation hatten, zeigten ähnliche Interpretationen von emotionalen Gesichtern wie Vergleichspersonen aus der westlichen Gesellschaft. Ihre neuro-kulturelle Theorie der Emotionsentstehung gehört in Verbindung mit Darwins Postulaten zu den am meisten anerkannten Erklärungsansätzen zur Herkunft von Emotionen (Ekman & Friesen, 1971, McCullough & Emmorey, 2009). Emotionen zeigen sich jedoch nicht nur im Gesichtsausdruck, sondern auch in Körpersprache, Stimme oder Gesten. Eine Definition des Emotionsbegriffs muss somit universal gültig und anwendbar sein. Buck brachte es 1985 auf den Punkt, als er seine Version der Emotionsdefinition publizierte. Nach ihm ging das Erleben von Emotionen mit Veränderungen im subjektiven Befinden, des körperlichen Ausdrucks, einer erhöhten Handlungsbereitschaft und einer physiologischen Reaktion einher (Buck, 1985). Diese physiologische Reaktion im Gehirn war es, die während der Wahrnehmung und Diskrimination von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten in der vorliegenden Studie untersucht wurde. Mit Hilfe von Gesichtern und Gesten wurde sie provoziert und gemessen.

1.2 Nonverbale Kommunikation

Nonverbale Kommunikation ist von essentieller Bedeutung für den interpersonellen Austausch. Sapir beschrieb 1927, dass Menschen mit großer Wachsamkeit und wie auf Grund eines geheimen Codes auf Gesten reagieren. Dieser sei weder niedergeschrieben, noch bekannt, er werde jedoch von allen verstanden (Sapir, 1927). Seine Aussage zielte auf das instinktive Verständnis von Gesten ab. Heute weiß man, dass dieses Verständnis von Gesten durch den Sozialisationsprozess erworben und weniger, wie Sapirs Aussage vermuten lassen könnte, genetisch veranlagt ist (Buck & VanLear, 2002, Kendon, 1997). Nichtsdestotrotz zeigte die schon damals beschriebene Allgemeinverständlichkeit von Gesten, dass ihr Verständnis als Mittel nonverbaler Kommunikation unabdingbar ist (Kendon, 1997, Lindenberg et al., 2012). Gesten stellen dabei nur eine Möglichkeit nonverbaler Kommunikation dar (Abbildung 1). Nonverbale Kommunikation muss als multidimensionales Modell verstanden werden, das sich aus mehreren Säulen zusammensetzt (Duncan, 1969). Diese Säulen werden als Emotionskanäle bezeichnet. Sie stellen die verschiedenen Möglichkeiten der nonverbalen Kommunikation dar. Zusammen mit Gesichtsausdrücken werden Gesten unter dem Oberbegriff

„Körpersprache“ zusammengefasst. Stimmqualitäten wie Lautstärke oder Tonhöhe sind ein weiteres Charakteristikum nonverbaler Kommunikation. Andere Säulen dieses Modells sind Geruch, Berührung (Hertenstein et al., 2006) und die Proxemik. Als Proxemik wird das Raumverhalten von Individuen bezeichnet, z.B. das Einnehmen einer bestimmten interpersonellen Distanz (Hall, 1966). Auch die äußere Erscheinung wie Kleidung oder Kosmetik stellt eine Möglichkeit nonverbaler Kommunikation dar (Duncan, 1969, Hertenstein et al., 2009).

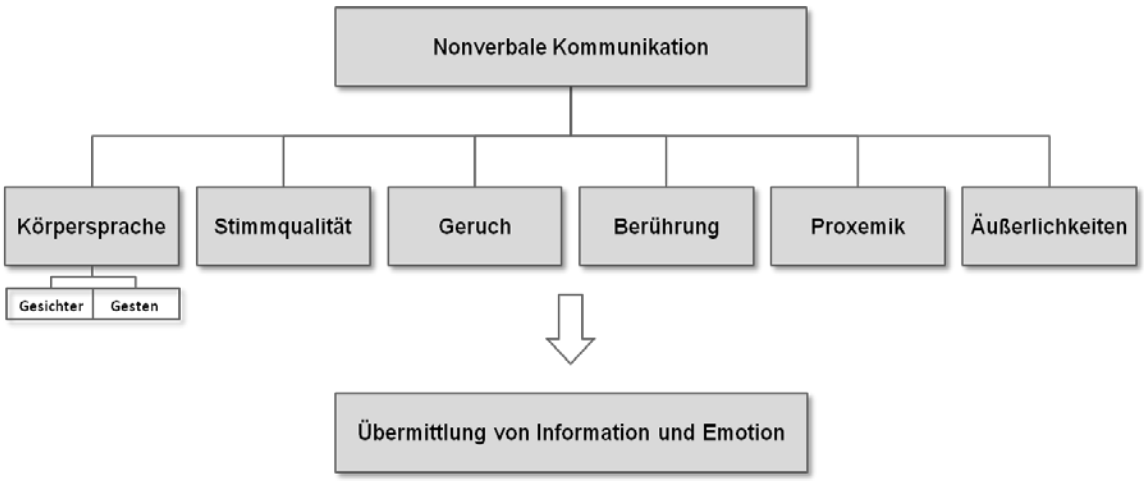


Abb. 1 Nonverbale Kommunikation (nach Duncan, 1969)

Auf sechs verschiedene Art und Weisen kann nonverbal kommuniziert werden: durch Körpersprache, Stimmqualität, Geruch, Berührung, Proxemik und Äußerlichkeiten. Über diese sechs Emotionskanäle erfolgt die Übermittlung von Information und Emotion. Zwei Subkategorien der Dimension „Körpersprache“ stellen dabei emotionale Gesichtsausdrücke (vereinfacht als „Gesichter“ bezeichnet) und Gesten dar (Duncan, 1969).

Nonverbale Kommunikation ist ein bedeutsames Mittel des interindividuellen Austausches von Information und Emotion. Die erste Säule des Konstrukts mit Gesichtern und Gesten als wichtigste Mittel der Körpersprache war Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

1.2.1 Emotionale Gesichter

Emotionalen Gesichtsausdrücken liegen sechs Basisemotionen zu Grunde (Ekman & Friesen, 1976). Diese sind Angst, Ekel, Freude, Trauer, Überraschung und Wut. Ein

wesentliches Charakteristikum stellt ihre interkulturelle Vergleichbarkeit dar. Diese wurde von Ekman und Friesen in einem Experiment an Mitgliedern des Fore-Stammes in Neu-Guinea nachgewiesen (siehe oben) (Ekman & Friesen, 1971). Die von ihnen begründeten „Ekman-Gesichter“ zeigen diese Basisemotionen. Auch das in der vorliegenden Arbeit verwendete Paradigma wurde aus fünf der Basisemotionen konstruiert (Angst, Ekel, Trauer, Überraschung und Wut). Die Relevanz dieser Emotionen im Zusammenhang mit Gesichtsausdrücken konnte in einer aktuellen Untersuchung von App et al. (2011) untermauert werden. Ihre Probanden hatten die Aufgabe, vorgegebene Emotionen in einer beliebigen Art und Weise auszudrücken. Sie konnten den Emotionskanal somit frei wählen. Es zeigte sich, dass die Versuchsteilnehmer Angst, Ekel, Freude, Trauer und Wut über das Gesicht und ihre Mimik verkörperten. Im Gegensatz dazu wurden Liebe durch Berührung oder Scham durch Körperbewegungen ausgedrückt (App et al., 2011). Fünf elementare Basisemotionen wurden somit durch emotionale Gesichtsausdrücke zum Ausdruck gebracht. Dies war ein starker Hinweis darauf, dass emotionale Gesichtsausdrücke ein bedeutsames Instrument der nonverbalen Kommunikation darstellen.

1.2.2 Emblematische Gesten

Die Hauptfunktion von Gesten liegt in der Untermalung von Sprache begründet (Kendon, 1997). In Bezug auf bestimmte Gesten existieren Konventionen, die ein Verständnis von Gesten auch ohne Sprache ermöglichen. Man denke an „Daumen hoch“ oder den „Stinkefinger“. Diese Gesten wurden als emblematische Gesten bezeichnet (Vernon, 1977). Dabei handelt es sich um bewusste Bewegungen, die an einen Adressaten gerichtet sind und in allgemein verständlicher Art und Weise eine bestimmte Nachricht übermitteln (Husain et al., 2009, Lindenberg et al., 2012). Das automatische Verständnis von Gesten wird im Laufe des Lebens im Einklang mit sozialen Normen innerhalb einer Gesellschaft erlernt. Folglich existieren interkulturelle Unterschiede in Bezug auf das Verständnis von Gesten (Kendon, 1997), welche bei emotionalen Gesichtern nicht gegeben sind (siehe oben). Emblematische Gesten übermitteln nicht nur reine Information, sondern auch Emotion (Kendon, 1981). Damit stellen sie ebenso wie emotionale Gesichtsausdrücke ein wichtiges Mittel der emotionalen nonverbalen Kommunikation dar.

1.3 Spiegelneurone

Es ist eine interessante Frage, wie die Verarbeitung von gesehenen Emotionen und Gesten auf neurophysiologischer Ebene abläuft. Untersuchungen zur Motorik bei Makaken (di Pellegrino et al., 1992) lieferten Hinweise auf einen Mechanismus, der auch für die Emotionsverarbeitung verantwortlich gemacht wurde: das Spiegelneuronensystem. Die Entdecker der Spiegelneurone (Giuseppe di Pellegrino, Giacomo Rizzolatti und Vittorio Gallese) sowie nachfolgende Autoren postulierten, dass das Spiegelneuronensystem die Grundlage des Verstehens beobachteter Handlungen oder Emotionen sei (di Pellegrino et al., 1992).

Spiegelneurone wurden erstmalig 1992 bei Makaken entdeckt. Das Besondere an ihrer Entdeckung war, dass sie sowohl beim Ausführen als auch beim Betrachten einer motorischen Handlung Aktivität aufwiesen. Ihre Entdecker (siehe oben) bezeichneten sie folglich als *„mirror neurons“* und sprachen in ihrem Zusammenhang vom *„mirror neuron system“* (MNS). Dabei konnten das MNS primär in der Region F5 des prämotorischen Kortex der Makaken lokalisiert werden (di Pellegrino et al., 1992). Dies entspricht dem inferioren Anteil des Brodmannareals 6 beim Menschen (Rizzolatti et al., 1998), also einem Teil des inferiolateralen frontalen Kortex (Abbildung 2).

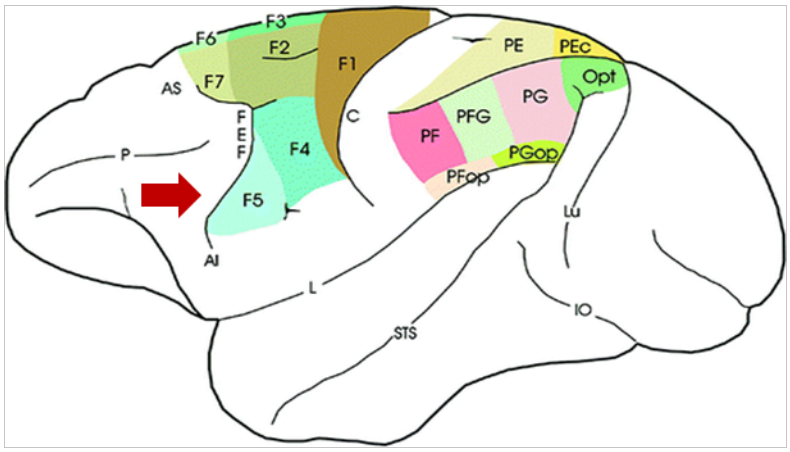


Abb. 2 Spiegelneurone im Makakengehirn (Rizzolatti and Craighero, 2004)

Im Bereich F5 des Makakengehirns wurden Spiegelneurone zum ersten Mal identifiziert. Dieses Areal befindet sich im inferiolateralen Frontalkortex (Pfeil). Das Neue an ihrer Entdeckung war, dass sie sowohl bei der Ausführung als auch bei der Beobachtung von motorischen Handlungen Aktivität aufwiesen (di Pellegrino et al., 1992).

Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Giacomo Rizzolatti, M.D., Dipartimento di Neuroscienze, Università di Parma, und von Prof. Laila Craighero, Dipartimento SBTA, Sezione di Fisiologia Umana, Università di Ferrara, Italien.

Nach der Entdeckung der Spiegelneurone wurde versucht, ihre Funktionsweisen weiter zu entschlüsseln. Es zeigte sich, dass Spiegelneurone auch in anderen Teilen des inferiolateralen Frontalkortex (BA 44) vorkamen (Rizzolatti & Craighero, 2004). Des Weiteren kristallisierte sich heraus, dass auch der superiore temporale Sulcus (STS) und der inferiore parietale Kortex in besonderem Maße Spiegelneurone beherbergten. Aufgrund ihrer Aktivität während des Beobachtens von Bewegungen (z.B. Greifen) schienen sie die Basis des Verstehens motorischer Handlungen Anderer zu sein (Rizzolatti & Craighero, 2004). Dies könnte die neurobiologische Grundlage des Erlernens durch Imitation darstellen (Buccino et al., 2004). Nachdem dem MNS zunächst lediglich im Bereich der Motorik eine entscheidende Rolle zugeschrieben wurde, kristallisierte sich heraus, dass es auch für die Verarbeitung emotional-kognitiver Reize wichtig war (Gallese et al., 2004). Da Spiegelneurone beobachtete Handlungen im Betrachter widerspiegeln, geht man davon aus, dass wahrgenommene Emotionen wie emotionale Gesichter (Seitz et al., 2008) oder emblematische Gesten (Lindenberg et al., 2012) auf diese Art und Weise in eine innere subjektive Perspektive übertragen werden. Somit wird analog zur Motorik das Wahrgenommene in sich selbst „hineingespiegelt“. Die wahrgenommenen Emotionen werden somit nicht nur gesehen; Spiegelneurone könnten eine Repräsentation der Emotionen im Betrachter erklären. So ist es Menschen möglich, Emotionen Anderer zu teilen und mitzufühlen. Dieser Prozess ist allgemein als Empathie bekannt (Iacoboni, 2009).

2. Bildgebungsbefunde

2.1 Wahrnehmung

Die Frage nach einem spezifischen Ort der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten lässt sich nicht ohne Weiteres beantworten. Es existieren in der gegenwärtigen Literatur verschiedene Ansichten, die eine differenzierte Betrachtung erfordern.

Da visuell dargebotene Reize zunächst mit dem visuellen System aufgenommen werden, liegt es nahe, dass dort auch der erste Teil ihrer Verarbeitung stattfindet. Bei der Verarbeitung arbeiten primäre (BA 17) und sekundäre (BA 18/19) visuelle Areale im okzipitotemporalen Kortex eng zusammen. Auch wenn die Organisation des visuellen Kortex um ein Vielfaches komplexer ist (Grill-Spector & Malach, 2004), kann man sich

den Informationsfluss zusammengefasst folgendermaßen vorstellen: nach ihrer Aufnahme durch den primär visuellen Kortex (BA 17) gelangen die visuellen Informationen in die sekundären visuellen Areale (BA 18 und 19). Dort findet eine Verarbeitung und Integration der Informationen statt (Trepel, 2008). Eine Region des sekundären visuellen Kortex scheint speziell für die Gesichtserkennung verantwortlich zu sein. Die sogenannte fusiforme „*face area*" (FFA) im Gyrus fusiformis war in mehreren Studien selektiv bei der Betrachtung emotionaler Gesichter aktiv (Schiltz et al., 2010, Vuilleumier & Pourtois, 2007). Es zeigte sich, dass auch bei der Verarbeitung anderer Formen nonverbaler Kommunikation visuelle Areale des okzipitotemporalen Kortex eine Rolle spielten. In einem Experiment von Suchan et al. (2008) hatten die Probanden die Aufgabe, Gesten und Greifbewegungen zu betrachten und die Geschwindigkeit der Handbewegung zu beurteilen. Die Autoren konnten zeigen, dass Bereiche des Okzipital- sowie Temporallappens erhöhte Aktivität aufwiesen. Sie folgerten daraus, dass diese Aktivierung der Analyse der Gesten im ventralen visuellen Pfad entsprach. So stellten sie einen direkten Zusammenhang zwischen Betrachtung und darauffolgender Analyse her (Suchan et al., 2008). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die oben zitierten Studien auf eine Beteiligung visueller Areale des okzipitotemporalen Kortex an der primären Verarbeitung nonverbaler Kommunikation (Gesichter und Gesten) hindeuten.

In vielen Studien kristallisierte sich auch die Bedeutung des limbischen Systems und insbesondere der Amygdala bei der Emotionsverarbeitung heraus (Britton et al., 2008, Gur et al., 2002, Kesler-West et al., 2001). Es zeigte sich, dass die Amygdala vor allem an der Wahrnehmung und Verarbeitung von Angst in entscheidender Form beteiligt war (Phillips et al., 2001). In einem fMRT-Experiment von Whalen et al. (1998) wurden Probanden für 167 ms neutrale Gesichtsausdrücke gezeigt. Unmittelbar davor war für jeweils 33 ms ein Bild mit ängstlichem oder glücklichem Gesichtsausdruck zu sehen. Bedingt durch die sehr kurze Darbietungsdauer verneinten im Anschluss acht von zehn Probanden, diese Bilder gesehen zu haben. Die Resultate zeigten, dass die Amygdalaaktivierung für Angst signifikant höher war als für Freude. Somit konnte nachgewiesen werden, dass auch ohne das explizite Wissen, Angst wahrzunehmen, die Amygdala bei der impliziten Verarbeitung von Angst beteiligt war (Whalen et al., 1998). Zahlreiche Autoren unterstrichen außerdem die Verbindung von Teilen des limbischen Systems (Amygdala und Insula) mit dem präfrontalen Cortex, die einen entscheidenden

Beitrag zur Affektkontrolle leisten soll (Carr et al., 2003, Ghashghaei et al., 2007, Ongur & Price, 2000). Dabei stelle der präfrontale Kortex so etwas wie das kortikale Kontrollzentrum der subkortikalen Emotionsentstehung in der Amygdala dar und nehme beispielsweise durch Neubewertungen von Situationen Einfluss auf die Affektentstehung (Banks et al., 2007, Hariri et al., 2000).

In Anbetracht der gegenwärtigen Literatur kristallisierten sich zwei Bereiche des Frontalkortex im Hinblick auf die Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten besonders heraus: der inferiolaterale Frontalkortex und der mediale präfrontale Kortex (MPFC).

Der inferiore frontale Gyrus (IFG) als inferiolateraler Anteil des präfrontalen Kortex wurde zunächst als Teil des Spiegelneuronensystems mit dem Erlernen und der Imitation beobachteter Handlungen assoziiert, ehe seine Funktion auch auf die Verarbeitung emotionaler Reize erweitert wurde (Gallese et al., 2004). Die im Folgenden beschriebenen Bildgebungsstudien untermauerten diese Hypothese. Basierend auf der Repräsentation beobachteter Handlungen im Betrachter wurde dem inferioren frontalen Gyrus eine entscheidende Rolle bei der empathischen Verarbeitung emotionaler Gesichter zugeschrieben (Carr et al., 2003). Interessanterweise ließ eine fMRT-Studie von Lindenberg et al. (2012) Ähnliches für die Verarbeitung emblematischer Gesten vermuten. In ihrem Experiment wurden die Probanden instruiert, sich vorzustellen, mit dargebotenen Gesten konfrontiert zu werden oder sie auszuführen. Beide Bedingungen führten zu einer Aktivierung des IFG. Dies ließ sowohl auf motorische, als auch auf emotional-empathische Funktionen des IFG schließen (Lindenberg et al., 2012). Der IFG hat also eine bedeutende Funktion bei der Planung motorischer Handlungen, ist gleichzeitig aber auch an der emotional-empathischen Verarbeitung visueller Stimuli beteiligt.

Dieser Funktion des IFG wurde durch ein Empathiekonzept Rechnung getragen, das Empathie als mehrstufiges Konzept auffasst. Dieses ist durch emotionale und kognitive Aspekte gekennzeichnet ist (Preston & de Waal, 2002, Shamay-Tsoory et al., 2009). Emotionale Empathie stellt die einfachste Form der Empathie dar und ist dadurch charakterisiert, dass ein Teilen der Gefühlswelt Anderer erfolgt („Ich fühle, was du fühlst“). Das empathische Erleben wird möglich, indem die beobachtete Emotion im Betrachter selbst erzeugt wird (Preston & de Waal, 2002) und so der Betrachter „am

eigenen Leib“ die wahrgenommene Emotion spürt. Diese Funktion wurde dem IFG zugeschrieben (Shamay-Tsoory et al., 2009), dessen Spiegelneurone im Brodmannareal 44 dafür das neurophysiologisches Korrelat darstellen sollen (Gallese, 2007). Die andere Form der Empathie nennt sich kognitive Empathie und steht auf einer Stufe mit dem Begriff der affektiven *„Theory of mind“* (ToM) (Shamay-Tsoory & Aharon-Peretz, 2007). Dies umfasst rationale kognitive Prozesse, die dazu dienen, Gefühle und Emotionen anderer Personen zu verstehen und zu deuten („Ich verstehe, was du fühlst“) (Shamay-Tsoory et al., 2009). Man könnte sagen, dass dabei eine Art Perspektivenübernahme stattfindet (Seitz et al., 2008), bei der der emotionale Gefühlszustand anderer Menschen erschlossen wird. Auch der kognitiven Empathie (syn. affektive ToM) lassen sich ebenso wie der emotionalen Empathie aufgrund aktueller Bildgebungsstudien neuroanatomische Substrate zuordnen. Interessanterweise kamen viele Autoren zu dem Schluss, dass die Konfrontation mit ToM-Aufgaben meist mit neuronaler Aktivität in drei spezifischen Bereichen einherging: dem superioren temporale Sulcus (STS)/ dem temporoparietalen Übergangsareal (temporo-parietal junction, TPJ), den Temporalpolen und dem medialen präfrontalen Kortex (MPFC) (Frith & Frith, 2003, Frith & Frith, 2006). Aufgrund einer Studie unserer Arbeitsgruppe (Seitz et al., 2008) und anderer kürzlich erschienenen Veröffentlichungen (Shamay-Tsoory et al., 2009), ist anzunehmen, dass der MPFC dabei für die affektive ToM eine herausragende Rolle spielt. Ebenso wie dem IFG wurde dem MPFC eine Rolle bei der Wahrnehmung von Emotionen zugeschrieben (Phan et al., 2002, Seitz et al., 2009). Dies konnte sowohl für emotionale Handbewegungen (Grosbras & Paus, 2006) als auch für emotionale Gesichter (Seitz et al., 2008) gezeigt werden und kann als Basis seiner komplexen kognitiv empathischen Funktion aufgefasst werden. Dem inferioren frontalen Gyrus (IFG) und medialen präfrontalen Kortex (MPFC) wurden somit neben ihrer Funktion als Korrelate der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten noch besondere Rollen bei der emotional bzw. kognitiv empathischen Verarbeitung zugeschrieben.

Diese Ausführungen machen klar, dass es nicht eine einzige isolierte Region für die Wahrnehmung und Verarbeitung emotionaler Gesichter und Gesten gibt. Vielmehr deutet die Heterogenität der Studienergebnisse auf die Beteiligung mehrerer Areale hin. Trotzdem haben sich einige Regionen wie IFG und MPFC in den Ergebnissen aktueller

Studien als besonders bedeutend in Bezug auf die Wahrnehmung emotionaler Gesichter und Gesten herausgestellt.

2.2 Diskrimination

Im Kontext sozialer Interaktion reicht die Betrachtung emotionaler Körpersprache im Sinne des reinen visuellen Erfassens nicht aus. Um angemessen (z.B. durch Flucht oder Mitgefühl) auf multiple emotionale Reize reagieren zu können, muss auch die Diskrimination des gesehenen Ausdrucks von anderen emotionalen Ausdrücken erfolgen. Um eine schnelle und kognitive Ressourcen sparende Diskrimination zu gewährleisten, greift der Mensch dabei auf ein im Gedächtnis verankertes Kategoriensystem zurück (Rosch et al., 1976). Dabei werden Stimuli, die gemeinsame übereinstimmende Eigenschaften aufweisen, zu Kategorien subsummiert. Wird der Mensch mit neuen und unbekannten Stimuli konfrontiert, versucht er diese über den Prozess der Diskrimination (syn. Kategorisierung) in sein bestehendes Kategoriensystem einzuordnen. Rein begrifflich ist der Prozess der Diskrimination von dem des Entscheidens *(„decision-making“*) abzugrenzen. Dies bezieht sich auf den bewertenden Prozess, bei dem aus einer bestimmten Anzahl an Entscheidungsmöglichkeiten eine konkrete Alternative ausgewählt wird (Barraclough et al., 2004). Im Rahmen des in dieser Studie untersuchten Diskriminationsprozesses, bei dem eine aus mehreren möglichen Kategorien gewählt wird, greifen die Begriffe der Diskrimination und des Entscheidens ineinander. Sie sind deshalb nicht eindeutig voneinander abgrenzbar und werden im folgenden Abschnitt instrumentalisierend gemeinsam betrachtet.

Einige Autoren vertreten ein Konzept, das von einer kategorischen Wahrnehmung emotionaler Gesichter ausgeht (*„perceptual categorization“*) (Calder et al., 1996, Young et al., 1997). Erstmalig wurde dies von Etcoff und Magee (1992) postuliert. Sie zeigten, dass zwei verschiedene emotionale Gesichtsausdrücke einer Kategorie (z.B. Wut) schwieriger diskriminierbar waren als zwei Gesichtsausdrücke unterschiedlicher Kategorien (z.B. Wut und Überraschung), obwohl sie sich jeweils in gleichem physischem Ausmaß voneinander unterschieden. Sie tauften dieses Phänomen *„perceptual categorization effect“* und lieferten so einen ersten Hinweis für eine kategorische Wahrnehmung emotionaler Gesichter (Etcoff & Magee, 1992). Eine ERP-Studie von Campanella et al. (2002) ließ vermuten, dass die bilaterale okzipitotemporale Region das zerebrale Substrat dieser Diskrimination emotionaler Gesichter darstellte

(Campanella et al., 2002). Es gibt nur wenige Studien, die speziell auf Diskriminationsleistungen in Verbindung mit Emotionen eingingen, vielmehr wurden diese Prozesse als modalitätenübergreifend betrachtet und untersucht. In letzter Zeit verdichteten sich die Hinweise, dass bei allgemeineren Diskriminationsleistungen der präfrontale Kortex eine wichtige Rolle spielt. Vogels et al. (2002) rückten Diskriminationsleistungen in einen globaleren Zusammenhang und verwendeten anstatt Gesichtern Punktmuster, die von gesunden Probanden im Rahmen verschiedener Aufgaben kategorisiert werden mussten. Die Ergebnisse zeigten, dass neben dem intraparietalen Sulcus und orbitfrontalen Kortex (OFC) insbesondere zwei Bereiche des dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) aktiv waren (Vogels et al., 2002). Interessanterweise kamen zahlreiche Autoren zu einem ähnlichen Fazit, denn eine 2006 erschienene Metaanalyse von Studien, die explizit das zerebrale Korrelat von Entscheidungsprozessen untersuchte, hob den präfrontalen Kortex als eine dafür entscheidende Region heraus. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass dabei der DLPFC als spezifisches Areal für kognitive Entscheidungsprozesse betrachtet werden konnte (Krain et al., 2006). Ein etwas anderer Ansatz ging von einer besonderen Funktion des MPFC für Entscheidungsprozesse aus und schrieb diese dem ventromedialen präfrontalen Kortex (VMPFC) zu (van den Bos & Guroglu, 2009). Diese Annahme wurde von einer Läsionsstudie an Patienten mit Schäden des VMPFC untermauert, die eine eingeschränkte Entscheidungsfähigkeit bei belohnungsmotivierten Aufgaben aufwiesen (Fellows & Farah, 2005).

Es spricht demnach vieles dafür, dass dem präfrontalen Kortex für generelle Diskriminationsleistungen eine besondere Bedeutung zukommt.

3. Das Neue an dieser Studie

Die vorherigen Abschnitte zeigten, dass das Thema der Emotionswahrnehmung, vor allem in Form von emotionalen Gesichtern, ein hohes wissenschaftliches Interesse hat. Ebenso wurden Diskriminationsleistungen bereits untersucht. Es stellt sich folglich die berechtigte Frage, was an der vorliegenden Studie neu ist.

Zwar existieren zahlreiche Untersuchungen, die sowohl Emotionsverarbeitung als auch Diskriminationsprozesse erforschten. Doch neu an der vorliegenden Arbeit ist, dass diese zwei elementaren Vorgänge der nonverbalen Kommunikation zusammen

untersucht und analysiert wurden. Der Schwerpunkt lag auf dem dabei ablaufenden kognitiven Gesamtprozess, denn auch in der Realität greifen Wahrnehmungs- und Diskriminationsprozesse ineinander. Bis Dato existieren keine Studien, die sich diesem Zusammenhang in vergleichbarer Form angenommen haben. Mit der hier durchgeführten Untersuchung wurde der Versuch unternommen, Hinweise auf die beteiligten Hirnregionen auf unterschiedlichen Stufen dieser Verarbeitungsprozesse zu gewinnen. So sollte der Frage auf den Grund gegangen werden, ob es übergeordnete neuronale Korrelate von emotionaler Körpersprache gibt. Neu war dabei auch, dass diese Untersuchung Diskriminationsprozesse weniger global, sondern speziell auf Emotionen bezogen untersuchte. Sie bot dabei die Möglichkeit, emotionale Gesichtsausdrücke und Gesten als die zwei wesentlichen Kanäle emotionaler Körpersprache sowohl separat, als auch gemeinsam zu betrachten. Das verwendete Paradigma kombinierte bewährtes Stimulusmaterial mit einer Instruktion, die die Erfassung von empathischer Verarbeitung und Entscheidungsprozessen ermöglichte. Somit stellte diese Studie eine kombinierte, neue Herangehensweise an das Thema Emotionsverarbeitung dar und grenzte sich von bisherigen Untersuchungen ab.

4. Prinzipien der Bildgebung

Die vorliegende Studie bediente sich der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), um aktivierte Hirnareale sichtbar zu machen. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die physikalischen Grundlagen der Magnetresonanztomographie (MRT) und der fMRT gegeben werden. Dieses Kapitel ist konzipiert, um die grundsätzlichen Prinzipien der angewandten Methode zu verstehen und dient nicht der detaillierten physikalischen Beschreibung. Das Kapitel bezieht sich vornehmlich auf Literatur von Uhlenbrock und Forsting (2007) sowie Vogl, Reith und Rummery (2011).

4.1 Magnetresonanztomographie (MRT)

Die MRT ist ein nichtinvasives bildgebendes Verfahren, das auf dem Verhalten von Protonen in einem vom MRT erzeugten Magnetfeld beruht. Im Gewebe ubiquitär vorkommende Protonen (H+) besitzen einen Drehimpuls („*spin*“). Dieser führt dazu, dass sich die Protonen bei Anlegen eines Magnetfeldes parallel oder antiparallel (somit longitudinal) entlang dessen Feldlinien ausrichten und um die Achse ihres Kernspins

oszillieren („Präzession“). Dabei ist der Hauptvektor des Eigendrehimpulses der Protonen in konstantem Winkel zum Hauptvektor des Magnetfeldes gekippt. Durch den Hochfrequenzimpuls (HF) einer Transmitterspule kann die Achse des Eigendrehimpulses der Protonen transversal ausgelenkt werden. Als Flipwinkel wird dabei das Ausmaß der Achsenabweichung der Protonen bezeichnet, das abhängig von der Stärke des HF-Impulses ist. Das MRT-Signal kommt dadurch zustande, dass die Protonen nach dieser Auslenkung in ihren ursprünglichen Zustand entlang der Magnetfeldlinien zurückkehren. Dieser Prozess wird als Relaxation bezeichnet und kann in zwei Dimensionen beschrieben werden. Die Längsrelaxationszeit mit der Zeitkonstante T1 (Spin-Gitter-Relaxationszeit) beschreibt die Zunahme der longitudinalen Ausrichtung. Die Querrelaxationszeit mit der Zeitkonstante T2 (Spin-Spin-Relaxationszeit) steht hingegen für die Abnahme der transversalen Auslenkung der Protonen. Die Relaxation nimmt, abhängig vom jeweiligen Gewebe, unterschiedlich viel Zeit in Anspruch. So entstehen für bestimmte Gewebe charakteristische Signalstärken, die in Form von Helligkeitsunterschieden ein Bild ergeben. Die Protonen werden mehrmals hintereinander angeregt (HF-Sequenz). Das Zeitfenster zwischen zwei Anregungen wird als Repetitionszeit (TR) bezeichnet. Eine weitere Kenngröße stellt die Zeit zwischen Anregung und Signalaufnahme, die sogenannte Echozeit (TE), dar (Aine, 1995).

Basierend auf diesen Kenntnissen wurde vor rund 20 Jahren ein Verfahren entwickelt, das Aktivitätsänderungen im Gehirn durch indirekte Messung von Durchblutungsänderungen mit hoher räumlicher Auflösung aufzeigen konnte: die funktionelle MRT.

4.2 fMRT/BOLD-Effekt

Die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) beruht auf dem sog. BOLD-Effekt (BOLD = *Blood Oxygen Level Dependent*). Dieser macht sich zunutze, dass Desoxyhämoglobin paramagnetisch, Oxyhämoglobin hingegen diamagnetisch ist (Ogawa et al., 1990, Pauling & Coryell, 1936). Hämoglobin besitzt demnach, wenn es mit Sauerstoff beladen ist, andere magnetische Eigenschaften als in desoxygenierter Form. In aktiven Hirnarealen wird Sauerstoff verbraucht und die Konzentration des Desoxyhämoglobins steigt an. Gleichzeitig nimmt kompensatorisch der Blutfluss zu, der

für Nachschub an Oxyhämoglobin sorgt. Insgesamt überwiegt dabei der Anstieg des Blutflusses den Sauerstoffverbrauch, sodass die Konzentration an oxygeniertem Hämoglobin überproportional zu der des desoxygenierten Hämoglobins ansteigt. Auf diese Weise entsteht eine relative Abnahme der Konzentration des Desoxyhämoglobins im kapillären und venösen Blut (Ogawa et al., 1990). Durch die damit einhergehende Veränderung der Suszeptibilität (Magnetisierbarkeit) des Blutes, kommt es zu veränderten T2*-Relaxationszeiten in aktiven im Vergleich zu inaktiven Hirnarealen. Die veränderten T2*-Relaxationszeiten werden mit Hilfe einer schnellen EPI-GE-Sequenz („*echo planar imaging*“) detektiert. Dabei kann das gesamte zerebrale Volumen mit einem Echozug innerhalb von 100 ms aufgenommen werden („*single-shot*“).

Als Untersuchungsmethode hat die fMRT jedoch auch Kritikpunkte. Durch fMRT lässt sich neuronale Aktivität nur indirekt messen, denn es werden lediglich Veränderungen im Blutfluss registriert (Logothetis et al., 2001). Der Peak der vaskulären Antwort tritt daher erst ungefähr fünf Sekunden nach neuronaler Aktivität auf (Abbildung 3), wodurch eine zeitliche Verzögerung der detektierbaren BOLD-Antwort entsteht (Rosen et al., 1998).

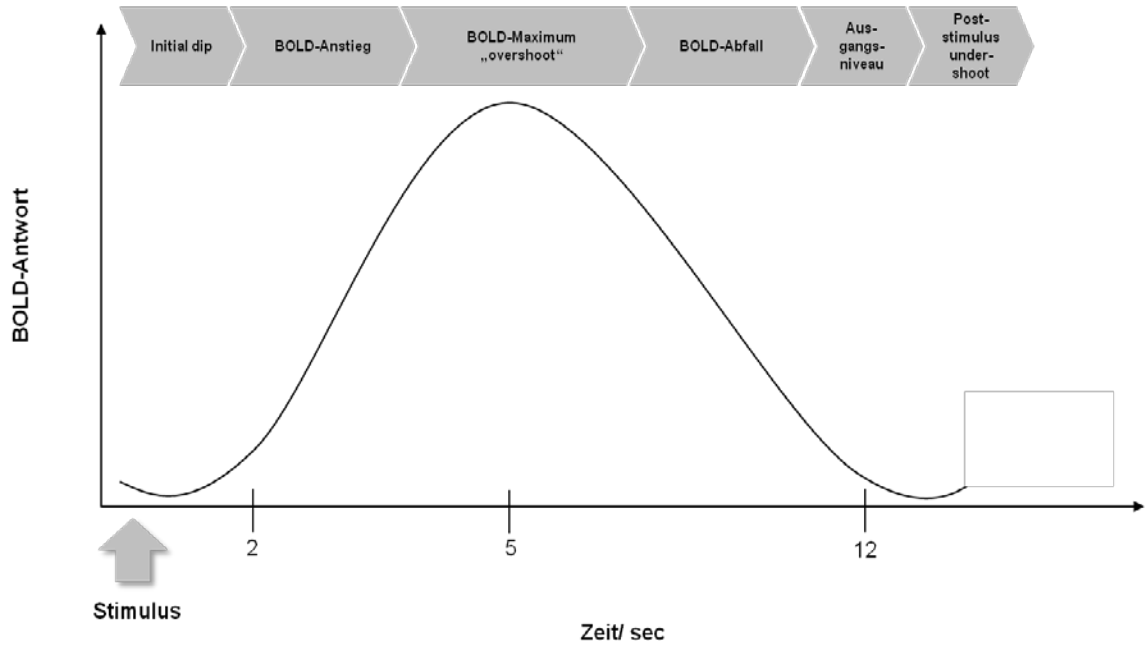


Abb. 3 Zeitlicher Verlauf der BOLD-Antwort (nach Rosen et al., 1998)

In den ersten 2 Sekunden nach einem Stimulus (z.B. Betrachten eines Bildes) kommt es zu einer leichten Abnahme des MR-Signals („initial dip“), ehe nach 4-6 Sekunden das Maximum der BOLD-Antwort erreicht wird („overshoot“). Während des „overshoots“ erfolgt die Detektion des BOLD-Signals. Nach 12 Sekunden kehrt das Signal wieder auf Ausgangsniveau zurück, eventuell begleitet von einem Absinken unter das vorherige Ausgangsniveau („poststimulus undershoot“).

Zusammenfassend handelt es sich bei der fMRT um ein nichtinvasives Bildgebungsverfahren mit hoher räumlicher Auflösung, das gut dazu geeignet ist, relative Signalveränderungen im Zusammenhang mit Hirnaktivität zu detektieren.

5. Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen

Emotionale Gesichter und emblematische Gesten stellen zwei essentielle Mittel emotionaler nonverbaler Kommunikation dar. Es zeigte sich, dass besonders Bereiche des präfrontalen Kortex an der Wahrnehmung und Diskrimination emotionaler Gesten und emblematischer Gesten beteiligt waren. Spiegelneurone könnten dabei die funktionelle Basis des Erkennens und Nachempfindens der gesehenen Emotionen darstellen (Empathie). Mittels fMRT war es das Ziel dieser Studie, die neuroanatomische Basis dieser Prozesse aufzuzeigen.

VI Ziel, Fragestellungen und Hypothesen der Arbeit

1. Ziel

Das Ziel dieser Untersuchung war, mittels fMRT die Hirnregionen zu identifizieren, welche für die Wahrnehmung und Diskrimination emotionaler Gesichtsausdrücke und emblematischer Gesten verantwortlich sind. 16 Probanden bekamen ein Paradigma aus Gesichtern und Gesten zu sehen und hatten die Aufgabe, die Stimuli zu betrachten und zu kategorisieren. Diese Diskrimination sollten sie mittels Knopfdruck anzeigen. In dieser Arbeit lag der Fokus auf den zerebralen Vorgängen in der wahrnehmenden Person (Empfänger).

2. Fragestellungen

Im Hinblick auf das Ziel dieser Studie wurde das Augenmerk auf die Beantwortung der folgenden Fragen gelegt:

(i) *Welche Hirnareale sind bei der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten in besonderem Maße aktiv?*

(ii) *Welche Hirnareale sind bei der Diskrimination, also zum Zeitpunkt der Entscheidung, in besonderem Maße aktiv?*

(iii) *Gibt es Areale, die modalitätenübergreifende Funktionen bei Wahrnehmungs- oder Diskriminationsleistungen haben?*

3. Hypothesen

Basierend auf dem im Theorieteil dargelegten Stand der Forschung wurden folgende Hypothesen in Anlehnung an die Beantwortung der Fragestellung formuliert:

1) *Der mediale präfrontale Kortex (MPFC) ist in entscheidender Form an der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten beteiligt.*

Es konnte gezeigt werden, dass der MPFC sowohl bei der Betrachtung emotionaler Gesichter (Seitz et al., 2008) als auch emotionaler Handbewegungen (Lindenberg et al., 2012) erhöhte Aktivität aufwies. Dies ließ auf eine wichtige Funktion des MPFC bei der Verarbeitung emotionaler Reize schließen (Phan et al., 2002). In Anlehnung an ein zweistufiges Empathiekonzept (Shamay-Tsoory et al., 2009) ist zu erwarten, dass die erhöhte Aktivität im MPFC die Evaluation der gesehenen Stimuli im Sinne einer höheren empathischen Verarbeitung darstellt.

2) *Der inferiore frontale Gyrus (IFG) ist vor allem während der Wahrnehmung der emotionalen Gesichter und emblematischen Gesten aktiv.*

Dem IFG wurde eine herausragende Bedeutung bei der Verarbeitung emotionaler Stimuli zugeschrieben, wobei das Spiegelneuronensystem dafür die neurophysiologische Basis darstellen könnte (Gallese et al., 2004). Vor allem die Betrachtung emotionaler Gesichter führte zu erhöhter zerebralen Aktivität des IFG (Carr et al., 2003), diesem kam aber gleichermaßen eine Bedeutung bei der Verarbeitung emblematischer Gesten zu (Lindenberg et al., 2012). Es ist anzunehmen, dass die Aktivität des IFG die emotional empathische Antwort auf emotionale Gesichter und Gesten widerspiegelt (Shamay-Tsoory & Aharon-Peretz, 2007).

3) *Teile des präfrontalen Kortex spielen eine wichtige Rolle zum Zeitpunkt der Diskrimination der emotionalen Gesichter und emblematischen Gesten.*

Der präfrontale Kortex hat eine herausragende Rolle bei Entscheidungsvorgängen inne. Einerseits wurde postuliert, dass allgemeine Entscheidungs- und Diskriminationsaufgaben den dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) involvieren (Vogels et al., 2002). Eine andere Ansicht ging davon aus, dass diese Diskriminationsprozesse eher im medialen präfrontalen Kortex (MPFC) und dabei insbesondere in dessen ventromedialen Teil (VMPFC) anzusiedeln sind (van den Bos & Guroglu, 2009). Es ist davon auszugehen, dass eine dieser Regionen isoliert oder beide gemeinsam bei der Diskrimination emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten beteiligt sind.

4) *Das Ausmaß an Aktivierung kovariiert in den verschiedenen Regionen des inferiofrontalen und präfrontalen Kortex.*

In bisherigen Studien wurde insbesondere die Verarbeitung emotionaler Gesichter (Fusar-Poli et al., 2009), aber auch die von emblematischen Gesten (Lindenberg et al., 2012) untersucht. Ebenso wurde versucht, globalen Kategorisierungsleistungen ihr zerebrales Korrelat zuzuordnen (Vogels et al., 2002). Insgesamt betrachtet zeigten die Resultate Regionen, vor allem im inferiofrontalen und präfrontalen Kortex, die an der Verarbeitung nonverbaler emotionaler Stimuli beteiligt waren. Es ist anzunehmen, dass diese Regionen dabei nicht unabhängig voneinander arbeiten, sondern in einer Art funktionellem Netzwerk organisiert sind. Hinweise auf ein solches Netzwerk können korrelative Analysen liefern.

VII Material und Methoden

1. Auswahl der Versuchsteilnehmer

1.1 Probanden

In der vorgelegten Arbeit wurden insgesamt 16 gesunde, deutschsprachige Probanden untersucht, acht davon waren weiblich (Tabelle 1). Die Rekrutierung erfolgte mittels Aushang auf dem Gelände des Universitätsklinikums Düsseldorf und im weiteren Bekanntenkreis. Im Vorfeld der Messungen wurden die Probanden über die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und die Teilnahmekriterien telefonisch informiert. Zum Zeitpunkt der Untersuchung lag bei den Versuchsteilnehmern weder eine diagnostizierte neurologisch-psychiatrische Erkrankung vor, noch standen sie unter dem Einfluss zentral wirksamer Medikamente. Außerdem wurden bei allen Probanden Klaustrophobie, großflächige Tätowierungen, nicht entfernbarer metallischer Schmuck oder im Körper befindliche Metalle (z.B. Herzschrittmacher) ausgeschlossen. Alle Probanden hatten einen vollen Visus. Falls Refraktionsfehler vorlagen, wurden diese durch eine MR-taugliche Brille bestmöglich korrigiert. Die Rechtshändigkeit der Teilnehmer wurde mittels des Edinburgh-Fragebogens zur Erfassung der Händigkeit (Oldfield, 1971) evaluiert, wobei alle Probanden als Rechtshänder identifiziert werden konnten und für die Teilnahme geeignet waren (Tabelle 1). Besondere Bedeutung kam der Fähigkeit der Probanden zu, Emotionen eindeutig erkennen und beschreiben zu können. Somit galt es, potentielle Teilnehmer mit Alexithymie von der Studie auszuschließen. Bei der Alexithymie handelt es sich um ein in der Bevölkerung normalverteiltes Persönlichkeitsmerkmal. Betroffene Personen sind dadurch gekennzeichnet, Emotionen nicht klar identifizieren und verarbeiten zu können (Franz et al., 2008). Anhand eines standardisierten Fragebogens (Toronto Alexithymia Scale; TAS-20) (Bagby et al., 1994) wurde diese Fähigkeit als Selbstauskunftsmaß erhoben. Es zeigte sich, dass keiner der 16 Probanden alexithyme Merkmale aufwies (Summenscore < 52, vgl. Tabelle 1). Alle Versuchsteilnehmer bewerteten außerdem im Anschluss an die Messung mit Hilfe eines Fragebogens (Self-Assessment Manikin; SAM) (Bradley & Lang, 1994) die gesehenen Gesichter und Gesten. Die verwendeten Fragebögen werden im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben. Am Tag der Messung wurden alle Probanden erneut über die Vorgehensweise und Risiken bei fMRT-Messungen aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis. Als Aufwandsentschädigung

erhielt jeder Teilnehmer 20 Euro. Das Experiment wurde von der Ethikkomission genehmigt (# 3614; 28.07.2011) und gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

Tabelle 1 Allgemeine Daten der Probanden (n = 16; 8 davon weiblich)

Die Tabelle enthält Alter, Bildungsjahre, Händigkeit nach Oldfield und Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) mit jeweiligen Minimal- und Maximalwerten, Mittelwerten (M) und Standardabweichungen (SD).

	Alter	Bildungsjahre	Händigkeit (Odlfield)	TAS-20
Minimum	18	10	71,43 %	29
Maximum	24	18	100 %	46
M	22,25	16,4	94,70 %	39
SD	1,39	1,8	8,78 %	4,72

M = Mittelwert; n = Probandenanzahl; SD = Standardabweichung; TAS = Toronto Alexithymia Scale.

1.2 Fragebögen

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei Fragebögen verwendet: der Edinburgh-Inventory (Oldfield, 1971) zur Erfassung der Händigkeit, die Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) (Bagby et al., 1994) zur Erfassung von alexithymen Persönlichkeitsmerkmalen und der SAM-Fragebogen (Bradley & Lang, 1994) zur abschließenden Bewertung der gesehenen Stimuli. Die drei Fragebögen sind in Anhang 1 – 3 einzusehen. Alle verwendeten Fragebögen zeichneten sich aufgrund der standardisierten Instruktion, der schriftlichen Ausführung und der standardisierten Auswertung durch eine hohe Objektivität aus.

1.2.1 Edinburgh-Inventory (Oldfield, 1971)

Der Edinburgh-Inventory von Oldfield (1971) diente der Erfassung der Händigkeit von Probanden. In der von uns verwendeten deutschen Version wurde anhand von vierzehn Items evaluiert, mit welcher Hand bestimmte Tätigkeiten durchgeführt werden (z.B. Werfen eines Balles oder Zähneputzen), um Rechts- bzw. Linkshänder zu identifizieren. Die Probanden sollten dies durch Ankreuzen kenntlich machen. Waren sie sich nicht sicher, sollten sie bei der entsprechenden Frage kein Kreuz machen. Die Links-

oder Rechtspräferenz wurde in einer Prozentzahl ausgedrückt, die sich nach folgender Formel berechnete:

$$HQ = \frac{Summe\ R - Summe\ L}{Summe\ R + Summe\ L} * 100$$

1.2.2 Toronto Alexithymia Scale (TAS 20, Bagby et al., 1994)

Mit Hilfe der deutschen Version des TAS 20-Fragebogens von Bagby et al. (1994) wurde das normalverteilte Persönlichkeitsmerkmal Alexithymie (Franz et al., 2008) als Selbstauskunftsmaß evaluiert. Dabei mussten die Probanden 20 Fragen zu ihrem emotionalen Erleben und ihren Gefühlen beantworten. Diese Fragen mussten auf einer fünfstufigen Skala von „trifft überhaupt nicht zu“ über drei Abstufungen hin zu „trifft immer zu“ durch Ankreuzen beantwortet werden (z.B. „Mir ist oft unklar, welche Gefühle ich gerade habe“). Die TAS war als ein trifaktorielles Modell angelegt, sodass die 20 Fragen in drei Kategorien („Faktoren“) eingeteilt werden konnten. Die erste Kategorie umfasste sieben Fragen, die auf Schwierigkeiten bei der Emotionsidentifikation bzw. der Abgrenzung von Gefühlen zu körperlichen Empfindungen abzielten. Weitere fünf Fragen drehten sich um die Fähigkeit, Gefühle gegenüber anderen Personen beschreiben zu können. Der letzte Faktor zielte auf eine äußerlich orientierte Denkweise ab (acht Fragen). Lag der sich ergebene Summenscore unter dem klinischen Grenzwert von < 52 (Franz et al., 2008), konnten hoch alexithyme Persönlichkeitsmerkmale ausgeschlossen werden. Die TAS zeichnete sich durch gute internale Konsistenz, Split-Half- und Test-Retest-Reliabilität aus (Bach et al., 1996). Zusammengefasst handelte es sich bei der Toronto Alexithymia Scale um ein valides Instrument zur Detektion von Alexithymie (Bagby et al., 1994, Parker et al., 2003).

1.2.3 Self-Assessment Manikin (SAM, Bradley & Lang, 1994)

Der SAM-Fragebogen von Bradley & Lang (1994) diente dazu, die gesehenen Stimuli im Anschluss an die Untersuchung zu bewerten. Dabei mussten die Probanden die zehn gesehenen emotionalen Gesichter und 18 Gesten auf einer Ratingskala von 1-9 im Hinblick auf die drei Kategorien Valenz (1 = positiv, 9 = negativ), Arousal (1 = niedrig, 9 = hoch) und Dominanz (1 = gering, 9 = hoch) klassifizieren. Die Kategorien waren auf dem Fragebogen mit leicht verständlichen Piktogrammen veranschaulicht. Es konnte

gezeigt werden, dass die Resultate des SAM-Fragebogens vor allem in den Dimensionen Valenz und Arousal signifikant mit den Ergebnissen der verbalen, längeren Befragung („*the semantic differential scale*“) von Probanden im Hinblick auf das Erleben einer Emotion korrelierten (Bradley & Lang, 1994). Somit stellte der SAM-Fragebogen eine valide, einfach durchführbare und universal anwendbare Methode dar, um das Erleben von Emotionen auf einer subjektiven Ebene zu evaluieren (Bradley & Lang, 1994).

2. Experimentelle Bedingungen

2.1 Paradigma

2.1.1 Visuelle Darbietung

Das Paradigma bestand aus Videosequenzen von Gesichtern und Gesten. Es wurden 16 Gesichtersequenzen gezeigt. Diese zeigten depersonalisierte weibliche und männliche Personen, deren anfänglich neutraler Gesichtsausdruck sich langsam dynamisch hin zu einem emotionalen Gesicht veränderte (Abbildung 4). Am Ende dieser Morphsequenz stellte sich eine der fünf Basisemotionen nach Ekman dar: Angst, Ekel, Trauer, Überraschung oder Wut. Acht Gesichter (vier davon weiblich, vier männlich) zeigten am Ende die Emotion Wut. Die anderen acht zeigten jeweils zweimal Angst, Ekel, Trauer oder Überraschung (je ein männliches und ein weibliches Gesicht). Da Freude im Vergleich zu negativen Emotionen schneller erkannt wird (Leppanen & Hietanen, 2004) und einen Ausreißer in Bezug auf die Schwierigkeit dargestellt hätte, wurde auf Freude als emotionaler Stimulus verzichtet. Die verwendeten Gesichter (Averaged Karolinska Directed Emotional Faces, KDEF, Lundqvist & Litton, 1998) wurden ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke erstellt und zeichneten sich durch ein hohes Maß an Standardisierung aus. So war dieses Datenset im Hinblick auf die Lichtverhältnisse, die Perspektive des Betrachters sowie die Kleidung der dargestellten Personen standardisiert. Diese umfangreiche Standardisierung war bei dem in der Literatur häufiger verwendeten Datenset von Ekman & Friesen (1976) nicht gegeben. Deshalb wurde für die vorliegende Untersuchung nicht auf dieses Stimulusmaterial zurückgegriffen. Jede Gesichtersequenz setzte sich aus 30 einzelnen Bildern zusammen, die jeweils für 750 ms dargeboten wurden. So entstand für den Betrachter der Eindruck einer kontinuierlichen Veränderung. Zwischen den Gesichtersequenzen wurden Graubilder gezeigt. Das Zusammenfügen der Gesichter zu einer Sequenz entstammte

dabei dem Test zur Wahrnehmungsfähigkeit emotionaler Gesichter (Test of Perceptual Competence of Facial Affect Recognition, PCFAE, Ingenhag, Schäfer & Franz, 2007, unveröffentlicht).

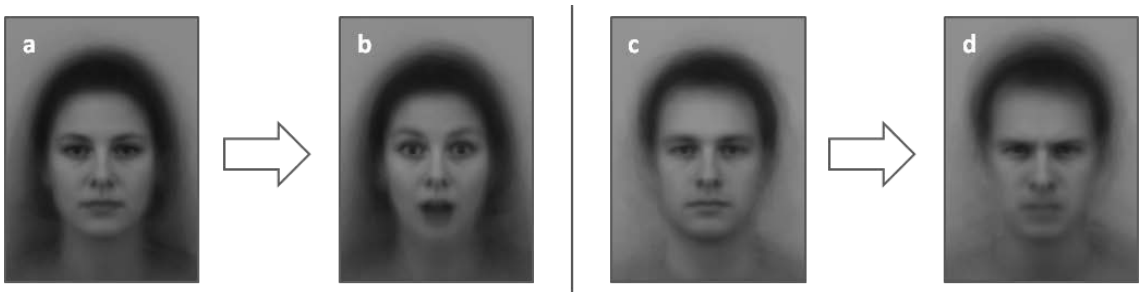


Abb. 4 Beginn und Ende zweier Gesichtersequenzen

Das weibliche und männliche Gesicht zu Beginn (a/c) der Morphsequenz und am Ende (b/d). Die Sequenz begann mit einem neutralen Gesicht (a/c), das sich fortlaufend veränderte, bis sich zum Beispiel am Ende die Emotionen Überraschung (b) oder Wut (d) zeigten. In anderen Fällen zeigten sich Angst, Trauer und Ekel als Endemotionen. Copyright: Karolinska Institutet, Stockholm, Schweden (Lundqvist & Litton, 1998).

Die 18 emblematischen Gesten wurden von einer in schwarz gekleideten, männlichen Person ausgeführt, von der das Gesicht nicht zu sehen war. Auf diese Weise konnten konfundierende Einflüsse der Gesichtswahrnehmung ausgeschlossen werden. Zu Beginn jeder Geste blieb der rechte Arm in neutraler Stellung vor dem Bauch stehen. Anschließend wurde die Geste ausgeführt. Darauffolgend zeigte die Person die Geste in ihrer Endausprägung, ehe sie in ihrer Endposition verharrte („*Freeze*“). In Abbildung 5 ist der Ablauf anhand eines Beispiels veranschaulicht.

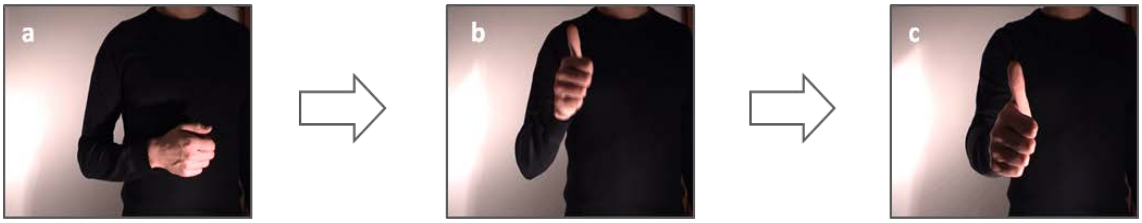


Abb. 5 Videosequenz einer emblematischen Geste

Die Geste begann in neutraler Stellung (a), wobei der Arm in abgewinkelter Position vor dem Körper lag. Daraufhin wurde die Geste ausgeführt (b), bevor die Person die Geste darstellte (c). In dieser Position verharrte die Geste („Freeze").

Im Vorfeld zeigte ein Test an 56 Probanden, dass alle Gesten klar in ihrer Bedeutung und eindeutig erkennbar waren (Lindenberg et al., 2012).

2.1.2 Aufbau des Paradigmas

Den Probanden wurden vier Blöcke stummer Videosequenzen aus Gesichtern und Gesten dargeboten. Diese vier Blöcke wurden in Form eines „*Mixed-Designs"* in einem Paradigma vereint. Dabei handelte es sich um eine Mischung aus Block- und ereignisbezogenem („*event-related*") Design. Zum Einen waren die Stimuli in vier Blöcken angeordnet: einem Gesichterblock (Stimulusblock), einem Gesichter-Kontrollblock (Kontrollblock), einem Gestenblock (Stimulusblock) und einem Gesten-Kontrollblock (Kontrollblock). Zum Anderen fand sich innerhalb der Blöcke ein ereignisbezogenes Design, da die zerebrale Aktivität zu bestimmten Zeitpunkten innerhalb der Blöcke (z.B. Tastendruck) miteinander verglichen wurde. Das Mixed-Design wurde gewählt, da so die Instruktionen für die Probanden einfach gehalten und potentielle Fehler der Probanden aufgrund von komplizierten Instruktionen vermieden wurden. Die vier Blöcke wurden den Probanden in einer pseudorandomisierten Reihenfolge dargeboten. Innerhalb der Blöcke wurde voll randomisiert.

Das Stimulusmaterial (16 Gesichtssequenzen bzw. 18 Gestensequenzen) war im jeweiligen Stimulus- und Kontrollblock identisch. Die Instruktion (8 s zu Beginn jedes Blocks) wurde variiert.

Bedingung: emotionale Gesichtsausdrücke

(i) *Instruktion für den Stimulusblock Gesichter*

Diskrimination der emotionalen Gesichtsausdrücke durch Drücken der linken Taste, wenn Wut erkannt wurde (*Target*) bzw. der rechten Taste, wenn eine andere Emotion als Wut erkannt wurde (*Distraktor*).

(ii) *Instruktion für den Kontrollblock Gesichter*

Alternierendes Drücken der beiden Antworttasten ungeachtet der dargebotenen Valenz der Gesichter, beginnend mit der linken Taste.

Block (i) stellte die experimentelle Bedingung dar. Bei (ii) handelte es sich um die motorische Kontrollbedingung. Die Morphsequenzen wurden für 22,5 s dargeboten, gefolgt von Graubildern der Sequenzen für 9,5 s. Dabei handelte es sich um in Stücke geschnittene Gesichter („*scrambled faces")* die so zusammengefügt wurden, dass ein Erkennen unmöglich war. Dies diente dazu, die BOLD-Antwort auf Ausgangsniveau („*baseline*") zurückkehren zu lassen und damit eine Ruhebedingung für die Auswertung zu schaffen. Außerdem gab dies den Probanden Zeit, das vorherige Bild zu verarbeiten und sich auf das neue Bild vorzubereiten. Es war stets nur ein Tastendruck pro Sequenz erlaubt. Dieser musste erfolgen, bevor das Graubild sichtbar war. Die Gesamtdauer eines Gesichterblocks ergab sich aus der Dauer einer Sequenz (22,5 s) multipliziert mit der Anzahl (16). Dazu addiert wurde die Gesamtdauer der Graubilder (16 x 9,5 s = 152 s) und die Instruktion, die zu Beginn jedes Blocks gezeigt wurde (8 s).

Gesamtdauer Gesichter = 22,5 s x 16 + 16 x 9,5 s + 8 s = **512 s**

Bedingung: emblematische Gesten

(i) *Instruktion für den Stimulusblock Gesten*

Diskrimination der emblematischen Gesten durch Drücken der linken Taste, wenn es sich um eine positive Geste handelte (*Target*) bzw. der rechten Taste, wenn es sich um eine negative Geste handelte (*Distraktor*).

(ii) *Instruktion für den Kontrollblock Gesten*

Alternierendes Drücken der beiden Antworttasten ungeachtet der dargebotenen Valenz der Gesten, beginnend mit der linken Taste.

Bedingung (i) stellte die experimentelle Bedingung dar, bei (ii) handelte es sich um die motorische Kontrollbedingung. Es war nur ein Tastendruck pro Sequenz erlaubt. Dieser musste erfolgen, bevor eine neue Sequenz begann. Jede der 18 Videosequenzen emblematischer Gesten dauerte 13 Sekunden (3 s neutrale Geste, 3 s Entfaltung, 7 s „*Freeze"*). Die Gesamtdauer eines Gestenblocks ergab sich damit aus der Gesamtdauer der Gestensequenzen (18 x 13 s) und der Instruktion (8 s):

Gesamtdauer Gesten = 18 x 13 s + 8 s = **242 s**

Abbildung 6 fasst den Ablauf der Gesichter- und Gestensequenzen zusammen.

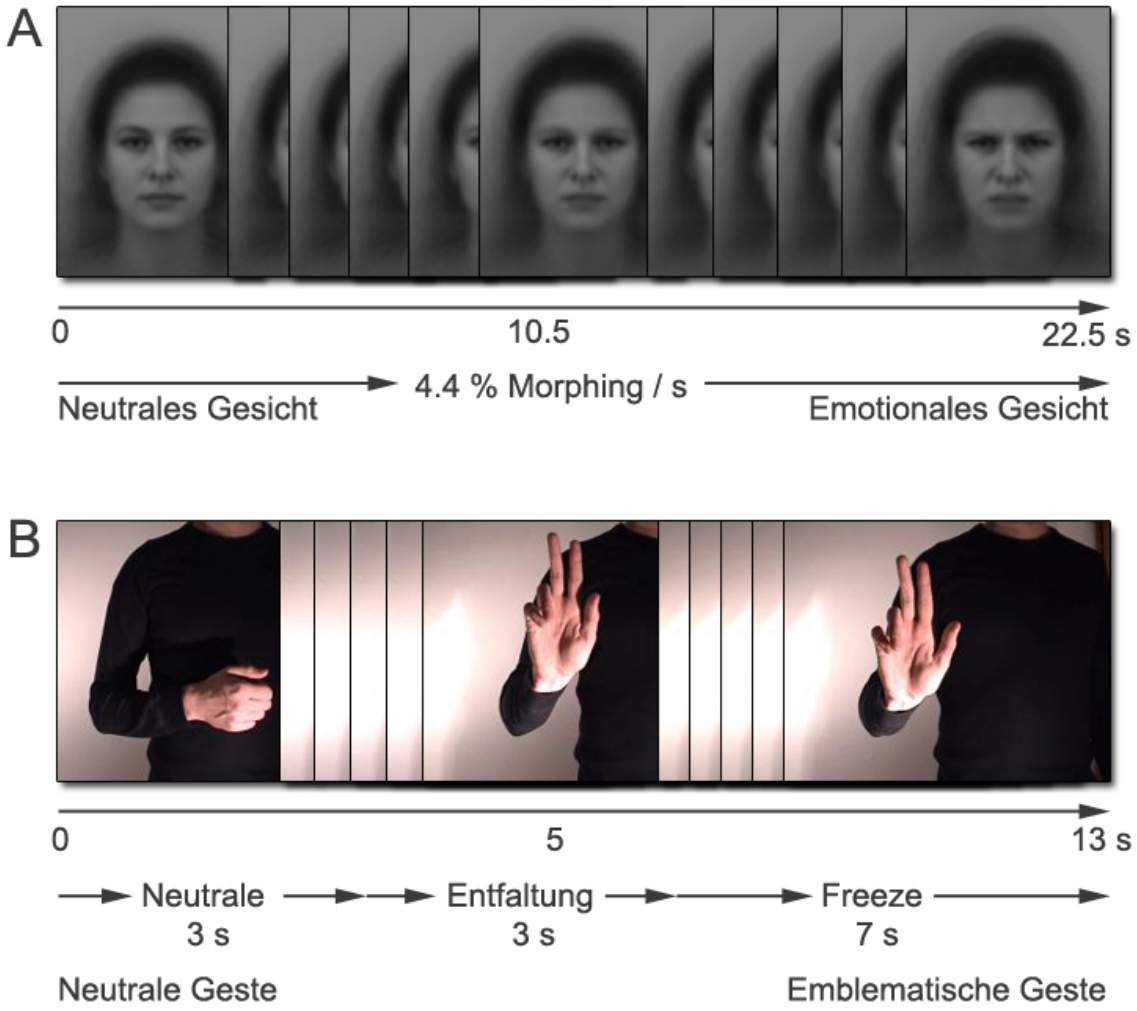


Abb. 6 Ablauf der Gesichter- und Gestensequenzen

A) Gesichter: In der 22,5 s dauernden Sequenz veränderte sich das Gesicht kontinuierlich beginnend von neutral bis zur vollausgeprägten Emotion (hier Wut dargestellt). Pro Sekunde lief dabei 4.4 % der gesamten Morphsequenz ab. Die besondere Bedeutung des Zeitpunktes 10,5 s ist in 2.4 Auswertung der fMRT-Daten beschrieben.

B) Gesten: Zu Beginn jeder Sequenz lag der Arm für drei Sekunden in neutraler Stellung vor dem Körper (Neutrale, 3 s). Danach wurde die Geste drei Sekunden lang ausgeführt (Entfaltung, 3 s), bevor sie die letzten sieben Sekunden so verharrte („Freeze"). Die besondere Bedeutung des Zeitpunktes 5 s ist in 2.4 Auswertung der fMRT-Daten beschrieben.

Vor der eigentlichen Messung wurden die Probanden mit einer Kurzform des Paradigmas auf einem Laptop außerhalb des MR-Scanners trainiert. Dabei wurde sichergestellt, dass die Instruktion korrekt verstanden und umgesetzt wurde. Darüber hinaus wurde auf einem Kontrollmonitor während der fMRT-Messung überwacht, ob die Probanden den Instruktionen analog auch während der Messung folgen konnten.

2.2 Versuchsaufbau

Das Paradigma wurde über einen Projektor (NEC, Modell: MT 150) aus dem Kontrollraum auf eine Leinwand in den 30 m² großen Messraum („Magnetresonanztomographie“, Abbildung 7) projiziert. Die Leinwand befand sich in etwa zweieinhalb Meter Entfernung vom Kopf des im MRT liegenden Probanden. Durch eine an der Kopfspule angebrachte Spiegelkonstruktion wurde der Blick der liegenden Probanden nach vorne auf die Leinwand gelenkt. Die einwandfreie Sicht der Probanden wurde vor jeder Messung überprüft. Das Paradigma, erstellt mit der Software e-Prime Professional (Psychology Software Tools, Inc., Sharpsburg, USA), wurde mit Hilfe eines Laptops im Kontrollraum gesteuert. Dieser Steuerungsrechner wurde zum einen mit dem Projektor und zum anderen über einen Parallelport mit einer Monitoring-Station (Betriebssystem Windows 2000, Microsoft) verbunden. Auf der Monitoring-Station befand sich die Aufzeichnungssoftware ED-Win (mh GmbH, Erftstadt). Zwischengeschaltet waren zwei über BNC-Kabel verbundene Triggerboxen (I und II), die die zeitlich korrekte Darstellung relevanter Informationen über den Ablauf der Messung und weiterer einlaufender Signale auf der Monitoring-Station sicherstellten. Bei Bedingungswechseln im Paradigma (z.B. Wechsel der Blöcke) sandte e-Prime Signale aus, die im Programm ED-Win aufgezeichnet und in Form von Triggersignalen visualisiert wurden. Weiteren Input erhielt ED-Win in Form eines TTL-Pulses über einen Lichtleiter vom MRT (Kleiser et al., 2005). Dieser emittierte im vier Sekunden Rhythmus pro Scan einen Scanner-Trigger, sodass die Zuordnung von Scans zu Bedingungen möglich wurde. Auch dieser Impuls erreichte über einen Trigger Konverter (Siemens) und einen nachgeschalteten Pulsstretcher die oben erwähnte Triggerbox I und damit die Monitoring-Station. Ein auf dem Bauch der Probanden positionierter Taster ermöglichte den Probanden, Inhalt und Zeitpunkt der Reizdiskrimination anzuzeigen. Der Taster war über eine kleine Öffnung zwischen MRT- und Kontrollraum mit Lichtleiterkabeln und einem zwischengeschalteten optoelektrischen Wandler (TTL-LWL-Wandler, Vorlaufer GmbH, Göttingen, V3) sowie einer BNC-Anschlussbox verbunden. Diese stellte über die genannte Triggerbox I eine Verbindung zur Monitoring-Station her.

Somit liefen in ED-Win auf der Monitoring-Station folgende Signale zusammen:

- Scanner-Trigger auf Kanal 0
- Trigger bei Bedingungswechsel (gesandt von e-Prime) auf Kanälen 1-5
- Trigger des Tasters: Kanal 6 für Tastendruck links, Kanal 7 für rechts

Diese von ED-Win aufgezeichneten Signale wurden nach jeder Messung für die spätere Erstellung des Stimulationsprotokolls gespeichert. Dabei handelte es sich um eine Datei, die festgelegte Zeitpunkte (z.B. Zeitpunkt des Tasterdrucks) innerhalb des Paradigmas enthielt, welche für die anschließende Auswertung relevant waren. Um die Zuordnung von Zeitpunkten zu Aktivierungsmustern zu erreichen, war während der Datenauswertung die spätere Verlinkung des Stimulationsprotokolls mit den zuvor verarbeiteten funktionellen Bilddaten erforderlich.

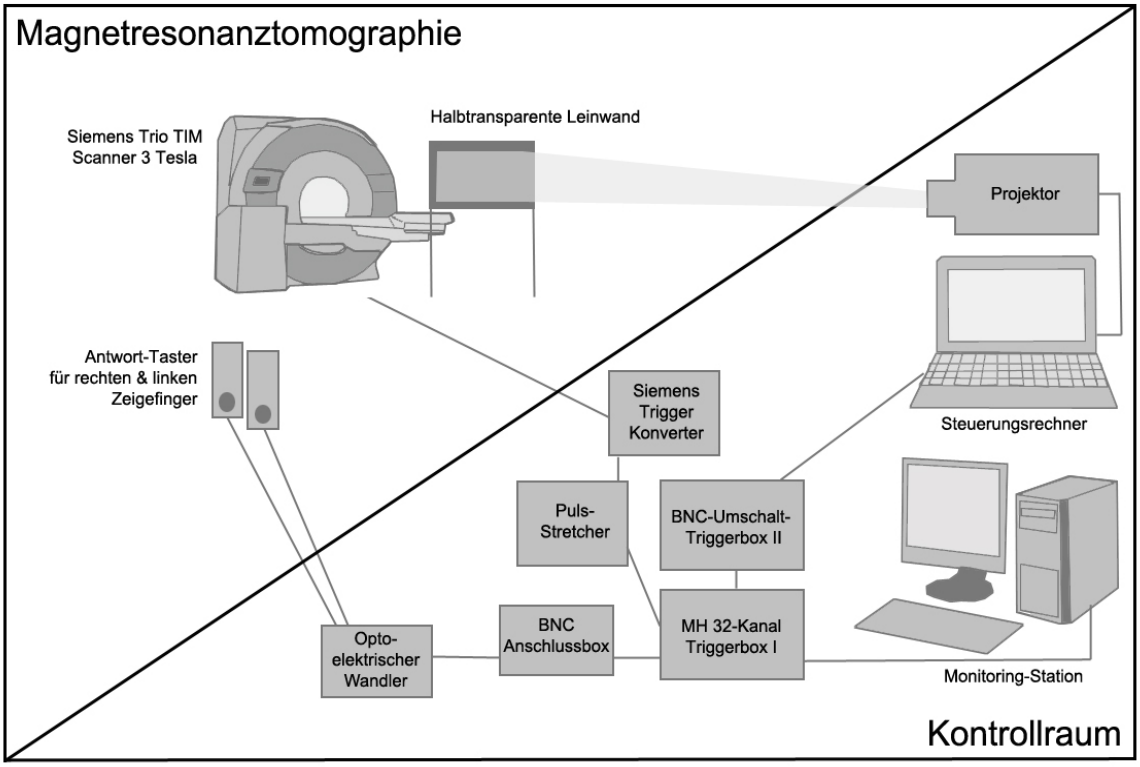


Abb. 7 Versuchsaufbau

Im Programm ED-Win der Monitoring-Station liefen die Signale zusammen. E-Prime sandte vom Steuerungsrechner (hier lief das Paradigma) aus Trigger bei Bedingungswechsel (z.B. Wechsel der Blöcke) an die Monitoring-Station. Die Signale des Tasters liefen über zwei Lichtleiter in den Kontrollraum und dann ebenfalls in selbige Station. Auch der TTL-Puls des MRTs gelangte über einen Lichtleiter in die Monitoring-Station.

2.3 Funktionelle Magnetresonanztomographie

Die Messungen fanden im MRT 2 des Instituts für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf statt. Durch eine Glasscheibe im Kontrollraum war der Magnetresonanztomgraph (MRT) einsehbar. Bei dem Magnetresonanztomographen handelte es sich um das Modell Trio TIM MRI (Siemens, Erlangen) mit einer Feldstärke von 3 Tesla. Zu Beginn jeder Messung wurden Übersichtsaufnahmen des Gehirns gemacht, um die korrekte Lage des Probanden sicherzustellen und diese gegebenenfalls zu korrigieren. Anschließend begannen die funktionellen Messungen (ca. 25 Minuten), während derer das Paradigma dargeboten wurde, gefolgt von der anatomische 3D-Messung (drei Minuten). Die funktionellen Messungen wurden mit einer EPI-GE-Sequenz (TR = 4000 ms, TE = 40 ms, Flipwinkel = 90°) aufgenommen und umfassten 44 parallel zur Interkommissurallinie angeordnete transversale Schichten. Die Schichtdicke betrug 3 mm, die Auflösung innerhalb der Schichten 1,5 x 1,5 mm und der Zwischenraum zwischen zwei Schichten 0 mm. Es wurden jeweils 415 funktionelle Bildvolumen erstellt, wobei die ersten drei Sättigungsbilder verworfen und nicht in die Auswertung mit einbezogen wurden. Die 3D-T1-gewichtete anatomische Messung wurde mit den folgenden Messparametern durchgeführt: TR = 2300 ms, TE = 3 ms, Flipwinkel = 90°. Dabei wurden 192 sagittale Schichten bei einer Auflösung von 1 x 1 mm aufgenommen. Den Probanden wurden per Sprechanlage die stattfindenden Schritte mitgeteilt. Sie hatten während der gesamten Messung die Möglichkeit, sich durch eine an ihrer Seite platzierte Alarmklingel bemerkbar zu machen. Per Rücksprechanlage konnten sie mit den Personen im Kontrollraum Kontakt aufnehmen.

2.4 Auswertung der fMRT-Daten

Nach jeder Messung wurden die Probandendaten vom MRT-Rechner auf einen separaten PC transferiert. Dort fand die Auswertung mit Hilfe des Softwarepakets Brainvoyager QX (BrainInnovation, Maastricht, Niederlande) statt. Um eine exakte Zuordnung von Aktivierungen zu anatomischen Strukturen zu erhalten, mussten die 3D- und die funktionellen Daten vorverarbeitet werden. Zunächst wurden die anatomischen Datensätze der Probanden normiert. Dabei wurden die anteriore und posteriore Kommissur markiert und so eine Verbindungslinie zwischen diesen zwei Punkten („*AC-PC-plane*“) konstruiert. Diese diente dazu, die Ausrichtung der Gehirne im Raum zu

standardisieren. Um anschließend die maximale Größenausdehnung der Gehirne festzulegen, wurden die superior, inferior, anterior, posterior sowie rechts und links am äußersten gelegenen Punkte markiert, die gerade noch Hirngewebe enthielten. Diese vorbereitenden Schritte ermöglichten es, die Gehirne in den allgemeingültigen, standardisierten Talairachraum zu übertragen. Dies war die Voraussetzung dafür, die unterschiedlich großen Gehirne der Probanden später zu einem Einheitsgehirn zusammenzufassen. Dadurch wurde es möglich, einen Voxel-weisen statistischen Vergleich zwischen bestimmten Bedingungen durchzuführen. In einem zweiten Schritt wurden die funktionellen Daten für die Datenauswertung vorbereitet. Diese Vorverarbeitung umfasste eine Schicht-Scanzeit-Korrektur („*slice time scan correction*"), die räumliche Glättung (FWHM = 8 mm Gaussscher Filter) sowie zeitliche Filterung („*High-Pass-Filter" = 2*) und die Bewegungskorrektur von kleinen, unwillkürlichen Bewegungen der Probanden im MRT. Im Anschluss wurden die anatomischen und funktionellen Bilder verknüpft. Durch diese Koregistrierung wurden anatomische sowie funktionelle Daten vereint und eine Zuordnung von Voxel (Aktivierungseinheiten) zu Talairach-Koordinaten und somit Hirnregionen möglich. Die Berechnung des Allgemeinen Linearen Modells (GLM) im Sinne einer multiplen Regressionsanalyse schloss sich an und vereinte die Bilddaten mit dem Stimulationsprotokoll. Dieses enthielt die Daten aus ED-WIN (z.B. Zeitpunkte der Bedingungswechsel oder Tastendrücke der Probanden). Auf Basis des GLMs war es möglich, die Aktivierungen zu spezifischen Zeitpunkten im Sinne eines Voxel-weisen statistischen Tests post-hoc miteinander zu vergleichen. Die Datenanalyse wurde mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von $p < 0{,}005$ (unkorrigiert) durchgeführt. Um falsch negative Resultate zu vermeiden, wurden für definierte Bedingungen auch p-Werte von $< 0{,}03$ bis $< 0{,}04$ (unkorrigiert) getestet. Diese Signifikanzen bezogen sich auf ein Voxel in einem Voxel-Cluster von mindestens 15 Voxel. Ab dieser Clustergröße (Cluster-Schwellenwert) wurden Aktivierungen als signifikant betrachtet. BOLD-Veränderungen wurden in einem ereignisbezogenen („*event-related*") Modell berechnet. Dabei wurden die individuellen Kontraste in einer „*random effects group analysis*" integriert und zufällig auftretende Aktivierungen eliminiert. Den sich ergebenden Talairach-Koordinaten der aktivierten Hirnareale wurden mit Hilfe des Talairach-Daemons (Lancaster et al., 1997, Lancaster et al., 2000) und durch manuelles Auslesen die anatomischen Hirnregionen zugeordnet.

Theoriegeleitet wurden im Rahmen der Datenanalyse spezifische Ereignisse (Events) als Zeitpunkte definiert, zu denen sich die Aktivierungen sinnvoll vergleichen ließen. Für die Gesichter wurde der Zeitpunkt der *Wahrnehmung* 10,5 Sekunden nach Beginn der Morphsequenz (vgl. Abbildung 6) definiert. Zu diesem Zeitpunkt war einerseits schon eine Veränderung des Gesichts erkennbar, andererseits noch keine eindeutige Identifikation möglich. Damit wurde ein Zeitpunkt getroffen, zu dem eine vermutete empathische Bewertung erfasst werden konnte. Analog zu den Gesichtern wurde der Zeitpunkt der *Wahrnehmung* der Gesten in Übereinstimmung mit Lindenberg et al. (2012) auf 2 Sekunden nach Beginn der Entfaltung der Geste festgelegt (dies entsprach der 5. Sekunde nach Beginn des Gestenmorphs, vgl. Abbildung 6). Sowohl für Gesichter als auch für Gesten wurde der Tastendruck, also die Entscheidung für eine Emotion bzw. für eine positive oder negative Geste, als der Zeitpunkt der *Diskrimination* definiert. Dieser musste erfolgen, bevor das Graubild (Gesichter) sichtbar war bzw. bevor eine neue Geste begann. Als Ruhebedingung („*baseline*“) wurde das Zeitintervall zwischen der 3. und 6. Sekunde der Graubilder definiert, die zwischen den Gesichtersequenzen gezeigt wurden. Es wurde dieser Zeitpunkt gewählt, da während der Darbietungszeit der Graubilder das erwünschte Abklingen der BOLD-Antwort erreicht werden konnte und so eine Ruhebedingung geschaffen wurde.

VIII Ergebnisse

1. Statistische Vorgehensweise

Für die statistischen Analysen wurde die Software SPSS für Windows (Version 20.0, IBM) verwendet. Die erhobenen Daten wurden in einem ersten Schritt mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung getestet. Als Konsequenz dieses Tests wurde entschieden, ob parametrische oder nicht parametrische statistische Verfahren eingesetzt wurden. Als Maße der zentralen Tendenz wurden Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) angegeben. Vergleiche von zwei Aktivierungsparametern (Beta) zu unterschiedlichen Zeitpunkten wurden als abhängige Messwerte aufgefasst und mittels gepaarter t-Tests berechnet. Zum Vergleich unabhängiger Messungen kamen unabhängige t-Tests zur Anwendung. Korrelationskoeffizienten wurden mittels Spearman-Rho berechnet. Es wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von alpha = 0,05 angenommen, wobei im Falle multipler Einzelvergleiche eine Bonferroni-Adjustierung erfolgte. Darauf wurde an entsprechenden Stellen im Text explizit verwiesen.

2. Verhaltensdaten

Die Analyse des Edinburgh-Fragebogens zur Erfassung der Händigkeit von Oldfield (1971) zeigte die Rechtspräferenz der 16 Probanden (M = 94,7 %, SD = 8,78 %, Range: 71,43 % - 100 %). Die Ergebnisse des TAS-20 Fragebogens (Bagby et al., 1994) zeigten, dass bei keinem der 16 Probanden alexithyme Persönlichkeitsmerkmale (Summenscore < 52) vorhanden waren (M = 39, SD = 4,72, Range: 29 - 46). Die Ergebnisse der beiden beschriebenen Fragebögen sind auch in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Auswertung des Self Assessment Manikin (SAM) (Bradley & Lang, 1994) ergab eine negative Valenz (M = 6,6, SD = 0,5) für die emotionalen Gesichter (Angst, Ekel, Trauer, Überraschung und Wut). Bei den Gesten lag diese bei 5,7 (SD = 0,4). Das mittlere Arousal (syn. Erregung) der Probanden bei Betrachtung der emotionalen Gesichtsausdrücke lag bei 4,4 (SD = 0,9) bzw. bei 4,8 (SD = 1,1) für die Gesten. Die emotionalen Gesichter wurden weiterhin auf der Skala „Dominanz“ mit 5,7 (SD = 1,1) bewertet, die Gesten mit 5,9 (SD = 0,9). Interferenzstatistische Überprüfungen mittels t-

Test ergaben keine signifikanten Unterschiede bezüglich des empfundenen Arousals und der empfundenen Dominanz zwischen Gesichtsausdrücken und Gesten (Arousal: T = -1,8, df = 15, p = 0,09; Dominanz: T = - 0,9, df = 15, p = 0,39). Die Ergebnisse des SAM-Fragebogens wurden nach Testung auf Normalverteilung parametrisch ausgewertet. Diese Auswertungsform wurde gewählt, da der SAM-Fragebogen als Ratingskala aus dem psychiatrischen/ psychologischen Anwendungsgebiet ein intervallskaliertes Messinstrument darstellte. Für diese Test- und Fragebogenskalen ist es üblich, sie als metrisch aufzufassen und somit parametrisch auszuwerten (Bortz & Lienert, 2008).

Weiterhin wurden im Mittel 68 % (SD = 14,8) der emotionalen Gesichter korrekt identifiziert, die Trefferquote für die emblematischen Gesten lag bei 91 % (SD = 5,6). Interessant war dabei ein separater Blick auf Männer und Frauen hinsichtlich potentieller Geschlechterunterschiede. Die Gesichter wurden von den Frauen im Mittel zu 70 % (SD = 16,7) korrekt identifiziert, von den Männern zu 66 % (SD = 11,2). Bei den Gesten lag die Trefferquote der Frauen bei 90 % (SD = 6,7) bzw. bei 91 % (SD = 3,9) bei den Männern. Deskriptiv ergaben sich somit weder bei den Gesichtern noch bei den Gesten relevante Geschlechterunterschiede. Im Mittel erfolgte die Diskrimination, gemessen über die Reaktionszeit des Tastendrucks, bei den Gesichtern (Morphdauer 22,5 s) nach 15,6 s (SD = 2,3) und bei den Gesten (Morphdauer 13 s) nach 9,2 s (SD = 0,5). Das bedeutet, dass eine Diskrimination der Gesichtsausdrücke erfolgte, wenn im Mittel 69 % der Morphsequenz präsentiert worden waren. Die Gesten wurden klassifiziert, wenn im Mittel 70 % der Gestensequenz abgelaufen waren.

3. Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)

Im Rahmen der fMRT-Datenanalyse wurden in Abhängigkeit vom experimentellen Design inhaltsgeleitet Prädiktoren definiert, die über das a priori erstellte Stimulationsprotokoll die Grundlage zur statistischen Berechnung des Allgemeinen Linearen Modells (GLM) bildeten. Die Prädiktoren entsprachen wie in VII. Material und Methoden (2.4 Auswertung der fMRT-Daten) erläutert hypothesengeleiteten Zeitpunkten, zu denen die Aktivierungsmuster im Gehirn betrachtet wurden (ereignisbezogene Datenanalyse). Die folgenden Zeitpunkte wurden gewählt:

(i) WAHRNEHMUNG

Im Hinblick auf die *emotionalen Gesichtsausdrücke* bezog sich *Wahrnehmung* auf den Zeitpunkt, zu dem 10,5 s (dies entsprach 47 %) der Morphsequenz dargeboten wurden.

Im Hinblick auf die *emblematischen Gesten* bezog sich *Wahrnehmung* auf den Zeitpunkt, zu dem 5 s bzw. 38 % der Gestensequenz dargeboten wurden.

(ii) DISKRIMINATION

Im Hinblick auf die *emotionalen Gesichtsausdrücke* bezog sich *Diskrimination* auf den Zeitpunkt, zu dem der Proband durch Drücken einer der Antworttasten seine Entscheidung anzeigte.

Im Hinblick auf die *emblematischen Gesten* bezog sich *Diskrimination* auf den Zeitpunkt, zu dem der Proband durch Drücken einer der Antworttasten seine Entscheidung anzeigte.

Mittels dieser Zeitpunkte wurden im Anschluss an die Berechnung des übergeordneten GLMs spezifische Kontraste berechnet, für die jeweils ein Schwellenwert definiert wurde. Dieser legte fest, ab wann ein Voxel als statistisch signifikant aktiviert angesehen wurde. Der Schwellenwert wurde möglichst konservativ gewählt, um dem Auftreten falsch-positiv aktivierter Voxel vorzubeugen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Schwellenwert auf $p < 0{,}005$ (unkorrigiert) festgelegt. In vordefinierten Kontrasten kamen auch weniger strenge Schwellenwerte zur Anwendung, da die dort zu erwartenden Effekte sehr klein waren. Neben dem Schwellenwert zur Beurteilung der statistischen Signifikanz wurde darüber hinaus ein Cluster-Schwellenwert festgelegt. Dieser gab an, wie viele Voxel ein Aktivierungscluster mindestens enthalten musste, um ein signifikant aktiviertes Cluster anzuzeigen. Auf Basis dieser genannten Restriktionen wurden die im Folgenden dargestellten Kontraste berechnet.

3.1 Aktivierungsmuster zum Zeitpunkt WAHRNEHMUNG

Zur Berechnung des Haupteffektes *Wahrnehmung* wurde die gemeinsame Aktivierung von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten in Relation zu den bedeutungslosen Graubildern (Ruhe) betrachtet ($p < 0{,}005$, unkorrigiert; Tabelle 2). Dabei zeigte sich ein einziges Aktivierungsareal im rechten inferioren temporalen Gyrus (ITG; Abbildung 8).

Tabelle 2 Haupteffekt der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten

Das Aktivierungscluster im ITG mit Brodmann-Areal (BA), Größe des Aktivierungsclusters, t-Wert und die Koordinaten der Aktivierungspeaks. Die Koordinaten beziehen sich wie in Tabelle 3 und 4 auf den stereotaktischen Raum („Tailarachraum") von Talairach & Tourneaux (1988).

Region	BA	Größe (Voxel)	t	Koordinaten der Aktivierungspeaks		
				x	y	z
R ITG*	19	443	5,63	42	-67	-20

** p < 0,005, unkorrigiert; Cluster-Schwellenwert > 15 Voxel; BA = Brodmann Areal; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; R = rechts; t = t-Wert.*

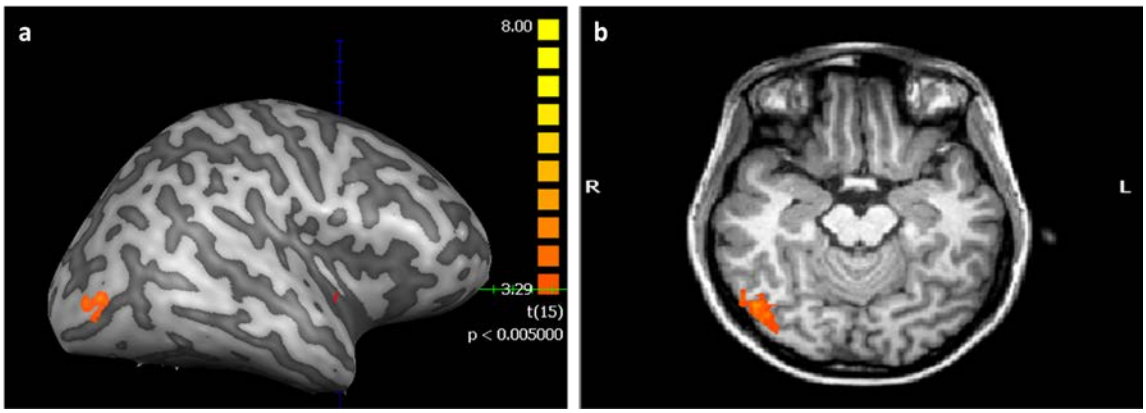


Abb. 8 Haupteffekt der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten

Der Haupteffekt der Wahrnehmung von Gesichtern und Gesten (a: Lateralansicht auf die rechte Hemisphäre, b: Transversalschnitt auf Höhe Mesenzephalon) zeigte eine Aktivierung im rechten inferioren temporalen Gyrus (ITG) (p < 0,005, unkorrigiert; Cluster-Schwellenwert > 15 Voxel).

Neben dem Haupteffekt wurden weitere spezifische Kontraste berechnet, bei denen die Wahrnehmung von Gesichtern und Gesten getrennt voneinander untersucht wurde (Tabelle 3). Beim Vergleich emotionaler Gesichter mit der Ruhebedingung ($p < 0{,}005$, unkorrigiert) zeigte sich eine Aktivierung im rechten inferioren temporalen Gyrus (ITG)

sowie im rechten inferioren frontalen Gyrus (IFG) im Übergangsbereich zur anterioren Insula. Des Weiteren wies der mediale frontale Gyrus (MFG) erhöhte Aktivität auf. Dieser Bereich entsprach der präsupplementärmotorischen Area (prä-SMA) als Teil des dorsalen medialen frontalen Kortex (DMFC). Ebenso zeigte sich eine Aktivitätszunahme im präzentralen Gyrus der rechten Hemisphäre. Die Wahrnehmung von emblematischen Gesten verglichen mit der Ruhebedingung ($p < 0,03$, unkorrigiert) führte zu einer isolierten Aktivitätssteigerung im rechten inferioren temporalen Gyrus (ITG). Der Vergleich des Wahrnehmungszeitpunktes im Stimulusblock der Gesichter mit demselben Zeitpunkt im Kontrollblock der Gesichter ($p < 0,005$, unkorrigiert) führte zu einer alleinigen Aktivierung des rechten MFG (prä-SMA). Der analog dazu berechnete Kontrast im Hinblick auf die emblematischen Gesten (Stimulus- vs. Kontrollblock) ergab keine signifikanten Aktivierungen.

Tabelle 3 Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten

*Die Kontraste der Wahrnehmung von Gesichtern und Gesten sind **fett** dargestellt. Darunter sind die zugehörigen aktivierten Regionen gelistet. Weiterhin finden sich zu jedem Aktivierungscluster Brodmann-Areal (BA), Größe, t-Wert und die Koordinaten der Aktivierungspeaks.*

Region	BA	Größe (Voxel)	t	Koordinaten der Aktivierungspeaks		
				x	y	z
Emotionale Gesichter vs. Ruhe*						
R ITG	19	925	5,53	42	-79	-5
R IFG/anteriore Insula	44/13	637	7,43	30	14	13
R/L MFG (prä-SMA)	6	613	6,03	0	2	52
R Präzentraler Gyrus	6	385	6,93	45	-1	37
Emblematische Gesten vs. Ruhe**						
R ITG	19	1226	4,66	36	-73	-20
Emotionale Gesichter (Stimulus- vs. Kontrollblock)*						
R MFG (prä-SMA)	6	484	6,47	0	2	52

** $p < 0,005$, unkorrigiert; ** $p < 0,03$, unkorrigiert; Cluster-Schwellenwert > 15 Voxel; BA = Brodmann-Areal; IFG = inferiorer frontaler Gyrus; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; L = links; MFG = medialer frontaler Gyrus; prä-SMA = präsupplementärmotorische Area; R = rechts; t = t-Wert.*

3.2 Aktivierungsmuster zum Zeitpunkt DISKRIMINATION

Der Haupteffekt der Diskrimination wurde als gemeinsame Aktivierung von Gesichtsausdrücken und Gesten zum Zeitpunkt des Tastendrucks in Relation zu den Graubildern als Ruhebedingung berechnet. Dabei ergaben sich keine signifikanten Aktivierungen. Bei separater Betrachtung der Diskrimination emotionaler Gesichtsausdrücke in Relation zur Ruhebedingung ($p < 0{,}005$, unkorrigiert; Tabelle 4, Abbildung 9) fand sich erhöhte neuronale Aktivität im rechten ITG, im rechten und linken IFG, sowie im rechten MFG (als Teil des dorsolateralen präfrontalen Kortex; DLPFC). Der äquivalente Kontrast in Bezug auf die Diskrimination emblematischer Gesten führte zu keiner signifikanten Aktivierung. Um die Areale genauer zu erfassen, welche maßgeblich an der Diskrimination der emotionalen Gesichter beteiligt waren, wurde der Diskriminationszeitpunkt im Stimulusblock der Gesichter mit dem Zeitpunkt des Knopfdrucks im korrespondierenden Kontrollblock verglichen. Es fand sich hierbei der DLPFC als isoliert aktiviertes Areal ($p < 0{,}04$, unkorrigert). Dieser Kontrast bildete die Diskrimination spezifisch ab, weil das Aktivierungsmuster bei einer gezielten, instruktionsgeleiteten Diskrimination (Stimulusblock) mit der rein motorischen Reaktion alternierender Bewegungen (Kontrollblock) während des Betrachtens desselben Stimulusmaterials kontrastiert wurde.

Tabelle 4 Diskrimination emotionaler Gesichter

*Die Kontraste der Diskrimination der Gesichter sind **fett** dargestellt. Darunter sind die zugehörigen aktivierten Regionen gelistet. Weiterhin finden sich zu jedem Aktivierungscluster Brodmann-Areal (BA), Größe, t-Wert und die Koordinaten der Aktivierungspeaks.*

Region	BA	Größe (Voxel)	t	Koordinaten der Aktivierungspeaks		
				x	y	z
Emotionale Gesichter vs. Ruhe*						
R ITG	19	629	5,91	45	-70	-8
R IFG/ Anteriore Insula	44	1287	7,48	39	20	1
L IFG/ Anteriore Insula	44	539	4,76	-51	14	4
R MFG (DLPFC)	9	429	5,03	42	32	37
Emotionale Gesichter (Stimulus- vs. Kontrollblock)**						
R MFG (DLPFC)	9	615	3,93	45	20	25

** $p < 0{,}005$, unkorrigiert; ** $p < 0{,}04$, unkorrigiert; Cluster-Schwellenwert > 15 Voxel; BA = Brodmann-Areal; DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Kortex; IFG = inferiorer frontaler Gyrus; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; L = links; MFG = medialer frontaler Gyrus; R = rechts; t = t-Wert.*

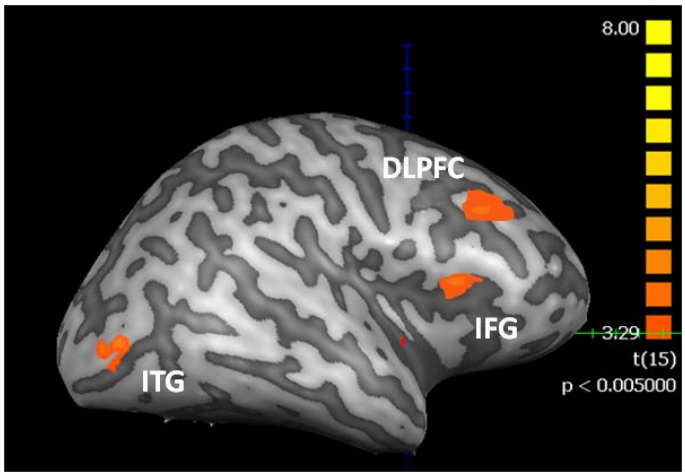


Abb. 9 Diskrimination emotionaler Gesichter

Aktive Areale der Diskrimination emotionaler Gesichter in der rechten Hemisphäre: ITG, IFG und DLPFC. Der DLPFC war als eine für die Diskrimination entscheidende Region hervorzuheben (p < 0,005, unkorrigiert; Cluster-Schwellenwert > 15 Voxel).

3.3 Weiterführende Analysen

Um die Informationen über die objektivierten Aktivierungscluster weiter statistisch zu analysieren, wurden mit einer regionalen Analyse („*region of interest analysis*“) die individuellen regionalen Aktivierungsparameter β der 4 spezifisch aktivierten Regionen (rechter ITG, rechter IFG, prä-SMA bzw. DMFC und rechter DLPFC) extrahiert. Diese Werte gaben indirekt Auskunft über den Grad der Aktivierung in einer bestimmten Region zu einem bestimmten Zeitpunkt. Abbildung 10 veranschaulicht die über alle Probanden gemittelten Aktivierungsparameter β jeweils zu den beiden Zeitpunkten *Wahrnehmung* und *Diskrimination*. Der Grad der Aktivierung wurde nach Prüfung auf Normalverteilung durch den Kolmogorov-Smirnov-Test mittels gepaarten t-Tests in jeder Region im Hinblick auf Wahrnehmung und Diskrimination verglichen. Auf Grund multipler Einzelvergleiche wurde eine alpha-Adjustierung nach Bonferroni vorgenommen, so dass ein korrigiertes $\alpha = 0{,}01$ zugrunde gelegt wurde. Zusätzlich wurden die korrespondierenden Effektstärken (Cohen´s d) angegeben. Abbildung 10 zeigt, dass der rechtsseitige IFG und der rechte DLPFC zum Zeitpunkt der Diskrimination stärker aktiviert waren als zum Zeitpunkt der Wahrnehmung (IFG: $T = -2{,}18$, $df = 15$, $p = 0{,}045$, Cohen´s $d = 0{,}9$; DLPFC: $T = -2{,}41$, $df = 15$, $p = 0{,}029$, Cohen´s $d = 0{,}9$). Auf Grund der alpha-Fehler-Adjustierung konnte jedoch nur ein tendenziell signifikantes Ergebnis belegt werden. Die genannten Effektstärken

sprachen jedoch in beiden Regionen für einen starken Effekt. Der DMFC (prä-SMA) hingegen war zum Wahrnehmungszeitpunkt stärker aktiviert als bei der Diskrimination, wenngleich dieser Unterschied trotz starkem Effekt kein statistisch signifikantes Niveau erreichte (DMFC: T = 2,13, df = 15, p = 0,05, Cohen´s d = 0,8). Im Hinblick auf den ITG, der bei der Diskrimination stärker aktiviert war als während der Wahrnehmung, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Grad der Aktivierung zwischen beiden interessierenden Zeitpunkten. Auch die ermittelte Effektstärke sprach für einen nur geringen Effekt (ITG: T = -1,04, df = 15, p = 0,31, Cohen´s d = 0,4). Die entsprechenden deskriptiven Statistiken können in Anhang 4 eingesehen werden.

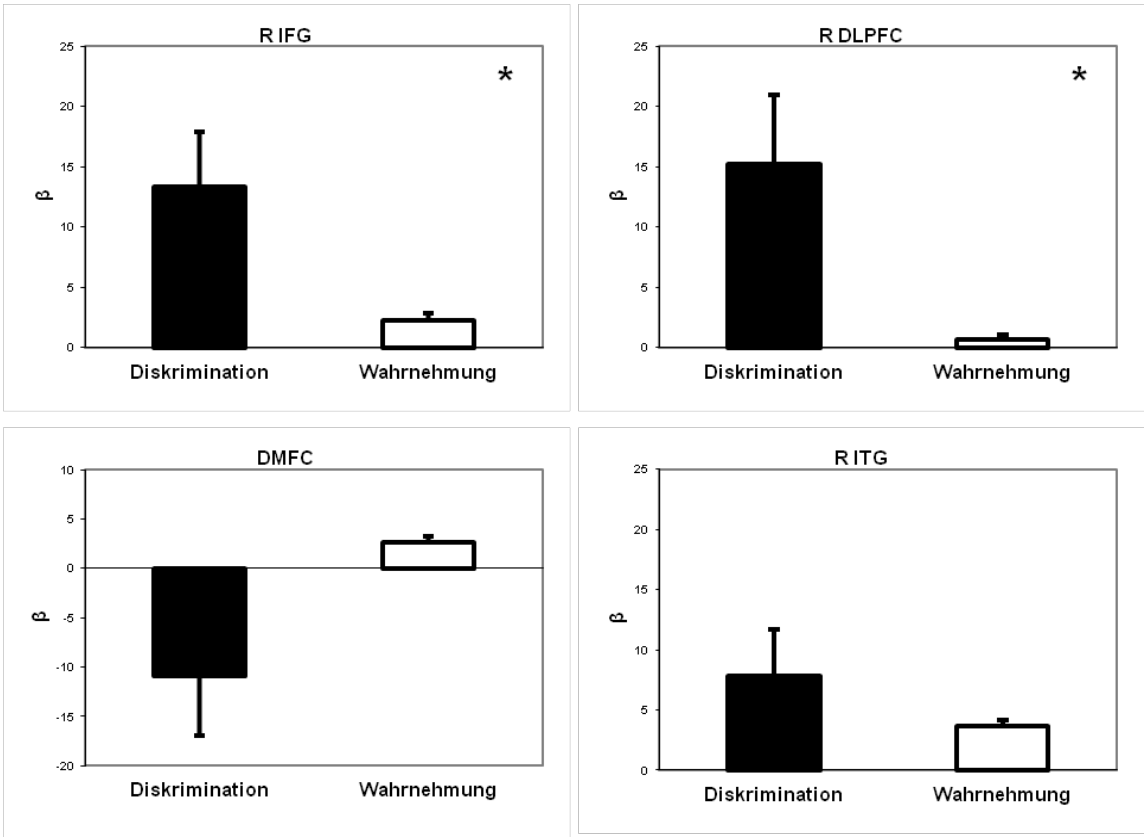


Abb. 10 Mittlere Aktivierungsparameter β von IFG, DLPFC, DMFC und ITG der rechten Hemisphäre

Mittlere Aktivierungsparameter β der aktivierten Regionen zu den Zeitpunkten der Wahrnehmung und Diskrimination (Haupteffekt) mit Standardfehlerbalken (SE). Bei alpha-Fehler Adjustierung zeigten sich tendenziell signifikante Unterschiede (*) im Grad der Aktivierung (β) des IFG (p = 0,045) sowie des DLPFC (p = 0,029) zwischen den beiden Zeitpunkten (erste Zeile). Der Grad der Aktivierung (β) unterschied sich zwischen den Zeitpunkten nicht signifikant im DMFC und im ITG (zweite Zeile).

Weiterhin wurde im Rahmen von korrelativen Analysen berechnet, inwieweit der Grad der Aktivierung (β) zu den Zeitpunkten der *Wahrnehmung* und *Diskrimination* über die einzelnen aktivierten Regionen kovariierte. Die korrelativen Analysen sind in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt und in Tabellenform dem Anhang 5 zu entnehmen.

(i) WAHRNEHMUNG

Es zeigte sich, dass zum Zeitpunkt der Wahrnehmung (Abbildung 11) der Grad an Aktivierung im rechten DLPFC mit dem des IFG ($r = 0{,}538$, $p = 0{,}031$), des rechtsseitigen DMFC ($r = 0{,}65$, $p = 0{,}006$) sowie des rechten ITG ($r = 0{,}603$, $p = 0{,}013$) kovariierte. Ebenso bestand eine Korrelation des Aktivierungsgrades von DMFC und ITG ($r = 0{,}879$, $p = 0{,}000$). Zusätzlich kovariierte zum Zeitpunkt der Wahrnehmung der Grad an Aktivierung des rechten ITG mit dem des rechten IFG ($r = 0{,}674$, $p = 0{,}004$) und mit dem des DMFC ($r = 0{,}732$, $p = 0{,}001$).

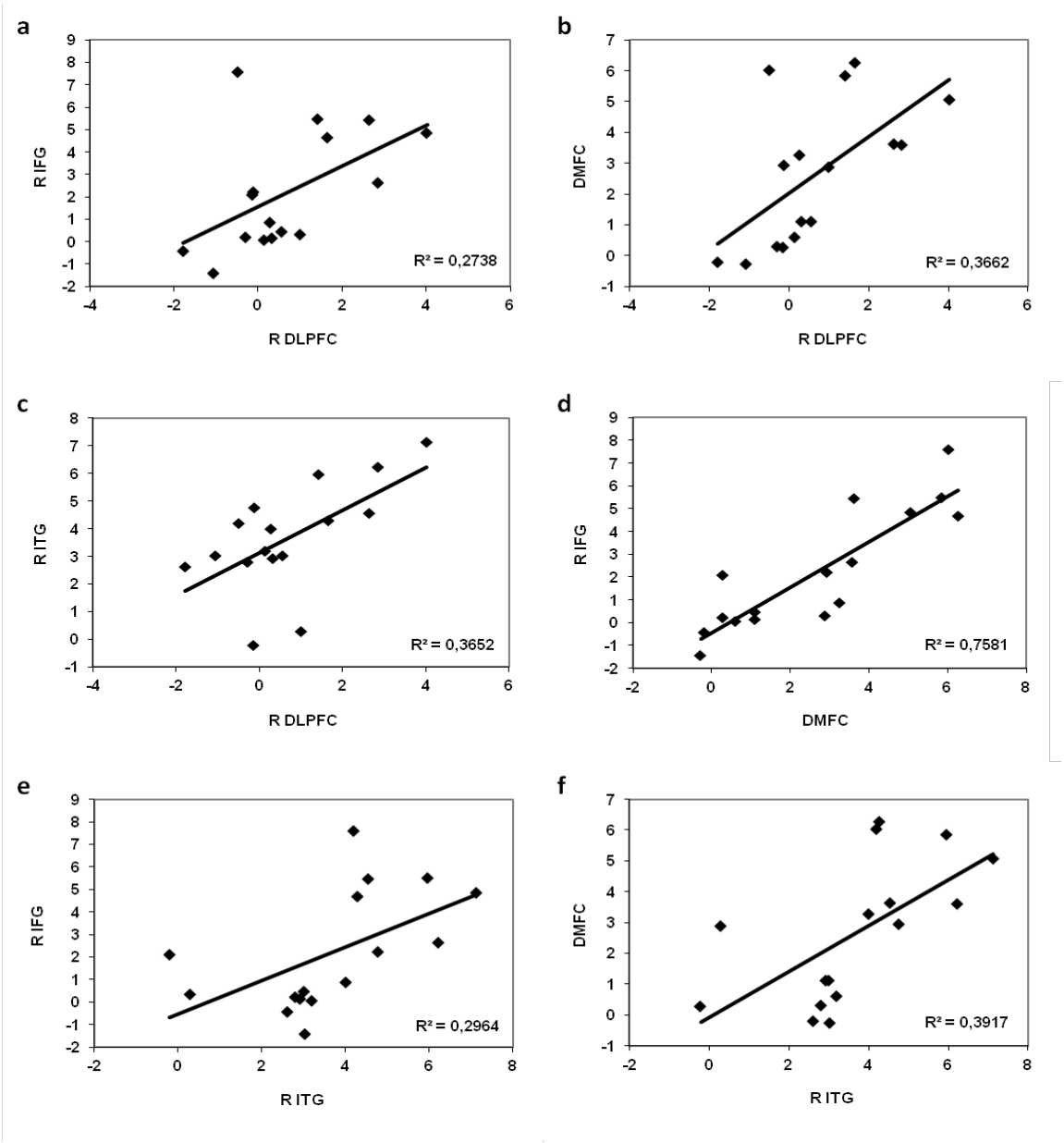


Abb. 11 Korrelationsanalyse der individuellen Betawerte (β) zum Zeitpunkt Wahrnehmung

Während der Wahrnehmung kovariierte der Grad an Aktivierung β von DLPFC mit dem des IFG, DMFC und ITG (a,b,c). Außerdem kovariierte der Aktivierungsgrad des DMFC mit dem des IFG (d). Zu diesem Zeitpunkt fand sich ferner eine Korrelation der Aktivierungsgrade des ITG mit denen von IFG und DMFC (e,f).

(ii) DISKRIMINATION

Zum Zeitpunkt der Entscheidung (Diskrimination; Abbildung 12) kovariierte der Grad an Aktivierung des DLPFC mit dem des rechtsseitigen IFG ($r = 0{,}55$, $p = 0{,}027$) sowie

mit dem des DMFC (r = 0,868, p = 0,000). Die Aktivität des DMFC kovariierte zum Zeitpunkt der Entscheidung weiterhin mit der des rechten IFG (r = 0,735, p = 0,001). Zusätzlich kovariierte der Grad an Aktivierung des rechten ITG mit dem des rechten IFG (r = 0,509, p = 0,044).

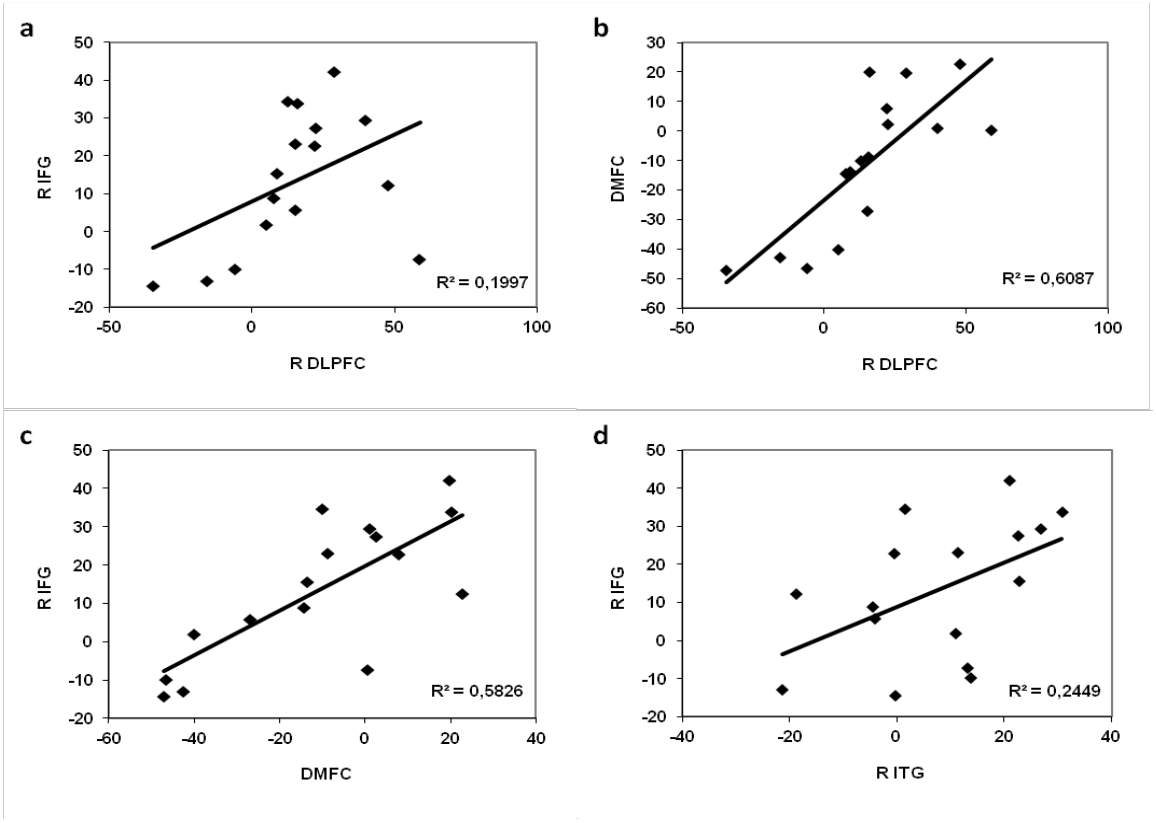


Abb. 12 Korrelationsanalyse der individuellen Betawerte (β) zum Zeitpunkt Diskrimination

Zum Zeitpunkt der Entscheidung (Diskrimination) fand sich eine Korrelation des Grades an Aktivierung von DLPFC und IFG bzw. von DLPFC und DMFC (a,b). Ebenso kovariierte der Aktivierungsgrad des DMFC mit dem des IFG (c). Gleiches trifft für die Aktivierungsgrade von ITG und IFG zu (d).

IX Diskussion

Die vorliegende Studie hatte das Ziel, mittels fMRT Hinweise auf die zerebralen Korrelate der Wahrnehmung und Diskrimination emotionaler Gesichtsausdrücke und emblematischer Gesten zu erhalten. Dem lag die Annahme zugrunde, dass der Mensch im Rahmen sozialer Interaktionen mit willentlichen oder unwillentlichen Körpersignalen seines Gegenübers konfrontiert ist, mit denen eine emotionale Botschaft kommuniziert wird. Dabei finden Wahrnehmung und Erkennen fortlaufend statt, da auf Grund der dynamischen Veränderungen von Gestik und Mimik modifizierte visuelle Signale verarbeitet werden. Darüber hinaus spielt wahrscheinlich auch ein ständiger Bewertungsprozess eine Rolle, bei dem eine empathische Verarbeitungsdimension des emotionalen Gehalts dieser körperlichen Ausdrucksformen zum Tragen kommt. Aus diesem Grund wurden für die ereignisbezogene Analyse der funktionellen Bilddaten inhaltsgeleitet zwei interessierende Zeitpunkte gewählt. Der Zeitpunkt *Wahrnehmung* sollte die visuelle und empathische Verarbeitung erfassen. Der Zeitpunkt *Diskrimination* sollte den Moment der kategorischen Zuordnung und der Entscheidung abbilden. Die Ergebnisse zeigten, dass vier Regionen (*inferiorer temporaler Gyrus, inferiorer frontaler Gyrus, dorsomedialer Frontalkortex und dorsolateraler präfrontaler Kortex*) vornehmlich der rechten Hemisphäre an diesen Prozessen beteiligt waren (Abbildung 13).

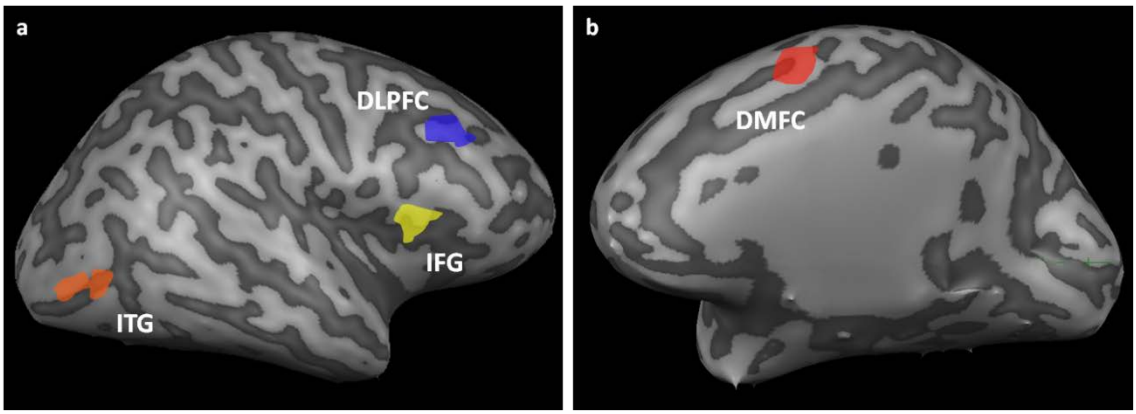


Abb. 13 Wahrnehmung und Diskrimination von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten in der rechten Hemisphäre von lateral (a) und medial (b)

Der Haupteffekt zum Zeitpunkt der Wahrnehmung von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten zeigte Aktivierung im ITG (orange). Die Wahrnehmung sowie Diskrimination emotionaler Gesichter führte zu Aktivierungen im IFG (gelb) und DMFC (rot/medial). Der Diskriminationsprozess bewirkte vor allem eine Aktivierung des DLPFC (blau).

Der Haupteffekt der Wahrnehmung von emotionalen Gesichtsausdrücken und emblematischen Gesten zeigte eine Aktivierung im rechten inferioren temporalen Gyrus (ITG). Auch bei separater Betrachtung des Wahrnehmungszeitpunktes der emotionalen Gesichtsausdrücke und der emblematischen Gesten sowie während der Diskrimination der Gesichtsausdrücke war der rechte ITG stark aktiviert. Diese Beobachtung legte nahe, dass diese Region eine neutrale Funktion bei der Verarbeitung emotionaler körperlicher Stimuli innehatte. Der in dieser Untersuchung aktive Teil des ITG (BA 19) war im ventralen visuellen Pfad lokalisiert. Diesem wurde als Teil des sekundären visuellen Kortex die Analyse und Identifikation von visuell wahrgenommenen Bewegungen oder Objekten zugeschrieben. Er wurde deshalb auch als „*what*"-Pfad bezeichnet (Grill-Spector & Malach, 2004, Ungerleider & Haxby, 1994). Sein Verlauf erstreckt sich ausgehend von sekundär visuellen Arealen im okzipitotemporalen Kortex entlang des inferioren temporalen Kortex bis zum vorderen Temporalpol. Der ventrale visuelle Pfad stellt dabei neben dem dorsalen visuellen Pfad, der vor allem in superior parietalen Arealen anzusiedeln ist und der räumlichen Zuordnung des Gesehenen dient, einen Teil des humanen zerebralen Systems der sekundären visuellen Verarbeitung dar (Haxby et al., 1991). Das in dieser Studie verwendete Paradigma war an die Instruktion gekoppelt, die Gesichtsausdrücke und Gesten zu betrachten und zu diskriminieren. Um die komplexen visuellen Reize interpretieren und bewerten zu können, war es

Voraussetzung, die Stimuli detailliert zu analysieren. Es war daher anzunehmen, dass die Aktivität im ITG diese formale visuelle Reizanalyse der emotionalen Gesichter und emblematischen Gesten im ventralen visuellen Pfad widerspiegelte. Daraus ergab sich die Schlussfolgerung, dass die Verarbeitung emotionaler nonverbaler Stimuli einer vorgeschalteten Analyse auf formaler Ebene bedurfte, die unabhängig von ihrem Inhalt (Gesichter oder Gesten) ablief. Dies könnte die Grundlage höherer kognitiver Verarbeitung darstellen. Diese Interpretation wird von mehreren Studien unterstützt. So konnte gezeigt werden, dass die Verarbeitung emotionaler Gesichter inferiotemporale Areale aktivierte (Haxby et al., 2000, Sugase-Miyamoto et al., 2011). Eine Studie von Flaisch et al. (2009) legte darüber hinaus dar, dass auch die Wahrnehmung von emotionalen im Vergleich zu neutralen Gesten sekundär visuelle Areale der Objektwahrnehmung aktivierte (Flaisch et al., 2009). Ähnliches konnte von Lindenberg et al. (2012) und Suchan et al. (2008) gezeigt werden. Sie demonstrierten, dass das Erkennen und die Analyse von Gesten mit einer Aktivitätssteigerung im ventralen visuellen Pfad einhergingen. In aktuellen Untersuchungen (Koivisto et al., 2011, Liu et al., 2009) wurde darüber hinaus nachgewiesen, dass im ventralen visuellen Pfad die Zuordnung der ungefilterten visuellen Information zu bestimmten Kategorien im Sinne einer primären Diskrimination stattfand. Koivisto et al. (2011) untersuchte diesen Zusammenhang mittels fMRT-gesteuerter transkranieller magnetischer Stimulation (TMS). Ihre Probanden wurden instruiert, verschiedene Bilder im Hinblick auf darin enthaltene Tiere zu kategorisieren während der inferiore Temporalkortex durch TMS gehemmt wurde. Die Ergebnisse ließen vermuten, dass diese Diskrimination durch rekurrente Interaktionen von V1 und V2 des visuellen Kortex mit nachgeschalteten Arealen des ventralen Pfades erfolgte (Koivisto et al., 2011). Aufgrund des anders angelegten experimentellen Designs der zitierten Studie (Darbietungsdauer der Bilder = 13,3 ms) war zwar kein direkter Vergleich mit dem hier verwendeten Paradigma möglich. Trotzdem deuteten die Ergebnisse darauf hin, dass die erste Diskrimination visueller Information eine Rolle bei der primären Verarbeitung wahrgenommener Stimuli spielen dürfte.

Ähnliche Studien zur Verarbeitung von Emotionen (Gur et al., 2002, Seitz et al., 2008) fanden nichtsdestotrotz keine in Ausmaß und Umfang mit dieser Studie vergleichbare Aktivitätssteigerung des ITG. Eine Erklärung dafür könnte in Bezug auf die zitierten Studien in dem unterschiedlichen experimentellen Design begründet liegen. In den

genannten Untersuchungen wurden die Probanden unter anderem instruiert, gezeigte Emotionen zu erkennen (Gur et al., 2002) bzw. selbst zu generieren (Seitz et al., 2008). Dabei wurden im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung statische Bilder von Gesichtern verwendet. Für die Probanden bestand deshalb im Gegensatz zu dieser Studie nicht die Notwendigkeit der ständigen und kontinuierlichen Analyse der visuellen Stimuli. Diese war hingegen bei den sich fortlaufend verändernden Videosequenzen von essentieller Bedeutung. Die Probanden waren gezwungen, sich zu jedem Zeitpunkt auf die Analyse der sich verändernden Stimuli im Sinne eines kontinuierlichen Updates zu fokussieren (Ellsworth & Scherer, 2003). Dies erklärt eine besonders intensive analytische Verarbeitung der visuellen Reize.

Neben der Aktivität im rechten ITG war der rechte inferiore frontale Gyrus (IFG) bei der Wahrnehmung, aber auch bei der Diskrimination der emotionalen Gesichtsausdrücke aktiv. Es wurde postuliert, dass der posteriore Teil des IFG (BA 44) in besonderem Maße Spiegelneurone beherbergt (Gallese, 2007). Wahrgenommene motorische Handlungen und emotionale Gesichter (z.B. Wut) könnten so im Betrachter repräsentiert werden (Iacoboni, 2009, Nakamura et al., 1999, Rizzolatti & Craighero, 2004), wodurch einerseits die Verarbeitung und andererseits die Reaktion auf die Emotion erleichtert werden könnte (Blair, 2005, Shamay-Tsoory et al., 2009). Auf Basis dieser Befunde lag die Annahme nahe, dass die Aktivität im rechten IFG in der vorliegenden Untersuchung die emotional empathische Reaktion, möglicherweise vermittelt durch das Spiegelneuronensystem, auf emotionale Gesichter darstellte. Das Betrachten der Gesichter könnte eine Generierung der gesehenen Emotion auf einfachem motorischen Niveau („*low-level-empathy*“) (Seitz et al., 2008) hervorgerufen haben, obwohl keine diesbezügliche Instruktion (z.B. „versetzen Sie sich in die Situation des Senders“) bestand. Vermutlich erfolgte auf diesem Wege spontan eine empathische Einfühlung in die Emotion des Senders (Spiegelneuronentheorie). Die Existenz der in diesem Prozess implizierten Verknüpfung von Sensorik und Motorik („*perception-action-circuit*“) (Preston & de Waal, 2002) wurde dem IFG zugeschrieben (Shamay-Tsoory et al., 2009). Elektromyographische Studien konnten dies untermauern (Dimberg & Thunberg, 1998, Dimberg et al., 2000). Die Autoren zeigten, dass während der Betrachtung bestimmter Emotionen die gleichen Gesichtsmuskeln aktiv wurden wie bei ihrer eigentlichen Ausführung. Dies ließ sich dahingehend interpretieren, dass Wahrnehmung und eigenes Erleben von Emotionen vergleichbare physiologische Reaktionen hervorriefen. Die

vorliegende Untersuchung lieferte in Übereinstimmung mit den zitierten Studien einen substantiellen Hinweis, dass der IFG eine entscheidende Rolle bei der empathischen Verarbeitung emotionaler Stimuli spielt.

Als weiteres Areal, das während der Wahrnehmung der Gesichter aktiv war, fand sich ein Bereich des dorsalen medialen präfrontalen Kortex, das präsupplementärmotorische Areal (prä-SMA). Besonders der Kontrast der Wahrnehmung der emotionalen Gesichter unter der Instruktion, die Gesichter zu diskriminieren (Stimulusblock), und ohne diese Instruktion (Kontrollblock) zeigte dieses Areal (vgl. Tabelle 3). Andere Autoren konnten bereits zeigen, dass der mediale präfrontale Kortex (MPFC) an der modalitätenunabhängigen Verarbeitung von Emotionen beteiligt war (Peelen et al., 2010). Dies stand im Einklang mit Befunden, die für eine entscheidende Rolle des MPFC bei Emotionsverarbeitung im Allgemeinen (Phan et al., 2002) bzw. der Verarbeitung emotionaler Gesichter (Seitz et al., 2008) und emblematischer Gesten (Lindenberg et al., 2012) sprachen. Ausgehend von meta-analytischen Untersuchungen (Seitz et al., 2006) ließ sich vermuten, dass die Aktivität des DMFC in der vorliegenden Untersuchung die subjektive Bewertung der wahrgenommenen Emotionen widerspiegelte. Diese steht in einem engen konzeptuellen Zusammenhang mit der von Shamay-Tsoory et al. (2009) postulierten, kognitiv orientierten empathischen Verarbeitung. Dieser Terminus umfasst eine auf Erfahrungen basierende Interpretation der Emotionen sowie daraus resultierende Schlussfolgerungen und wurde aus diesem Grund als affektive „*Theory of Mind*“ bezeichnet (Shamay-Tsoory et al., 2009). Um eine Interpretation und Bewertung zu ermöglichen, wird dabei eine vergleichende Evaluation mit der eigenen Gefühlslage vorgenommen. Dieser Prozess wird ebenfalls dem MPFC zugeschrieben (Schulte-Ruther et al., 2007). Folglich ließen die Befunde vermuten, dass die Aktivität des DMFC in der vorliegenden Studie eine empathisch bewertende Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke auf einer höheren kognitiven Ebene widerspiegelt.

Wie bereits an anderer Stelle ausführlich dargestellt, handelt es sich bei der Verarbeitung emotionaler Körpersprache um einen dynamischen Prozess. An dessen Endpunkt steht im Rahmen sozialer Interaktionen stets das Ziel, den emotionalen Ausdruck des Gegenübers auf Basis des eigenen Referenzrahmens richtig einzuordnen. Die bisher diskutierten Ergebnisse fokussierten sich dabei auf die beteiligten

Wahrnehmungsprozesse. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es auch, Hinweise auf das zerebrale Korrelat emotionaler Diskriminationsprozesse zu erhalten.

Um die Diskrimination möglichst gut zu erfassen wurde der Tastendruck bei der bewussten Entscheidung für einen Ausdruck (Stimulusblock) mit dem nicht entscheidungsbasierten Tastendruck in der Kontrollbedingung verglichen. Dieser Kontrast ergab eine spezifische Aktivierung des rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC) zum Zeitpunkt der Diskrimination der emotionalen Gesichtsausdrücke. Dieser Befund korrespondierte mit mehreren Studien, die sowohl globale Kategorisierungsleistungen (Vogels et al., 2002) als auch spezielle Entscheidungsprozesse, z.B. die Bewertung von Nahrungsmitteln (Camus et al., 2009) untersuchten. Diese Experimente hatten mit weiteren Untersuchungen (Philiastides et al., 2011) gemein, dass sie dem DLPFC eine entscheidende Bedeutung für Diskriminations- und Entscheidungsprozesse zuschrieben. Dennoch gab es auch gegenläufige Befunde. Duncan & Owen (2000) vertraten die These, dass eine funktionelle Trennung des präfrontalen Kortex bei diversen kognitiven Prozessen nicht möglich ist (Duncan & Owen, 2000). Andere Autoren stellten die Beteiligung des ventromedialen präfrontalen Kortex (VMPFC) im Rahmen von Entscheidungsprozessen heraus (Fellows & Farah, 2005, van den Bos & Guroglu, 2009). Dies wirft die Frage auf, ob sich die genannten Befunde widersprechen, oder aber möglicherweise unterschiedliche Aspekte des Entscheidungsprozesses abbilden. Auf Grund der Heterogenität der eingesetzten Methoden zur Untersuchung von Entscheidungsprozessen sowie weiterer Faktoren wie dem Ausmaß an Ambiguität, Risiko und die Aussicht auf Belohnung war eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur teilweise gegeben. Die vorliegende Studie untersuchte belohnungsunabhängige Entscheidungsprozesse im Kontext emotionaler nonverbaler Kommunikation. Eine große Anzahl von publizierten Arbeiten untersuchte Entscheidungen jedoch in Verbindung mit fiktivem oder tatsächlichem monetären Gewinn. Meist bildeten Spielsettings wie etwa im Rahmen des „*Ultimatum Game*“ (van 't Wout et al., 2005) oder das „*Iowa Gambling Task*“ (Xi et al., 2011) dafür die Grundlage. Gemeinsam haben beide, dass die Menge des Geldes, das die Probanden am Ende behalten dürfen, in Abhängigkeit von ihren Entscheidungen variiert. Es konnte mehrfach gezeigt werden, dass bei Patienten mit Läsionen des VMPFC die Fähigkeit, Entscheidungen mit Aussicht auf Belohnung zu treffen, erheblich eingeschränkt war (Bechara et al., 1994, Xi et al., 2011). Im Gegensatz dazu wiesen Patienten mit Läsionen

des DLPFC eine intakte belohnungsabhängige Entscheidungsfähigkeit auf (Bechara et al., 1994, Grabenhorst et al., 2008, Xi et al., 2011). In diesem Kontext lieferten die vorliegenden Ergebnisse in Übereinstimmung mit erwähnten Studien (Camus et al., 2009, Philiastides et al., 2011, Vogels et al., 2002) einen substantiellen Hinweis dafür, dass der DLPFC belohnungsunabhängige Entscheidungen vermittelt. Weiterhin lieferte die vorliegende Studie Evidenz, dass eine Subspezifizierung von funktionellen Regionen im präfrontalen Kortex existiert. Damit widersprach sie der These von Duncan & Owen (2000).

Somit konnten die postulierten Hypothesen im Hinblick auf die Beteiligung des präfrontalen Kortex (MPFC und IFG) bei Wahrnehmungsprozessen von emotionalen Gesichtsausdrücken und emblematischen Gesten teilweise bestätigt werden (Hypothesen 1 und 2). Ebenso zeigte diese Untersuchung, dass dem DLPFC als Teil des präfrontalen Kortex bei belohnungsunabhängigen Entscheidungsprozessen eine wichtige Bedeutung zukam (Hypothese 3). Diese Untersuchung zeigte ferner Aktivitätssteigerung in Arealen, zu denen a priori keine Hypothesen aufgestellt wurden. Dazu gehörte der Befund einer Aktivierung des ITG sowohl zum Zeitpunkt der Wahrnehmung emotionaler Gesichtsausdrücke und emblematischer Gesten, als auch zum Zeitpunkt der Diskrimination emotionaler Gesichtsausdrücke. Dabei war festzustellen, dass die starke Aktivität des ITG nicht im Widerspruch zu den aufgestellten Hypothesen stand. Vielmehr wurde dadurch das Konzept einer Verarbeitung nonverbaler Stimuli, das auf der Zusammenarbeit mehrerer Areale basiert, unterstützt. Auch die durchgeführten Korrelationsanalysen untermauerten die Annahme interagierender Hirnareale im temporalen und präfrontalen Kortex. Zum Zeitpunkt der Wahrnehmung korrelierte der Grad an zerebraler Aktivität des ITG signifikant mit der Aktivität des MPFC sowie mit der des IFG. Gleiches konnte auch für den Grad der Aktivierung des rechten IFG und des medialen präfrontalen Kortex gezeigt werden. Folglich lag die Annahme nahe, dass ein Netzwerk von Regionen der fortgeschrittenen Wahrnehmung nonverbaler Information diente. Auch zum Zeitpunkt der Entscheidung (Diskrimination) korrelierten der Grad an Aktivierung des DLPFC mit dem des IFG sowie des DMFC. Auch dies legte eine netzwerkartige Organisation der beteiligten Areale im Rahmen der Diskrimination emotionaler Gesichtsausdrücke nahe. Zusammengenommen unterstützten diese Ergebnisse die Annahme, dass die aktivierten Regionen nicht

unabhängig voneinander arbeiteten, sondern miteinander in funktioneller Interaktion standen (Hypothese 4).

Die im Rahmen dieser Arbeit postulierten Hypothesen ließen sich insgesamt insbesondere im Hinblick auf die Verarbeitung emotionaler Gesichtsausdrücke, nicht aber für die Verarbeitung emblematischer Gesten bestätigen. Gründe für das Ausbleiben von den erwarteten Effekten bei den Gesten sollen weiter unten erörtert werden.

Die Ergebnisse zeigten weiterhin, dass die beteiligten Regionen in Form eines rechtshemisphärisch dominanten Netzwerkes zusammenarbeiteten, was die besondere Rolle der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung von Emotionen untermauerte (Flaisch et al., 2009, Ishai et al., 2005, Nakamura et al., 1999). Dem ventralen visuellen Pfad schien innerhalb dieses Netzwerkes eine herausragende Rolle bei der analytischen Verarbeitung der visuellen Information zuzukommen. Ausgehend von seinen Verbindungen zum präfrontalen Kortex (Axmacher et al., 2008, Philippi et al., 2009) könnte er das Verbindungsstück zu Arealen höherer kognitiver Verarbeitung darstellen. Im Einklang mit theoretischen Modellen (Haxby et al., 2000, Summerfield et al., 2006) wäre es denkbar, dass über die Verbindung zwischen frontalen und visuellen Arealen eine Art Abgleich der visuellen Information mit vorgefertigten Matrizen („*templates*“) stattfand, wodurch die Filterung der sensorischen Information unterstützt wurde. So könnten durch Top-Down-Verbindungen vom präfrontalen Kortex zu visuellen Arealen dortige Verarbeitungsprozesse (Ochsner et al., 2009, Summerfield et al., 2006) oder via Projektionen über Hypothalamus und Hirnstamm viszerale Parameter (Ongur & Price, 2000) beeinflusst werden. Es wäre möglich, dass der Anblick eines wütenden Gesichtes oder einer furchteinflößenden Geste über oben beschriebenen Pfad zur Erhöhung der Herzfrequenz oder des kardialen Schlagvolumens führt. Im Einklang mit der Literatur (Carr et al., 2003, Knutson et al., 2008, Lindenberg et al., 2012, Seitz et al., 2008) schienen in der vorliegenden Untersuchung insbesondere der IFG und der DMFC innerhalb des Frontallappens besondere Rollen bei der Verarbeitung emotionaler Stimuli einzunehmen. Die korrelativen Befunde untermauerten dabei die Annahme einer Verbindung zwischen medialem und inferiolateralem Frontalkortex bei der Emotionsverarbeitung. In Übereinstimmung mit einem Konzept, das den Frontalkortex als Bindeglied zwischen Wahrnehmung und Handlung auffasste (Fuster, 2000), ließ sich die besondere Rolle des dorsolateralen präfrontalen Kortex für Diskriminationsprozesse einordnen. Die Entscheidung bzw. Diskrimination beruhte in der vorliegenden

Untersuchung auf sensorischer Information, die aus der Umwelt aufgenommen wurde. Dies waren neutrale Stimuli, die sich hin zu emotionalen, mit Gefühlen verknüpften Gesichtern und Gesten veränderten. Es ist denkbar, dass es beruhend auf einer visuell-formalen Analyse (ITG) und nachfolgender sekundärer Verarbeitung (IFG und DMFC) zu einer Anhäufung sensorischen Inputs bis zum Erreichen einer durch persönliche Kriterien definierten kritischen Schwelle kam. Dadurch wurde schließlich eine Entscheidung (DLPFC) ermöglicht. Beispielhaft könnte das Zusammenziehen der Augenbrauen als entscheidungskritische Reizkonstellation für die Emotion Wut aufgefasst werden. Diese theoretischen Annahmen zu Entscheidungs- und Diskriminationsprozessen („*perceptual decision making*“) (Ho et al., 2009, Mazurek et al., 2003) wurden von den vorliegenden Ergebnissen ebenso wie von zahlreichen weiteren Autoren unterstützt (Liu & Pleskac, 2011, Noppeney et al., 2010, Philiastides et al., 2011).

Wie bereits erwähnt, fällt bei detaillierter Betrachtung der objektivierten Ergebnisse auf, dass allein die emotionalen Gesichtsausdrücke die formulierten Hypothesen stützten. Im Hinblick auf die Verarbeitung emblematischer Gesten zeigte sich zu den gewählten Zeitpunkten lediglich eine Aktivierung im ITG. Es ist zu vermuten, dass dieser Befund sowohl inhaltlich als auch methodisch begründet war. Zunächst ist anzunehmen, dass die „plakativen“ emblematischen Gesten einfacher zu verarbeiten und zu diskriminieren waren als die komplexen emotionalen Gesichtsausdrücke. Während die Gesten nur hinsichtlich ihrer Valenz als positiv oder negativ klassifiziert werden mussten, erforderte die Diskrimination Wut – nicht Wut einen Abgleich von 5 verschiedenen emotionalen Ausdrücken im Sinne der von Ekman & Friesen (1976) definierten Basisemotionen. Die verschiedenen emotionalen Gesichtsausdrücke waren somit schwieriger zu diskriminieren als die polaren positiv-negativ-Entscheidungen bei den Gesten. Auch war die Zeitspanne bis zur vollen Ausprägung des gestischen Ausdrucks mit 6 s wesentlich kürzer als bei den Gesichtern, die sich über 22.5 s langsam veränderten. Für den angenommenen Schwierigkeitsunterschied sprachen auch die deutlich unterschiedlichen Trefferquoten hinsichtlich der Zuordnung von im Mittel 68 % (SD = 15) der Gesichter und im Mittel 91 % (SD = 6) der Gesten. Die weniger kognitive Ressourcen bindende Verarbeitung der Gesten könnte somit zu weniger starken Effekten im Sinne von geringerer kortikaler Aktivierung geführt haben. Unerwartet waren die ausbleibenden Effekte trotzdem im Hinblick auf eine vorausgegangene Studie von Lindenberg et al.

(2012), die mit demselben Stimulusmaterial arbeitete. Die zitierte Studie betrachtete einen dem Wahrnehmungszeitpunkt der vorliegenden Arbeit entsprechenden Zeitpunkt und verzeichnete dabei deutliche Aktivierungsmuster. Diese Unterschiede machten einen detaillierteren Vergleich beider Studien notwendig. Die Arbeit von Lindenberg untersuchte die Verarbeitung emblematischer Gesten verglichen mit neutralen Gesten im Kontext der expliziten Instruktion, sich entweder in die Rolle des Adressant oder des Adressat hineinzuversetzen. Im Gegensatz dazu wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit bewusst auf eine die empathische Verarbeitung auslösende Instruktion verzichtet. So wurde eine möglichst alltagsrelevante Situation geschaffen. Entsprechend lag es nahe, dass die klaren und eher einfachen emblematischen Gesten per se keine so starke empathische Verarbeitung induzierten, da die Aufgabe auf einer wenig Ressourcen bindenden kognitiv-analytischen Ebene gelöst werden konnte. Im Gegensatz dazu schien die erfolgreiche Diskrimination der Gesichter eine empathische und umfassendere kognitive Verarbeitung zu erfordern. Über diese inhaltlichen Aspekte hinaus war zudem denkbar, dass die in dieser Studie gewählten Graubilder eine weniger geeignete Kontrollbedingung als die von Lindenberg et al. (2012) verwendeten neutralen gestischen Ausdrücke sowie die bedeutungslose Kontrollgeste darstellte. Trotzdem waren die Graubilder als Kontrollbedingung nötig, da durch die lange Darbietungsdauer das Abklingen der BOLD-Antwort erreicht wurde.

Alles in allem stellte diese Studie eine valide und aussagekräftige Untersuchung dar, die spezifische Ergebnisse zeigte.

Die Evidenz, dass die rechte Hemisphäre dominant in Bezug auf die Verarbeitung von emotionaler körperlicher Information ist (Flaisch et al., 2009, Ishai et al., 2005, Nakamura et al., 1999), wurde von der vorliegenden Arbeit untermauert. Die Aktivität des rechten inferioren temporalen Gyrus (ITG) spiegelte wahrscheinlich die formale, modalitätenunabhängige visuelle Analyse der emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten im ventralen visuellen Pfad wieder. Areale des präfrontalen Kortex dienten der weiteren Verarbeitung der aufgenommenen Reize. Die Aktivität des rechten inferioren frontalen Gyrus (IFG) könnte dabei die emotional empathische Antwort auf die dargebotenen Emotionen darstellen, welche womöglich durch das Spiegelneuronensystem vermittelt wurde. Die Aktivität im dorsomedialen Frontalkortex (DMFC) sprach ferner für eine höhere kognitive Verarbeitung bei der Betrachtung emotionaler Gesichter im Sinne einer subjektiven Bewertung oder der kognitiv

empathischen Verarbeitung. Des Weiteren sprachen die Ergebnisse der vorliegenden Studie dafür, dass der dorsolaterale präfrontale Kortex (DLPFC) für den Prozess der definitiven Entscheidung für eine Emotion (Diskrimination) eine entscheidende und spezifische Rolle spielte. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deuten somit auf ein rechtshemisphärisch lokalisiertes Netzwerk hin, welches das neuronale Korrelat der Verarbeitung emotionaler nonverbaler Information (Gesichter und Gesten) darstellt.

X Ausblick

Was geht in einem Menschen vor, wenn sein Gegenüber mit einer bedrohlichen Geste auf ihn zukommt? Führt der Blick in ein tieftrauriges Gesicht dazu, dass der Betrachter selbst Trauer empfindet? Die vorliegende Untersuchung lieferte mögliche Antworten auf diese in der Einleitung formulierten Fragen. Mit dieser Arbeit wurde das Ziel, einen Beitrag zur Aufdeckung der an der Verarbeitung von emotionaler Körpersprache beteiligten Hirnregionen zu leisten, erreicht.

Im Folgenden wäre es interessant, die im Rahmen dieser Studie objektivierten Befunde in Verbindung mit vergleichbaren Studien im Sinne einer Metaanalyse zu integrieren und in einen größeren Zusammenhang einzuordnen. So wäre es möglich, Referenzdaten zur emotionalen Verarbeitung von gesunden Studienpopulationen zu erheben, die als Grundlage für oben erwähnte Untersuchungen an Patienten dienen könnten. Insgesamt stellt die Verarbeitung emotionaler Körpersprache ein alltagsrelevantes Phänomen dar, dessen Erforschung sowohl in der Grundlagenforschung, als auch an Patienten, die Beeinträchtigungen im Erkennen emotionaler Ausdrücke aufweisen, lohnenswert und aussichtsreich ist. Ein Beispiel für bisher im Kontext emotionaler Verarbeitung weniger untersuchte Patientengruppen könnten Patienten mit Multipler Sklerose darstellen. Für diese Patienten liegen erste Befunde für eine Beeinträchtigung im Erkennen von emotionalen Gesichtsausdrücken vor (Beatty et al., 1989, Henry et al., 2009, Prochnow et al., 2011), die Grundlage für gestörte persönliche Interaktionen bei diesen Patienten sein könnten. Insbesondere vor dem Hintergrund der sich stetig weiterentwickelnden Bildgebungsmodalitäten gilt es, die soziale Kognitionsforschung auch mit klinischem Bezug in den nächsten Jahren weiter voranzutreiben.

XI Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Allgemeine Daten der Probanden (n = 16; 8 davon weiblich) 25
Tabelle 2 Haupteffekt der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten 41
Tabelle 3 Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten 42
Tabelle 4 Diskrimination emotionaler Gesichter 43
Tabelle 5 Deskriptive Statistik bei gepaarten Stichproben 90
Tabelle 6 Test bei gepaarten Stichproben 90
Tabelle 7 Korrelationsanalysen nach Spearman-Rho zum Zeitpunkt Wahrnehmung 91
Tabelle 8 Korrelationsanalysen nach Spearman-Rho zum Zeitpunkt Diskrimination 91

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Nonverbale Kommunikation (nach Duncan, 1969) 8
Abb. 2 Spiegelneurone im Makakengehirn (Rizzolatti and Craighero, 2004) 10
Abb. 3 Zeitlicher Verlauf der BOLD-Antwort (nach Rosen et al., 1998) 20
Abb. 4 Beginn und Ende zweier Gesichtersequenzen 28
Abb. 5 Videosequenz einer emblematischen Geste 29
Abb. 6 Ablauf der Gesichter- und Gestensequenzen 32
Abb. 7 Versuchsaufbau 34
Abb. 8 Haupteffekt der Wahrnehmung emotionaler Gesichter und emblematischer Gesten 41
Abb. 9 Diskrimination emotionaler Gesichter 44
Abb. 10 Mittlere Aktivierungsparameter β von IFG, DLPFC, DMFC und ITG der rechten Hemisphäre 45
Abb. 11 Korrelationsanalyse der individuellen Betawerte (β) zum Zeitpunkt Wahrnehmung 47
Abb. 12 Korrelationsanalyse der individuellen Betawerte (β) zum Zeitpunkt Diskrimination 48
Abb. 13 Wahrnehmung und Diskrimination von emotionalen Gesichtern und emblematischen Gesten in der rechten Hemisphäre von lateral (a) und medial (b) 50

XII Literaturverzeichnis

ADOLPHS, R., SEARS, L. & PIVEN, J. 2001. Abnormal processing of social information from faces in autism. *J Cogn Neurosci,* 13**,** 232-40.

AINE, C. J. 1995. A conceptual overview and critique of functional neuroimaging techniques in humans: I. MRI/FMRI and PET. *Crit Rev Neurobiol,* 9**,** 229-309.

APP, B., MCINTOSH, D. N., REED, C. L. & HERTENSTEIN, M. J. 2011. Nonverbal Channel Use in Communication of Emotion: How May Depend on Why. *Emotion,* 11**,** 603-617.

AXMACHER, N., SCHMITZ, D. P., WAGNER, T., ELGER, C. E. & FELL, J. 2008. Interactions between medial temporal lobe, prefrontal cortex, and inferior temporal regions during visual working memory: a combined intracranial EEG and functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci,* 28**,** 7304-12.

BACH, M., BACH, D., DE ZWAAN, M., SERIM, M. & BOHMER, F. 1996. [Validation of the German version of the 20-item Toronto Alexithymia Scale in normal persons and psychiatric patients]. *Psychother Psychosom Med Psychol,* 46**,** 23-8.

BAGBY, R. M., PARKER, J. D. & TAYLOR, G. J. 1994. The twenty-item Toronto Alexithymia Scale--I. Item selection and cross-validation of the factor structure. *J Psychosom Res,* 38**,** 23-32.

BANKS, S. J., EDDY, K. T., ANGSTADT, M., NATHAN, P. J. & PHAN, K. L. 2007. Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation. *Soc Cogn Affect Neurosci,* 2**,** 303-12.

BARRACLOUGH, D. J., CONROY, M. L. & LEE, D. 2004. Prefrontal cortex and decision making in a mixed-strategy game. *Nat Neurosci,* 7**,** 404-10.

BEATTY, W. W., GOODKIN, D. E., WEIR, W. S., STATON, R. D., MONSON, N. & BEATTY, P. A. 1989. Affective Judgments by Patients with Parkinsons-Disease or Chronic Progressive Multiple-Sclerosis. *Bulletin of the Psychonomic Society,* 27**,** 361-364.

BECHARA, A., DAMASIO, A. R., DAMASIO, H. & ANDERSON, S. W. 1994. Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition,* 50**,** 7-15.

BLAIR, R. J. 2005. Responding to the emotions of others: dissociating forms of empathy through the study of typical and psychiatric populations. *Conscious Cogn,* 14**,** 698-718.

BORTZ, J., LIENERT, G. 2008. Kurzgefasste Statistik für die Klinische Forschung. Springer, 3. Auflage, 1-60.

BRADLEY, M. M. & LANG, P. J. 1994. Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *J Behav Ther Exp Psychiatry,* 25**,** 49-59.

BRITTON, J. C., SHIN, L. M., BARRETT, L. F., RAUCH, S. L. & WRIGHT, C. I. 2008. Amygdala and fusiform gyrus temporal dynamics: responses to negative facial expressions. *BMC Neurosci,* 9**,** 44.

BUCCINO, G., VOGT, S., RITZL, A., FINK, G. R., ZILLES, K., FREUND, H. J. & RIZZOLATTI, G. 2004. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron,* 42**,** 323-34.

BUCK, R. 1985. Prime Theory - an Integrated View of Motivation and Emotion. *Psychological Review,* 92**,** 389-413.

BUCK, R. & VANLEAR, C. A. 2002. Verbal and nonverbal communication: Distinguishing symbolic, spontaneous, and pseudo-spontaneous nonverbal behavior. *Journal of Communication,* 52**,** 522-541.

CALDER, A. J., YOUNG, A. W., PERRETT, D. I., ETCOFF, N. L. & ROWLAND, D. 1996. Categorical perception of morphed facial expressions. *Visual Cognition,* 3**,** 81-117.

CAMPANELLA, S., QUINET, P., BRUYER, R., CROMMELINCK, M. & GUERIT, J. M. 2002. Categorical perception of happiness and fear facial expressions: an ERP study. *J Cogn Neurosci,* 14**,** 210-27.

CAMUS, M., HALELAMIEN, N., PLASSMANN, H., SHIMOJO, S., O'DOHERTY, J., CAMERER, C. & RANGEL, A. 2009. Repetitive transcranial magnetic stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex decreases valuations during food choices. *Eur J Neurosci,* 30**,** 1980-8.

CARR, L., IACOBONI, M., DUBEAU, M. C., MAZZIOTTA, J. C. & LENZI, G. L. 2003. Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proc Natl Acad Sci U S A,* 100**,** 5497-502.

DI PELLEGRINO, G., FADIGA, L., FOGASSI, L., GALLESE, V. & RIZZOLATTI, G. 1992. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res,* 91**,** 176-80.

DIMBERG, U. & THUNBERG, M. 1998. Rapid facial reactions to emotional facial expressions. *Scand J Psychol,* 39**,** 39-45.

DIMBERG, U., THUNBERG, M. & ELMEHED, K. 2000. Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychol Sci,* 11**,** 86-9.

DUNCAN, J. & OWEN, A. M. 2000. Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends Neurosci,* 23**,** 475-83.

DUNCAN, S. 1969. Nonverbal Communication. *Psychological Bulletin,* 72**,** 118-&.

EKMAN, P. & FRIESEN, W. V. 1971. Constants across cultures in the face and emotion. *J Pers Soc Psychol,* 17**,** 124-9.

EKMAN, P. & FRIESEN W. 1976. Pictures of facial affect. *Consulting Psychologists Press*, Palo Alto, CA.

ELLSWORTH, P.C., SCHERER K.R. 2003. Appraisal processes of emotion. In Davidson R.J., Scherer K.R., Goldsmith H. (Eds.), *Handbook of affective sciences (pp. 572-595).* Oxford University Press, New York, Oxford.

ETCOFF, N. L. & MAGEE, J. J. 1992. Categorical perception of facial expressions. *Cognition,* 44**,** 227-40.

FELLOWS, L. K. & FARAH, M. J. 2005. Different underlying impairments in decision-making following ventromedial and dorsolateral frontal lobe damage in humans. *Cereb Cortex,* 15**,** 58-63.

FLAISCH, T., SCHUPP, H. T., RENNER, B. & JUNGHOFER, M. 2009. Neural systems of visual attention responding to emotional gestures. *NeuroImage,* 45**,** 1339-46.

FRANZ, M., POPP, K., SCHAEFER, R., SITTE, W., SCHNEIDER, C., HARDT, J., DECKER, O. & BRAEHLER, E. 2008. Alexithymia in the German general population. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol,* 43**,** 54-62.

FRITH, C. D. & FRITH, U. 2006. The neural basis of mentalizing. *Neuron,* 50**,** 531-4.

FRITH, U. & FRITH, C. D. 2003. Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci,* 358**,** 459-73.

FUSAR-POLI, P., PLACENTINO, A., CARLETTI, F., LANDI, P., ALLEN, P., SURGULADZE, S., BENEDETTI, F., ABBAMONTE, M., GASPAROTTI, R., BARALE, F., PEREZ, J., MCGUIRE, P. & POLITI, P. 2009. Functional atlas of emotional faces processing: a voxel-based meta-analysis of 105 functional magnetic resonance imaging studies. *J Psychiatry Neurosci,* 34**,** 418-32.

FUSTER, J. M. 2000. Executive frontal functions. *Exp Brain Res,* 133**,** 66-70.

GALLESE, V. 2007. Before and below 'theory of mind': embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci,* 362**,** 659-69.

GALLESE, V., KEYSERS, C. & RIZZOLATTI, G. 2004. A unifying view of the basis of social cognition. *Trends Cogn Sci,* 8**,** 396-403.

GHASHGHAEI, H. T., HILGETAG, C. C. & BARBAS, H. 2007. Sequence of information processing for emotions based on the anatomic dialogue between prefrontal cortex and amygdala. *NeuroImage,* 34**,** 905-23.

GRABENHORST, F., ROLLS, E. T. & PARRIS, B. A. 2008. From affective value to decision-making in the prefrontal cortex. *Eur J Neurosci,* 28**,** 1930-9.

GRILL-SPECTOR, K. & MALACH, R. 2004. The human visual cortex. *Annu Rev Neurosci,* 27**,** 649-77.

GROSBRAS, M. H. & PAUS, T. 2006. Brain networks involved in viewing angry hands or faces. *Cereb Cortex,* 16**,** 1087-96.

GUR, R. C., SCHROEDER, L., TURNER, T., MCGRATH, C., CHAN, R. M., TURETSKY, B. I., ALSOP, D., MALDJIAN, J. & GUR, R. E. 2002. Brain activation during facial emotion processing. *NeuroImage,* 16**,** 651-62.

HALL, E. T. 1966. Hidden Dimension - Hall,Et. *Trans-Action,* 4**,** 50-&.

HARIRI, A. R., BOOKHEIMER, S. Y. & MAZZIOTTA, J. C. 2000. Modulating emotional responses: effects of a neocortical network on the limbic system. *Neuroreport,* 11**,** 43-8.

HAXBY, J. V., GRADY, C. L., HORWITZ, B., UNGERLEIDER, L. G., MISHKIN, M., CARSON, R. E., HERSCOVITCH, P., SCHAPIRO, M. B. & RAPOPORT, S. I. 1991. Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A,* 88**,** 1621-5.

HAXBY, J. V., HOFFMAN, E. A. & GOBBINI, M. I. 2000. The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn Sci,* 4**,** 223-233.

HENRY, J. D., PHILLIPS, L. H., BEATTY, W. W., MCDONALD, S., LONGLEY, W. A., JOSCELYNE, A. & RENDELL, P. G. 2009. Evidence for deficits in facial affect recognition and theory of mind in multiple sclerosis. *J Int Neuropsychol Soc,* 15**,** 277-85.

HERTENSTEIN, M. J., HOLMES, R., MCCULLOUGH, M. & KELTNER, D. 2009. The communication of emotion via touch. *Emotion,* 9**,** 566-73.

HERTENSTEIN, M. J., KELTNER, D., APP, B., BULLEIT, B. A. & JASKOLKA, A. R. 2006. Touch communicates distinct motions. *Emotion,* 6**,** 528-533.

HO, T. C., BROWN, S. & SERENCES, J. T. 2009. Domain general mechanisms of perceptual decision making in human cortex. *J Neurosci,* 29**,** 8675-87.

HUSAIN, F. T., PATKIN, D. J., THAI-VAN, H., BRAUN, A. R. & HORWITZ, B. 2009. Distinguishing the processing of gestures from signs in deaf individuals: an fMRI study. *Brain Res,* 1276**,** 140-50.

IACOBONI, M. 2009. Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annu Rev Psychol,* 60**,** 653-70.

ISHAI, A., SCHMIDT, C. F. & BOESIGER, P. 2005. Face perception is mediated by a distributed cortical network. *Brain Res Bull,* 67**,** 87-93.

KENDON, A. 1981. Gestures, Their Origins and Distribution - Morris,D, Collett,P, Marsh,P, Oshaughnessy,M. *Semiotica,* 37**,** 129-163.

KENDON, A. 1997. Gesture. *Annu. Rev. Anthropol. 26: 109-28*

KESLER-WEST, M. L., ANDERSEN, A. H., SMITH, C. D., AVISON, M. J., DAVIS, C. E., KRYSCIO, R. J. & BLONDER, L. X. 2001. Neural substrates of facial emotion processing using fMRI. *Brain Res Cogn Brain Res,* 11**,** 213-26.

KLEISER, R., WITTSACK, H. J., BUTEFISCH, C. M., JORGENS, S. & SEITZ, R. J. 2005. Functional activation within the PI-DWI mismatch region in recovery from ischemic stroke: preliminary observations. *NeuroImage,* 24**,** 515-23.

KNUTSON, K. M., MCCLELLAN, E. M. & GRAFMAN, J. 2008. Observing social gestures: an fMRI study. *Exp Brain Res,* 188**,** 187-98.

KOIVISTO, M., RAILO, H., REVONSUO, A., VANNI, S. & SALMINEN-VAPARANTA, N. 2011. Recurrent processing in V1/V2 contributes to categorization of natural scenes. *J Neurosci,* 31**,** 2488-92.

KRAIN, A. L., WILSON, A. M., ARBUCKLE, R., CASTELLANOS, F. X. & MILHAM, M. P. 2006. Distinct neural mechanisms of risk and ambiguity: a meta-analysis of decision-making. *NeuroImage,* 32**,** 477-84.

LANCASTER, J. L., RAINEY, L. H., SUMMERLIN, J. L., FREITAS, C. S., FOX, P. T., EVANS, A. C., TOGA, A. W. & MAZZIOTTA, J. C. 1997. Automated labeling of the human brain: a preliminary report on the development and evaluation of a forward-transform method. *Hum Brain Mapp,* 5**,** 238-42.

LANCASTER, J. L., WOLDORFF, M. G., PARSONS, L. M., LIOTTI, M., FREITAS, C. S., RAINEY, L., KOCHUNOV, P. V., NICKERSON, D., MIKITEN, S. A. &

FOX, P. T. 2000. Automated Talairach atlas labels for functional brain mapping. *Hum Brain Mapp,* 10**,** 120-31.

LEDOUX, J. E. 1998. The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life. New York: Touchstone.

LEPPANEN, J. M. & HIETANEN, J. K. 2004. Positive facial expressions are recognized faster than negative facial expressions, but why? *Psychol Res,* 69**,** 22-9.

LINDENBERG, R., UHLIG, M., SCHERFELD, D., SCHLAUG, G. & SEITZ, R. J. 2012. Communication with emblematic gestures: shared and distinct neural correlates of expression and reception. *Hum Brain Mapp,* 33**,** 812-23.

LIU, H., AGAM, Y., MADSEN, J. R. & KREIMAN, G. 2009. Timing, timing, timing: fast decoding of object information from intracranial field potentials in human visual cortex. *Neuron,* 62**,** 281-90.

LIU, T. & PLESKAC, T. J. 2011. Neural correlates of evidence accumulation in a perceptual decision task. *J Neurophysiol,* 106**,** 2383-98.

LOGOTHETIS, N. K., PAULS, J., AUGATH, M., TRINATH, T. & OELTERMANN, A. 2001. Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature,* 412**,** 150-7.

LUNDQVIST, D., & LITTON, J. E. 1998. The Averaged Karolinska Directed Emotional Faces – AKDEF. CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section. Karolinska Institutet. ISBN 91-630-7164-9.

MAZUREK, M. E., ROITMAN, J. D., DITTERICH, J. & SHADLEN, M. N. 2003. A role for neural integrators in perceptual decision making. *Cereb Cortex,* 13**,** 1257-69.

MCCULLOUGH, S. & EMMOREY, K. 2009. Categorical perception of affective and linguistic facial expressions. *Cognition,* 110**,** 208-21.

NAKAMURA, K., KAWASHIMA, R., ITO, K., SUGIURA, M., KATO, T., NAKAMURA, A., HATANO, K., NAGUMO, S., KUBOTA, K., FUKUDA, H. & KOJIMA, S. 1999. Activation of the right inferior frontal cortex during assessment of facial emotion. *J Neurophysiol,* 82**,** 1610-4.

NARANJO, C., KORNREICH, C., CAMPANELLA, S., NOEL, X., VANDRIETTE, Y., GILLAIN, B., DE LONGUEVILLE, X., DELATTE, B., VERBANCK, P. & CONSTANT, E. 2011. Major depression is associated with impaired processing

of emotion in music as well as in facial and vocal stimuli. *J Affect Disord,* 128**,** 243-51.

NOPPENEY, U., OSTWALD, D. & WERNER, S. 2010. Perceptual decisions formed by accumulation of audiovisual evidence in prefrontal cortex. *J Neurosci,* 30**,** 7434-46.

OCHSNER, K. N., RAY, R. R., HUGHES, B., MCRAE, K., COOPER, J. C., WEBER, J., GABRIELI, J. D. & GROSS, J. J. 2009. Bottom-up and top-down processes in emotion generation: common and distinct neural mechanisms. *Psychol Sci,* 20**,** 1322-31.

OGAWA, S., LEE, T. M., KAY, A. R. & TANK, D. W. 1990. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci U S A,* 87**,** 9868-72.

OLDFIELD, R. C. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia,* 9**,** 97-113.

ONGUR, D. & PRICE, J. L. 2000. The organization of networks within the orbital and medial prefrontal cortex of rats, monkeys and humans. *Cereb Cortex,* 10**,** 206-19.

PARKER, J. D., TAYLOR, G. J. & BAGBY, R. M. 2003. The 20-Item Toronto Alexithymia Scale. III. Reliability and factorial validity in a community population. *J Psychosom Res,* 55**,** 269-75.

PAULING, L. & CORYELL, C. D. 1936. The Magnetic Properties and Structure of Hemoglobin, Oxyhemoglobin and Carbonmonoxyhemoglobin. *Proc Natl Acad Sci U S A,* 22**,** 210-6.

PEELEN, M. V., ATKINSON, A. P. & VUILLEUMIER, P. 2010. Supramodal representations of perceived emotions in the human brain. *J Neurosci,* 30**,** 10127-34.

PHAN, K. L., WAGER, T., TAYLOR, S. F. & LIBERZON, I. 2002. Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage,* 16**,** 331-48.

PHILIASTIDES, M. G., AUKSZTULEWICZ, R., HEEKEREN, H. R. & BLANKENBURG, F. 2011. Causal role of dorsolateral prefrontal cortex in human perceptual decision making. *Curr Biol,* 21**,** 980-3.

PHILIPPI, C. L., MEHTA, S., GRABOWSKI, T., ADOLPHS, R. & RUDRAUF, D. 2009. Damage to association fiber tracts impairs recognition of the facial expression of emotion. *J Neurosci,* 29**,** 15089-99.

PHILLIPS, M. L. & DAVID, A. S. 1995. Facial Processing in Schizophrenia and Delusional Misidentification - Cognitive Neuropsychiatric Approaches. *Schizophrenia Research,* 17**,** 109-114.

PHILLIPS, M. L., MEDFORD, N., YOUNG, A. W., WILLIAMS, L., WILLIAMS, S. C., BULLMORE, E. T., GRAY, J. A. & BRAMMER, M. J. 2001. Time courses of left and right amygdalar responses to fearful facial expressions. *Hum Brain Mapp,* 12**,** 193-202.

PRESTON, S. D. & DE WAAL, F. B. 2002. Empathy: Its ultimate and proximate bases. *Behav Brain Sci,* 25**,** 1-20; discussion 20-71.

PROCHNOW, D., DONELL, J., SCHAFER, R., JORGENS, S., HARTUNG, H. P., FRANZ, M. & SEITZ, R. J. 2011. Alexithymia and impaired facial affect recognition in multiple sclerosis. *Journal of Neurology,* 258**,** 1683-1688.

RIZZOLATTI, G. & CRAIGHERO, L. 2004. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci,* 27**,** 169-92.

RIZZOLATTI, G., LUPPINO, G. & MATELLI, M. 1998. The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol,* 106**,** 283-96.

ROSCH, E., MERVIS, C. B., GRAY, W. D., JOHNSON, D. M. & BOYESBRAEM, P. 1976. Basic Objects in Natural Categories. *Cognitive Psychology,* 8**,** 382-439.

ROSEN, B. R., BUCKNER, R. L. & DALE, A. M. 1998. Event-related functional MRI: past, present, and future. *Proc Natl Acad Sci U S A,* 95**,** 773-80.

SAPIR, E. 1927. The unconscious patterning of behavior in society. In E. S. Dummer (Ed.), *The unconscious: A symposium.* New York: Knopf, 1927. (Reprinted in D. G. Mandelbaum (Ed.), *Selected writings of Edward Sapir in language, culture and personality.* Berkeley and Los Angeles: University of California Press. 1963.)

SCHILTZ, C., DRICOT, L., GOEBEL, R. & ROSSION, B. 2010. Holistic perception of individual faces in the right middle fusiform gyrus as evidenced by the composite face illusion. *J Vis,* 10**,** 25 1-16.

SCHULTE-RUTHER, M., MARKOWITSCH, H. J., FINK, G. R. & PIEFKE, M. 2007. Mirror neuron and theory of mind mechanisms involved in face-to-face interactions: a functional magnetic resonance imaging approach to empathy. *J Cogn Neurosci,* 19**,** 1354-72.

SEITZ, R. J., FRANZ, M. & AZARI, N. P. 2009. Value judgments and self-control of action: the role of the medial frontal cortex. *Brain Res Rev,* 60**,** 368-78.

SEITZ, R. J., NICKEL, J. & AZARI, N. P. 2006. Functional modularity of the medial prefrontal cortex: involvement in human empathy. *Neuropsychology,* 20**,** 743-51.

SEITZ, R. J., SCHAFER, R., SCHERFELD, D., FRIEDERICHS, S., POPP, K., WITTSACK, H. J., AZARI, N. P. & FRANZ, M. 2008. Valuating other people's emotional face expression: a combined functional magnetic resonance imaging and electroencephalography study. *Neuroscience,* 152**,** 713-22.

SHAMAY-TSOORY, S. G. & AHARON-PERETZ, J. 2007. Dissociable prefrontal networks for cognitive and affective theory of mind: a lesion study. *Neuropsychologia,* 45**,** 3054-67.

SHAMAY-TSOORY, S. G., AHARON-PERETZ, J. & PERRY, D. 2009. Two systems for empathy: a double dissociation between emotional and cognitive empathy in inferior frontal gyrus versus ventromedial prefrontal lesions. *Brain,* 132**,** 617-27.

SNOW, M. E., HERTZIG, M. E. & SHAPIRO, T. 1987. Expression of emotion in young autistic children. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry,* 26**,** 836-8.

SUCHAN, B., MELDE, C., HERZOG, H., HOMBERG, V. & SEITZ, R. J. 2008. Activation differences in observation of hand movements for imitation or velocity judgement. *Behav Brain Res,* 188**,** 78-83.

SUGASE-MIYAMOTO, Y., MATSUMOTO, N. & KAWANO, K. 2011. Role of temporal processing stages by inferior temporal neurons in facial recognition. *Front Psychol,* 2**,** 141.

SUMMERFIELD, C., EGNER, T., GREENE, M., KOECHLIN, E., MANGELS, J. & HIRSCH, J. 2006. Predictive codes for forthcoming perception in the frontal cortex. *Science,* 314**,** 1311-4.

TALAIRACH, J., TOURNOUX, P. 1988. Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain. Thieme.

TREPEL, M. 2008. Neuroanatomie, Struktur und Funktion. Elsevier Urban und Fischer, 4. Auflage, 258-59.

UHLENBROCK, D., FORSTING, M. 2007. MRT und MRA des Kopfes. Thieme, 2. Auflage, 2-28, 186-196.

UNGERLEIDER, L. G. & HAXBY, J. V. 1994. 'What' and 'where' in the human brain. *Curr Opin Neurobiol,* 4**,** 157-65.

VAN 'T WOUT, M., KAHN, R. S., SANFEY, A. G. & ALEMAN, A. 2005. Repetitive transcranial magnetic stimulation over the right dorsolateral prefrontal cortex affects strategic decision-making. *Neuroreport,* 16**,** 1849-52.

VAN DEN BOS, W. & GUROGLU, B. 2009. The role of the ventral medial prefrontal cortex in social decision making. *J Neurosci,* 29**,** 7631-2.

VERNON, M. 1977. Gesture, Race and Culture - Efron,D. *American Annals of the Deaf,* 122**,** 458-458.

VOGELS, R., SARY, G., DUPONT, P. & ORBAN, G. A. 2002. Human brain regions involved in visual categorization. *NeuroImage,* 16**,** 401-14.

VOGL, T.J., REITH, W., RUMMERY, E.J. 2011. Diagnostische und Interventionelle Radiologie. Springer, 3-273.

VUILLEUMIER, P. & POURTOIS, G. 2007. Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia,* 45**,** 174-94.

WHALEN, P. J., RAUCH, S. L., ETCOFF, N. L., MCINERNEY, S. C., LEE, M. B. & JENIKE, M. A. 1998. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J Neurosci,* 18**,** 411-8.

XI, C., ZHU, Y., NIU, C., ZHU, C., LEE, T. M., TIAN, Y. & WANG, K. 2011. Contributions of subregions of the prefrontal cortex to the theory of mind and decision making. *Behav Brain Res,* 221**,** 587-93.

YOUNG, A. W., ROWLAND, D., CALDER, A. J., ETCOFF, N. L., SETH, A. & PERRETT, D. I. 1997. Facial expression megamix: tests of dimensional and category accounts of emotion recognition. *Cognition,* 63**,** 271-313.

XIII Anhang

Anhang 1 Edinburgh Inventory nach Oldfield (1971), deutsche Version

Anhang 2 Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) nach Bagby et al. (1994), deutsche Version

Anhang 3 Self Assessment Manikin (SAM) nach Bradley et al. (1994)

Anhang 4 Mittlere regionale Aktivierungsparameter β

Anhang 5 Korrelationsanalysen nach Spearman-Rho

1. Anhang 1

Edinburgh-Fragebogen zur Erfassung der Händigkeit (nach Oldfield, 1971)

Patienten-Kennung: …….

„Ich nenne Ihnen jetzt einige Tätigkeiten – sagen sie mir bitte jeweils, ob sie dazu Ihre rechte oder linke Hand benutzen."

Wenn sich der Proband absolut nicht entscheiden kann, welche Hand er bevorzugt, machen sie in beide Spalten ein Kreuz. Wenn der Proband angibt, dass er diese Tätigkeiten überhaupt nie ausführt bzw. ausgeführt hat, lassen sie beide Spalten frei.

	R	L
Mit welcher Hand schreiben Sie?		
Mit welcher Hand zeichnen Sie?		
Mit welcher Hand werfen Sie einen Ball?		
In welcher Hand halten Sie eine Schere beim Schneiden?		
In welcher Hand halten Sie die Zahnbürste beim Zähneputzen?		
In welcher Hand halten Sie das Messer beim Essen?		
In welcher Hand halten Sie den Löffel beim Essen?		
Welche Hand halten Sie oben am Besen wenn Sie fegen?		
In welcher Hand halten Sie das Streichholz beim Anzünden?		
Mit welcher Hand schrauben Sie von einer Dose den Deckel ab?		
In welcher Hand halten Sie einen Schraubenzieher?		
In welcher Hand halten Sie einen Hammer, wenn Sie einen Nagel in die Wand schlagen?		
Welche Hand haben Sie an der Schaufel, wenn Sie Schnee schippen?		
Mit welcher Hand teilen Sie beim Spielen Karten aus?		
Summe		

$$HQ = \frac{Summe\ R - Summe\ L}{Summe\ R + Summe\ L} * 100 =$$

2. Anhang 2

Toronto Alexithymia Scale (TAS-20) nach Bagby et al. (1994), deutsche Version

TAS-20

Name: Vorname: Datum:

Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐ Geburtsdatum:

Höchster Schulabschluß: keiner ☐ Sonderschule ☐ Hauptschule ☐ mittlere Reife ☐ Abitur/Fachabitur ☐ Universität / FH ☐ Beruf: Mutter-sprache:

Ich bin Rechtshänder ☐ Linkshänder ☐

Waren Sie im letzten viertel Jahr in ärztlicher oder zahnärztlicher Behandlung? Wenn ja, wo?

Nehmen Sie Medikamente? Wenn ja, welche?

Telefon:

Bitte kreuzen Sie an, inwieweit die folgenden 20 Aussagen auf Sie zutreffen. Sie können den Grad Ihrer Zustimmung oder Ablehnung anhand einer 5-Punkte-Skala einschätzen:

1 = trifft überhaupt nicht zu
2 = trifft selten zu
3 = trifft teilweise zu, teilweise auch nicht
4 = trifft oft zu
5 = trifft immer zu

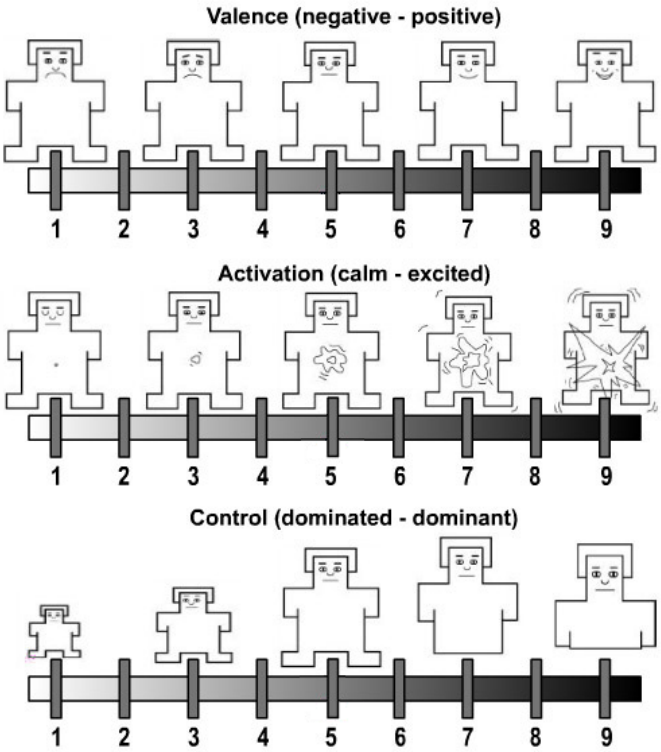
1. Mir ist oft unklar, welche Gefühle ich gerade habe.	1---2---3---4---5
2. Es fällt mir schwer, die richtigen Worte für meine Gefühle zu finden.	1---2---3---4---5
3. Ich habe körperliche Empfindungen, die sogar die Ärzte nicht verstehen.	1---2---3---4---5
4. Es fällt mir leicht, meine Gefühle zu beschreiben.	1---2---3---4---5
5. Ich gehe Problemen lieber auf den Grund, als sie nur zu beschreiben	1---2---3---4---5
6. Wenn mich etwas aus der Fassung gebracht hat, weiß ich oft nicht, ob ich traurig, ängstlich oder wütend bin.	1---2---3---4---5
7. Ich bin oft über Vorgänge in meinem Körper verwirrt.	1---2---3---4---5
8. Ich lasse die Dinge lieber einfach geschehen und versuche nicht herauszufinden, warum sie gerade so passiert sind.	1---2---3---4---5
9. Einige meiner Gefühle kann ich gar nicht richtig benennen.	1---2---3---4---5
10. Sich mit Gefühlen zu beschäftigen finde ich sehr wichtig.	1---2---3---4---5
11. Ich finde es schwierig zu beschreiben, was ich für andere Menschen empfinde.	1---2---3---4---5
12. Andere fordern mich auf, meine Gefühle mehr zu beschreiben.	1---2---3---4---5
13. Ich weiß nicht, was in mir vorgeht.	1---2---3---4---5
14. Ich weiß oft nicht, warum ich wütend bin.	1---2---3---4---5
15. Ich unterhalte mich mit anderen nicht so gerne über ihre Gefühle, sondern lieber darüber, womit sie sich täglich beschäftigen.	1---2---3---4---5
16. Ich sehe mir lieber „leichte" Unterhaltungssendungen als psychologische Problemfilme an.	1---2---3---4---5
17. Es fällt mir schwer, selbst engen Freunden gegenüber meine innersten Gefühle mitzuteilen.	1---2---3---4---5
18. Ich kann mich jemandem sogar in Augenblicken des Schweigens sehr nahe fühlen.	1---2---3---4---5
19. Ich finde, daß das Mir-Klarwerden über meine persönlichen Gefühle wichtig ist, wenn ich persönliche Probleme lösen muß.	1---2---3---4---5
20. Durch die Suche nach verborgenen Bedeutungen nimmt man sich das Vergnügen an Filmen oder Theaterstücken.	1---2---3---4---5

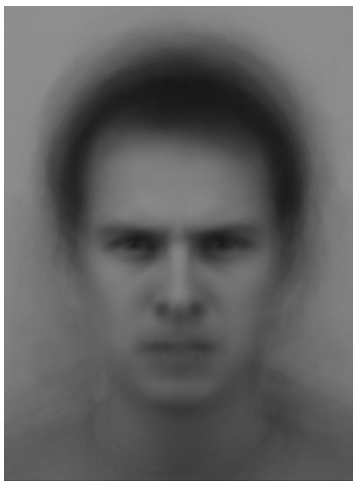
TAS-20 (Taylor, Bagby & Parker 1992)

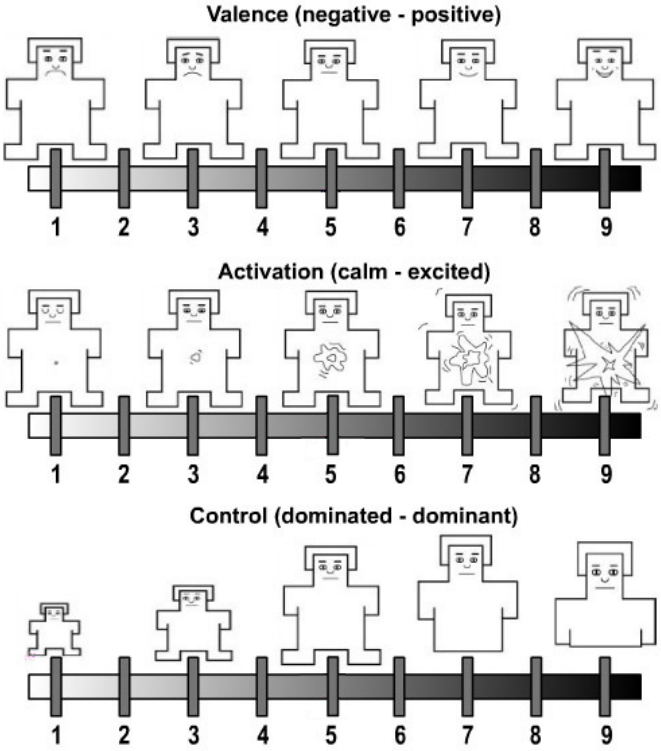
3. Anhang 3

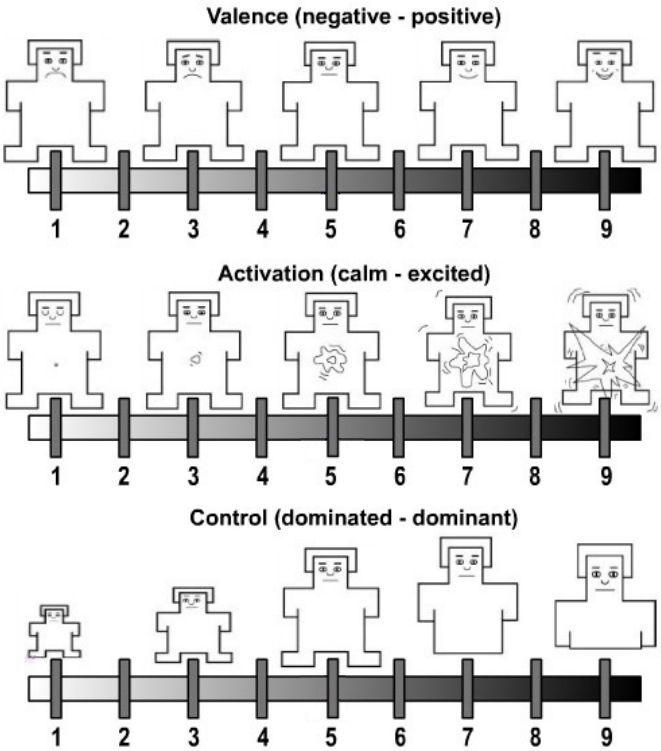
Self Assessment Manikin (SAM) nach Bradley et al. (1994)

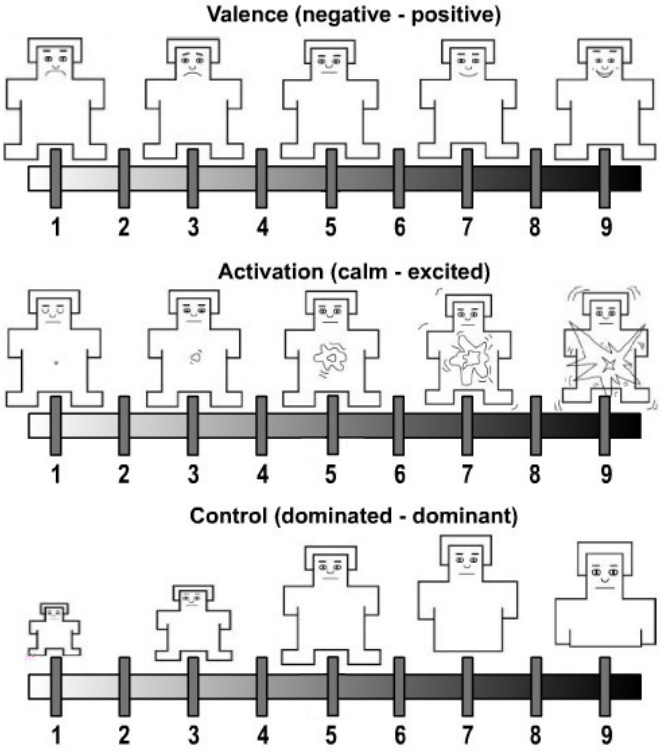
„Bitte bewerten Sie die eben gesehenen Sequenzen von Gesichtern und Gesten anhand der nachfolgenden Bilder durch Ankreuzen. In der ersten Spalte sollen Sie die Valenz der Bilder beurteilen, also wie positiv oder negativ Sie die Emotionen empfunden haben. Die zweite Spalte zeigt das Arousal an. Damit gemeint ist das Maß an innerem Aufruhr, das Sie beim Betrachten der Emotion spürten. In der dritten Zeile sollen Sie angeben, wie dominant Sie die jeweilige Emotion empfunden haben."

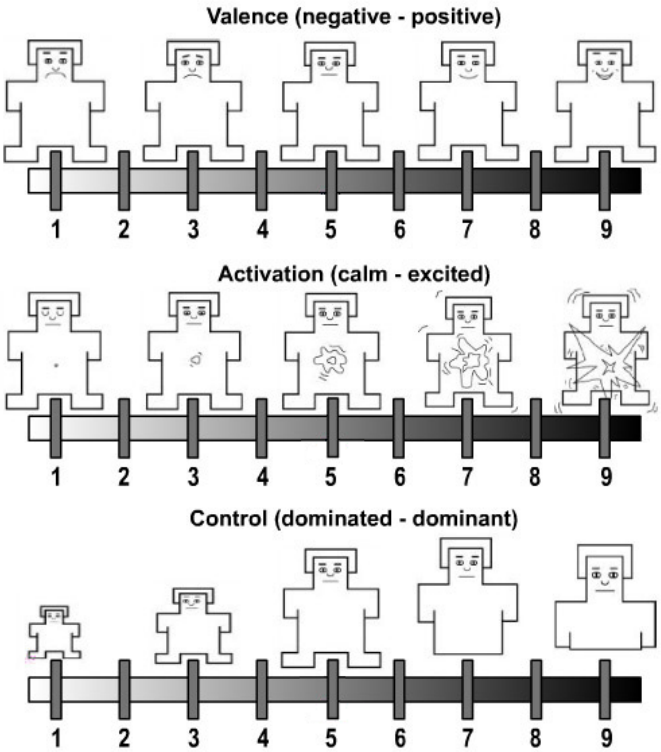


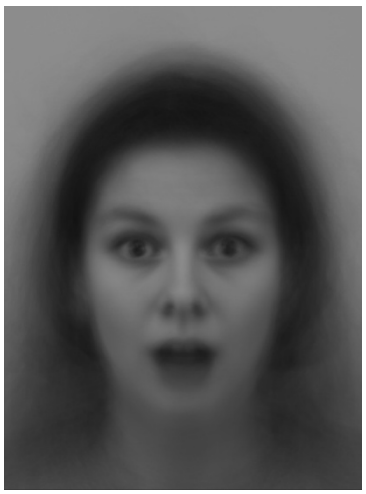


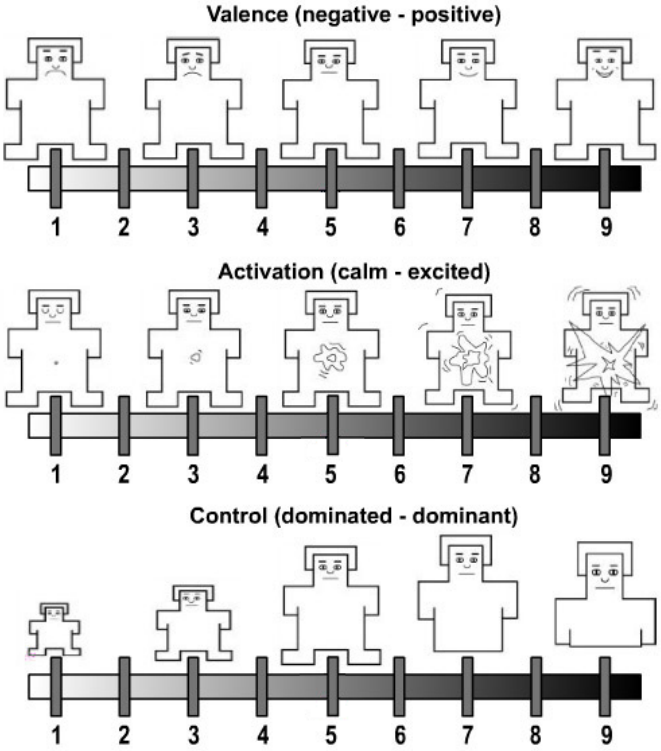

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

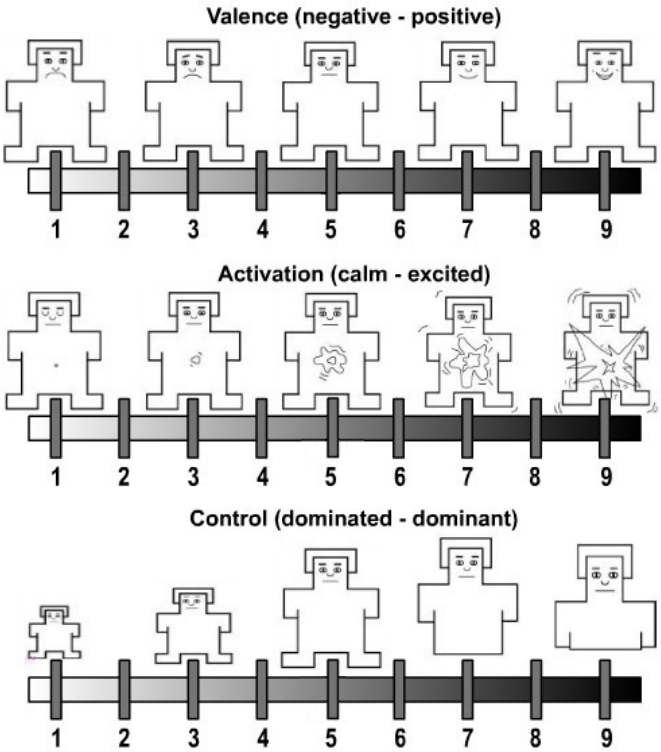

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

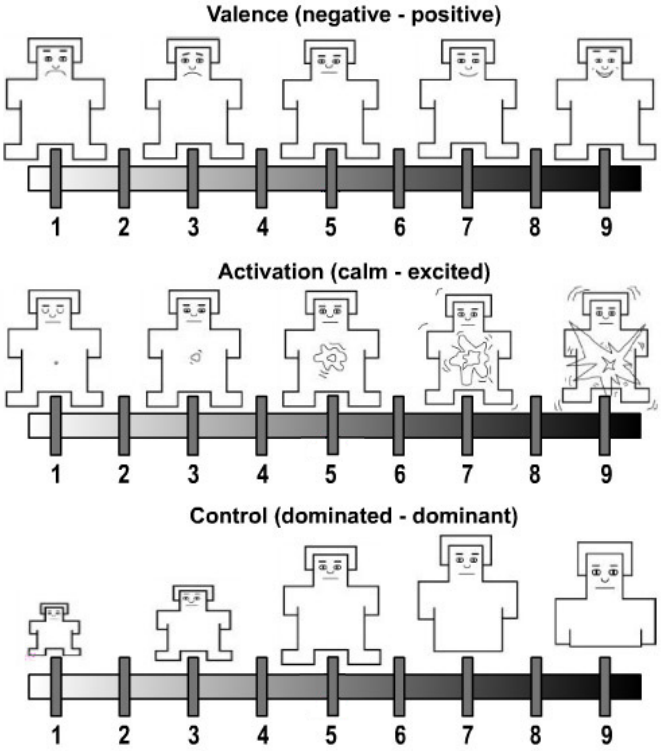

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

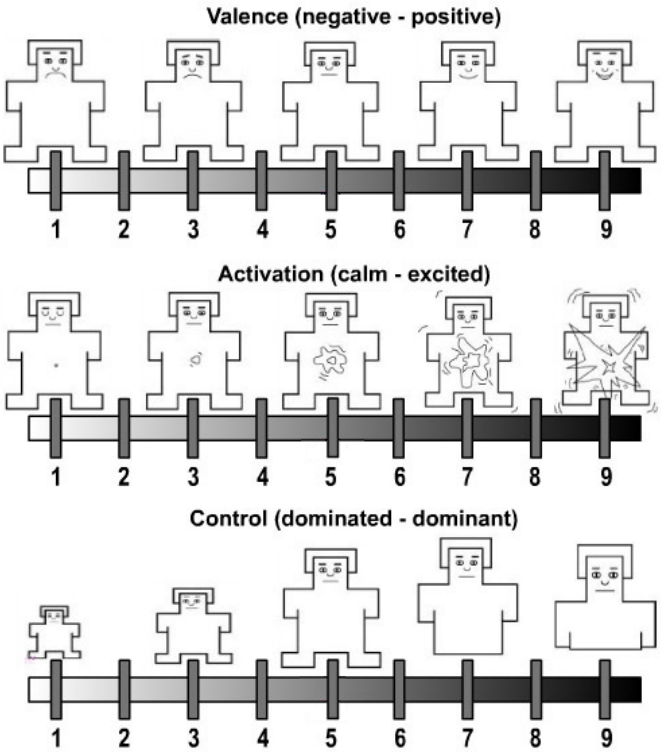

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

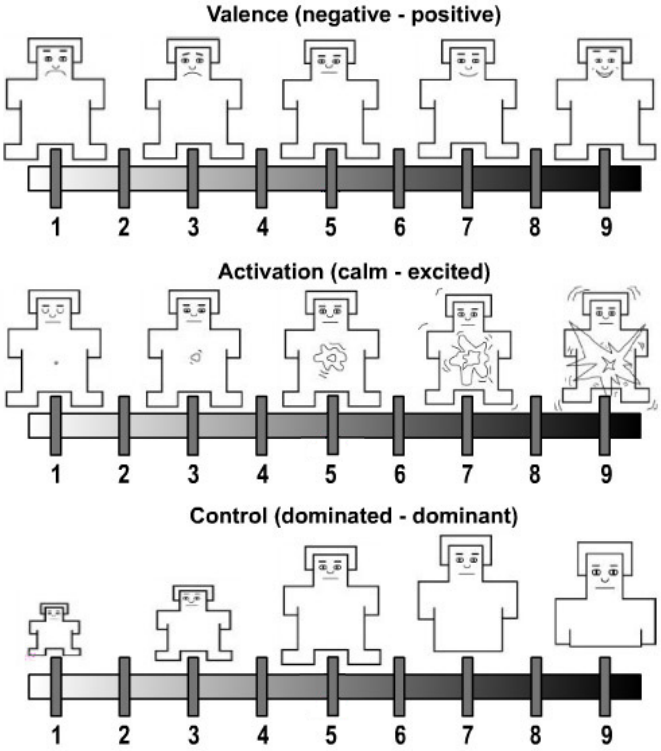


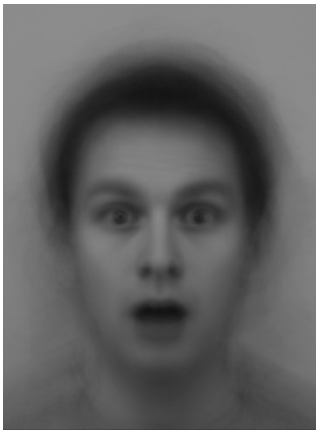

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

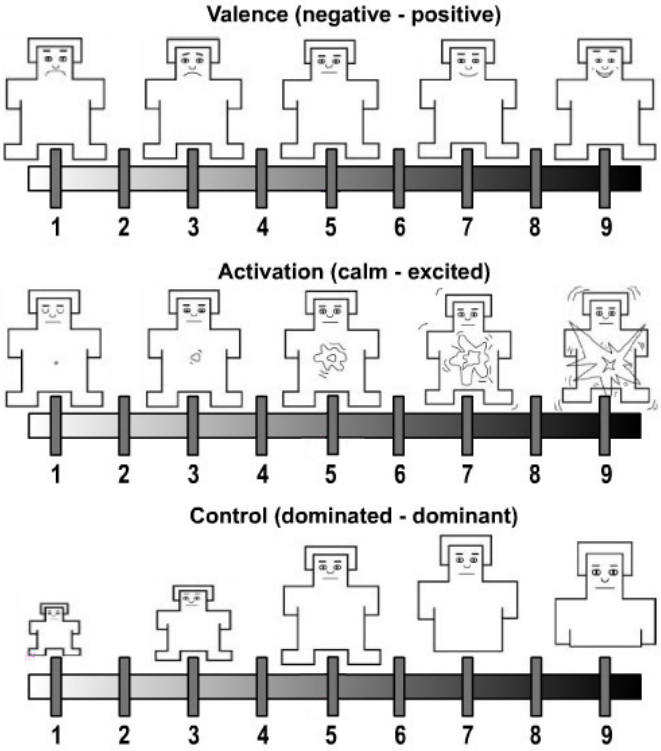

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

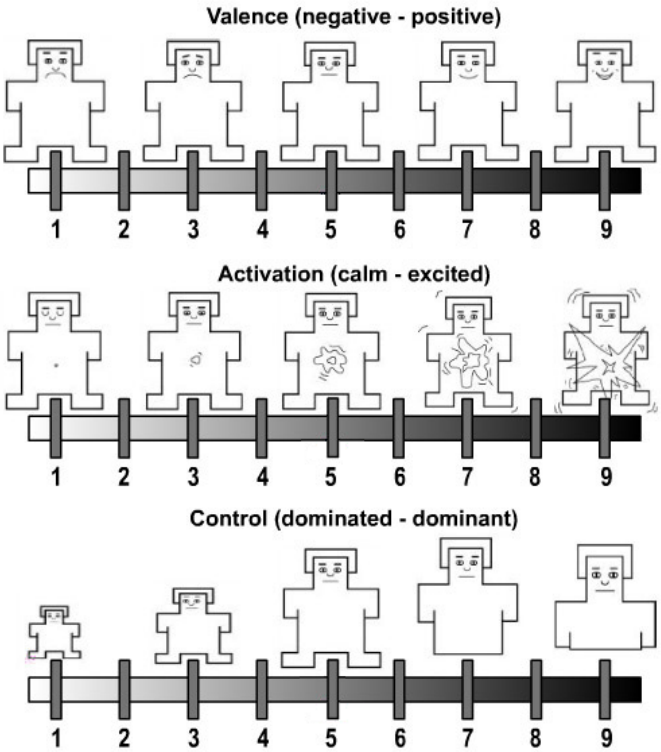

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

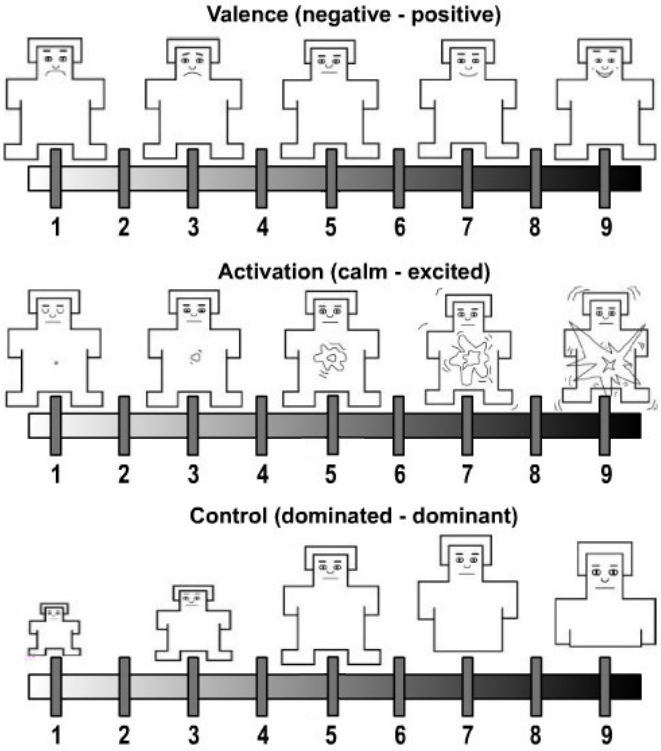

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

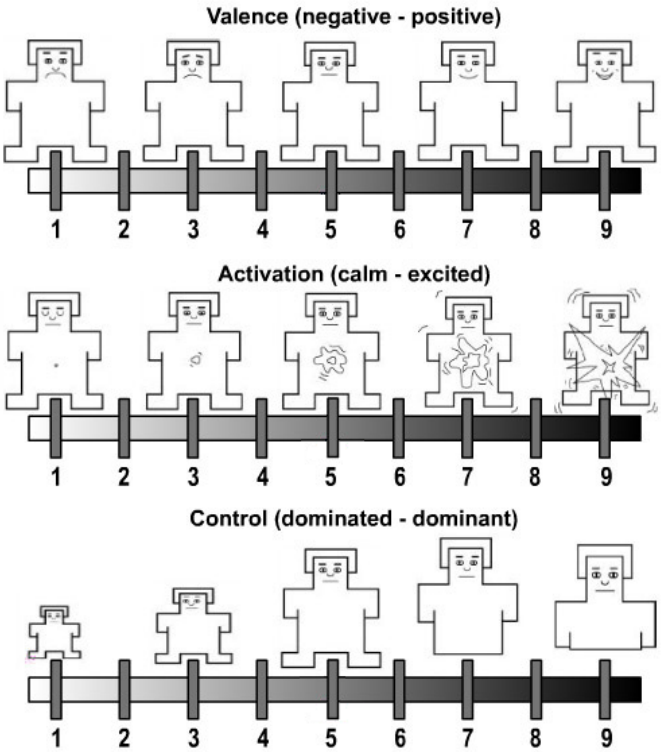

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

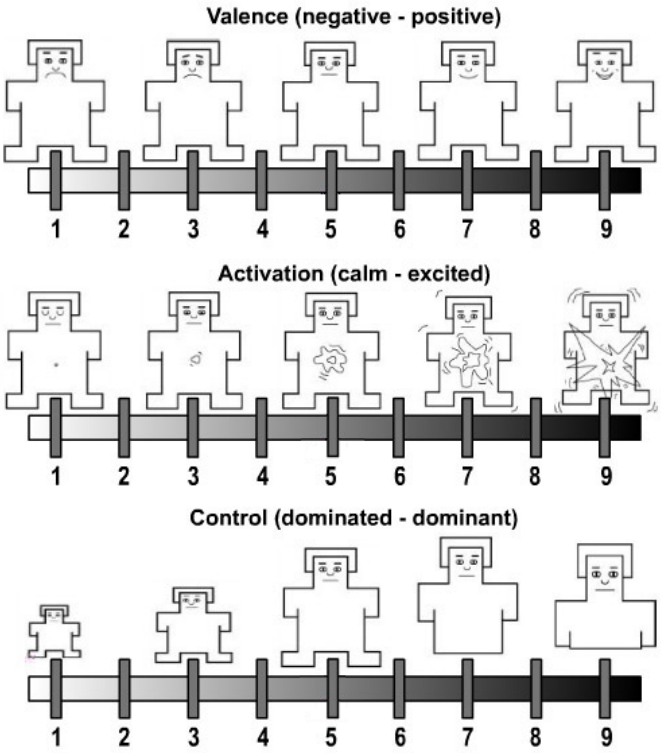


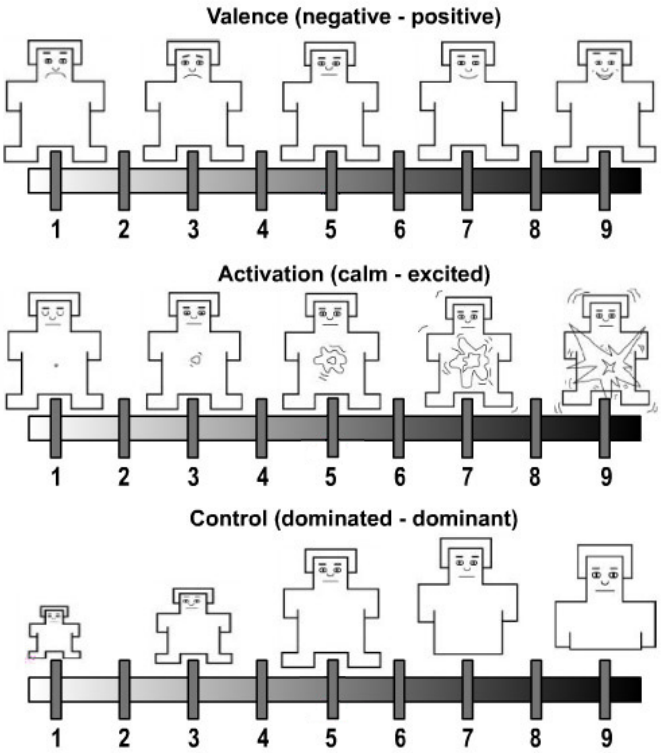

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

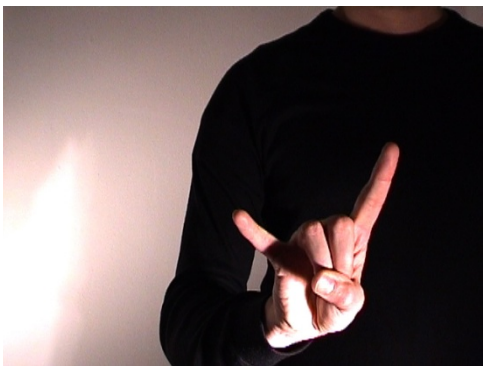

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

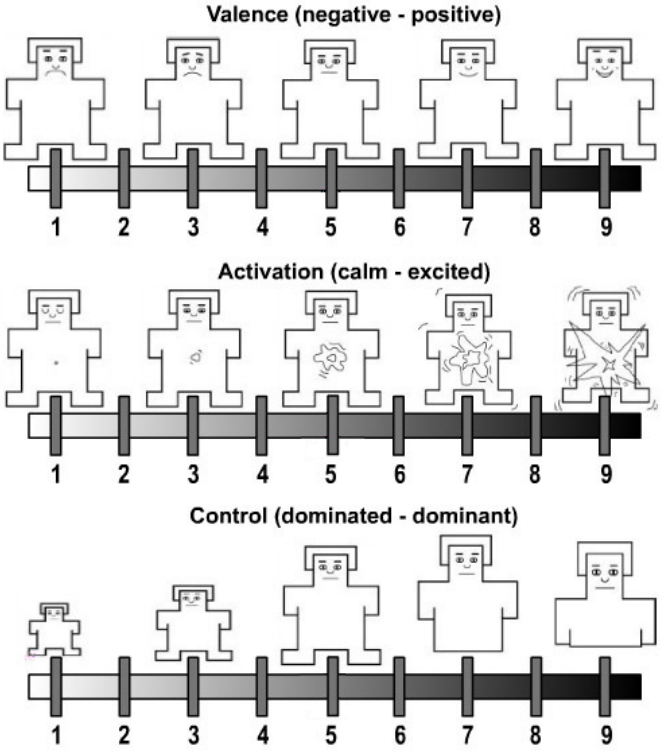

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

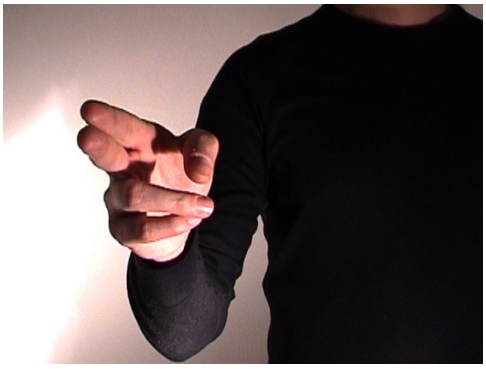

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

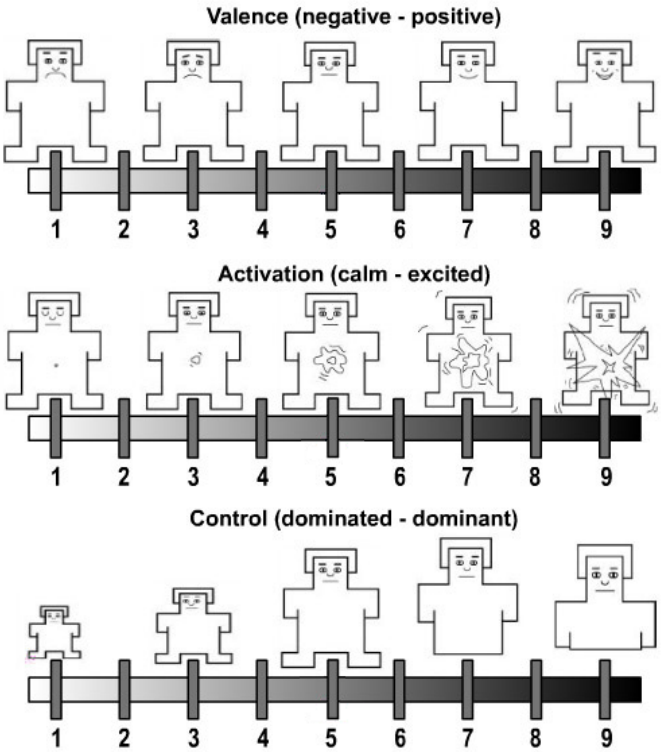

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

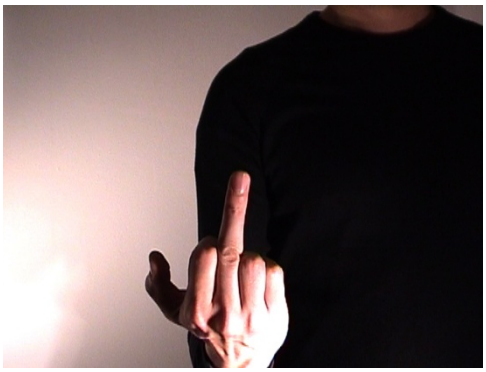

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

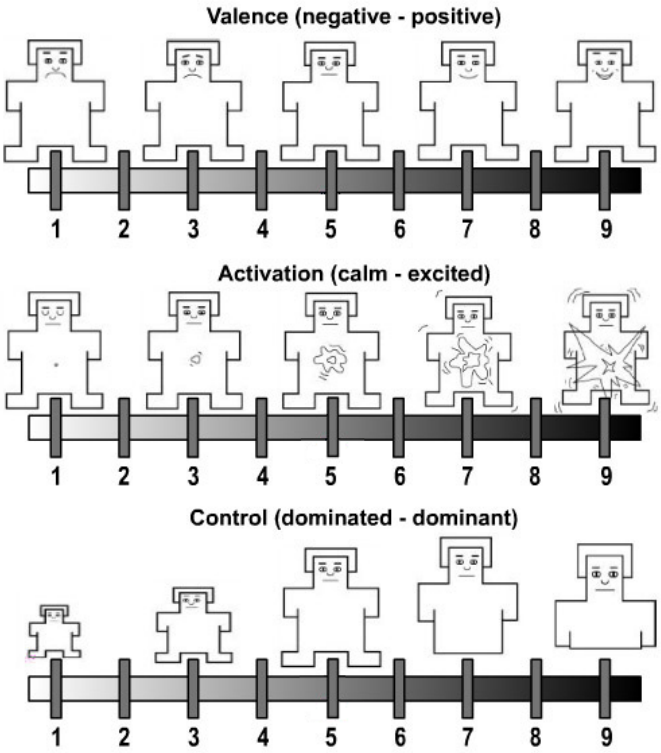


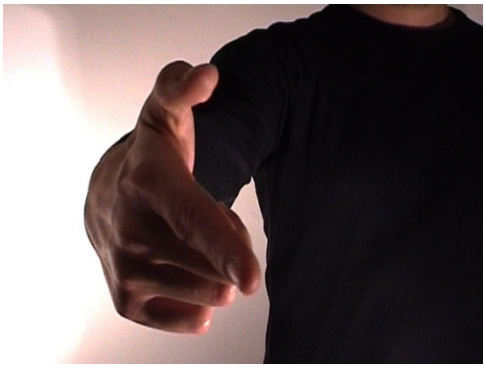

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

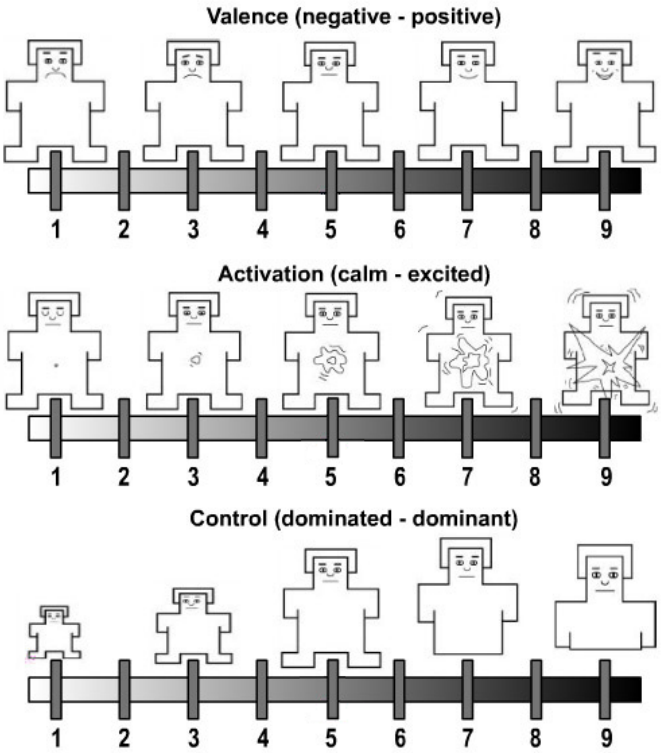


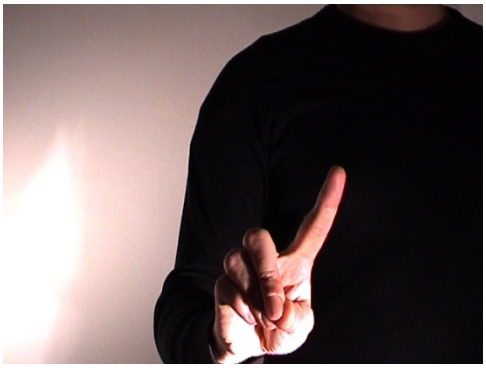

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

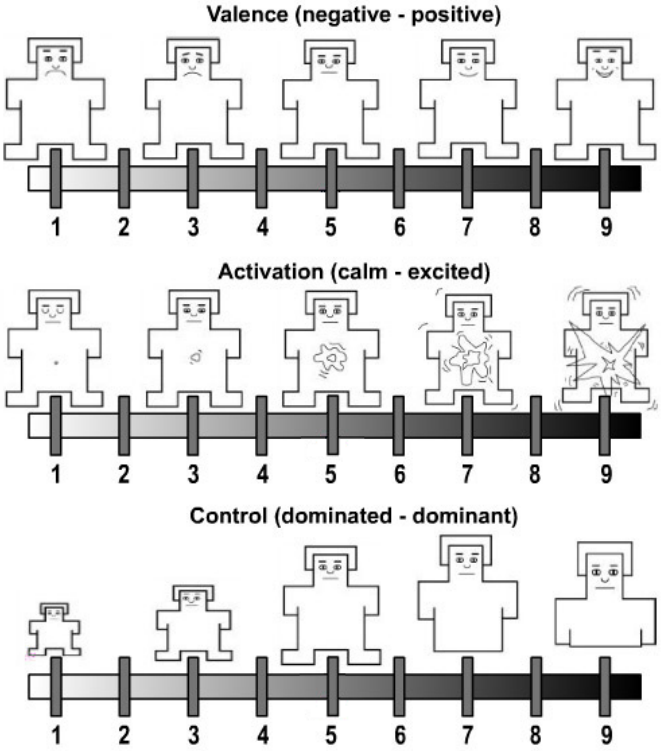


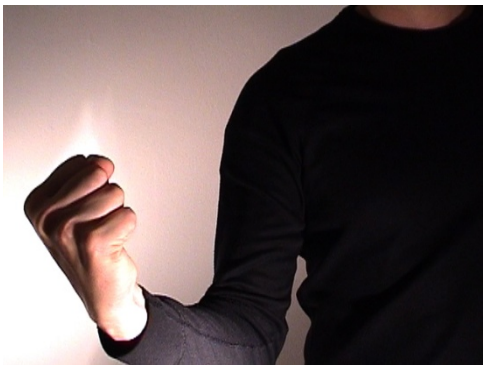

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

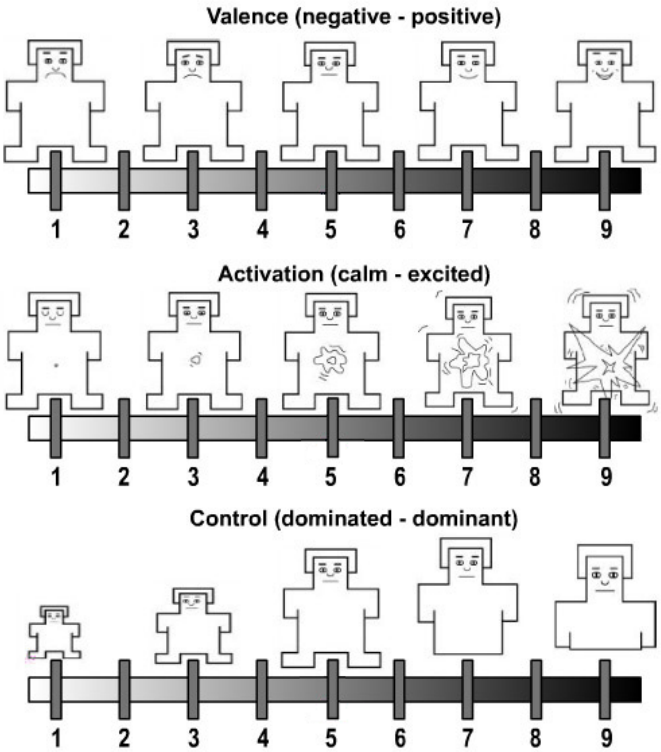


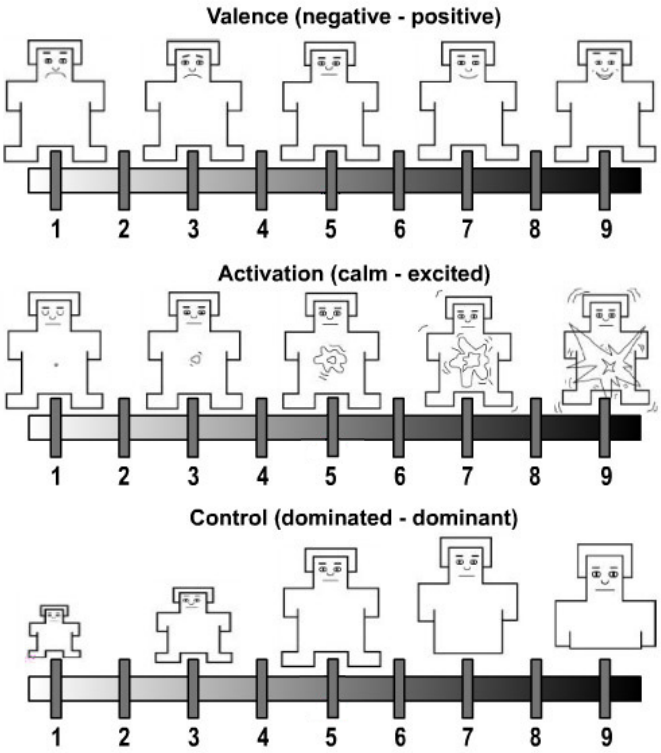

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

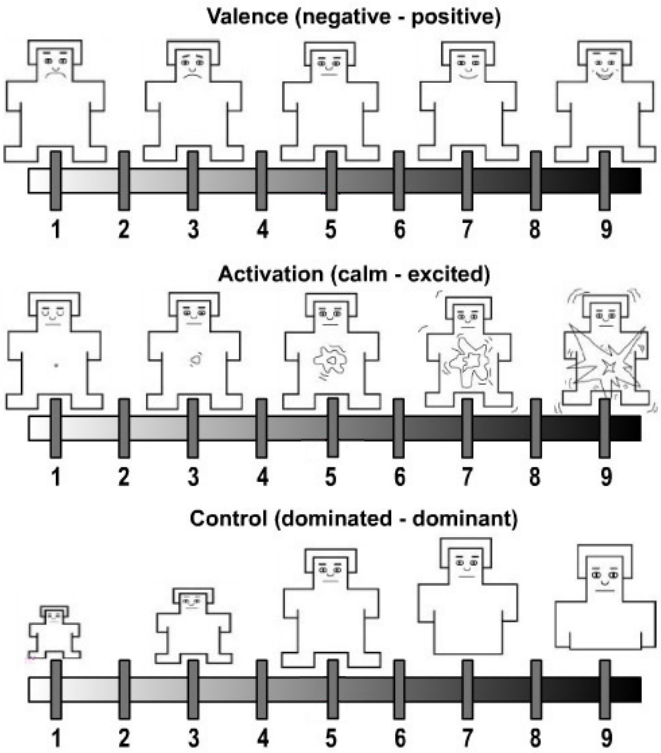


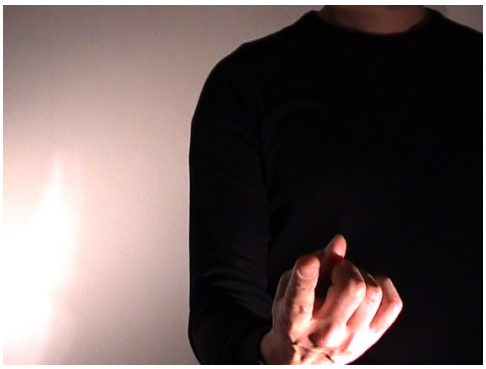

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

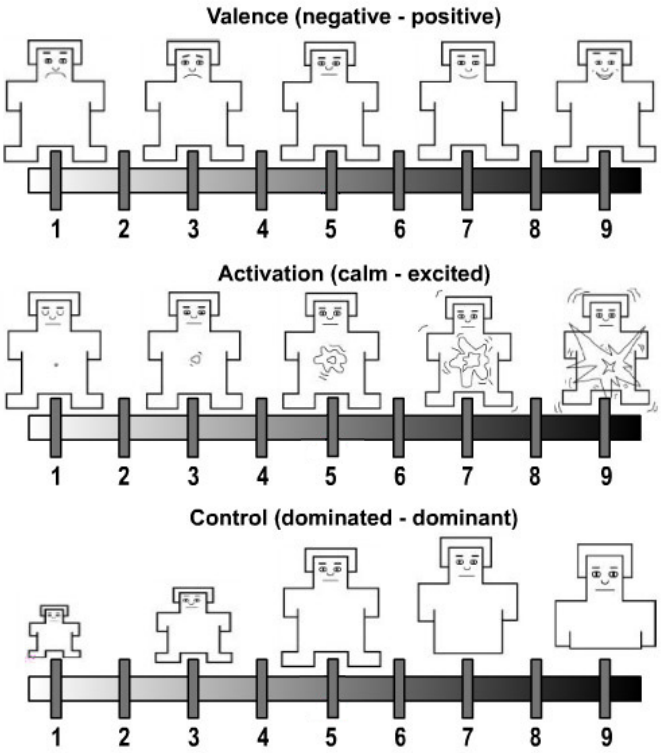


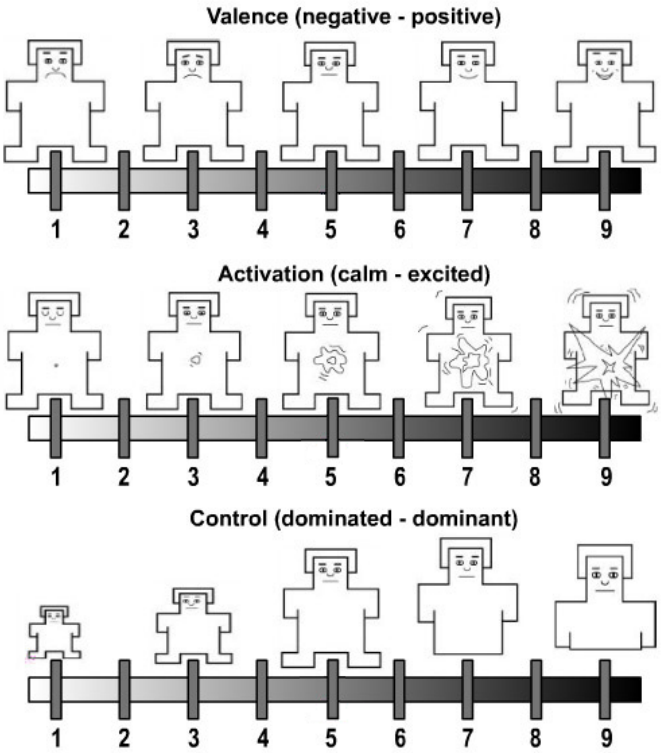

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

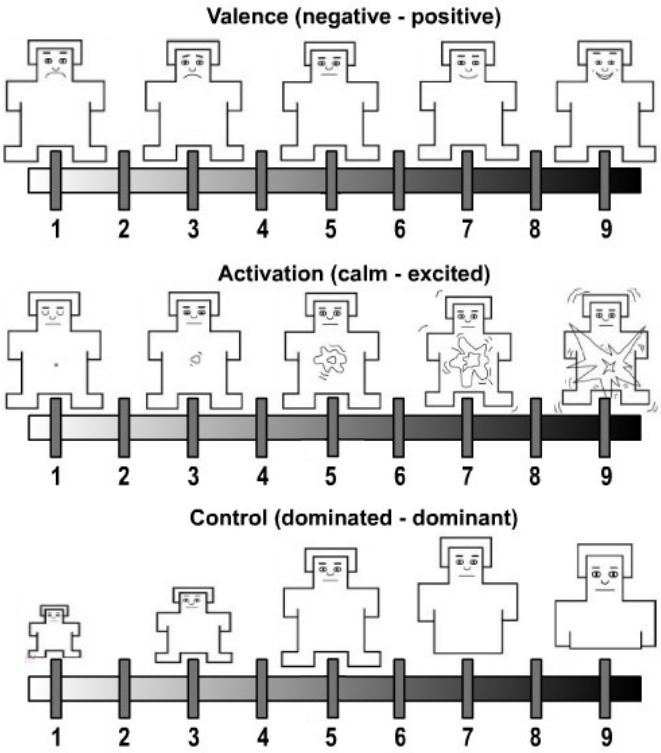

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

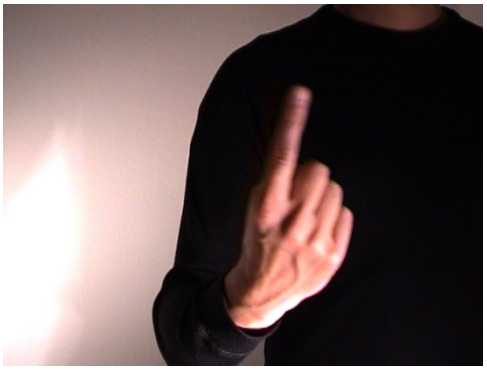

Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

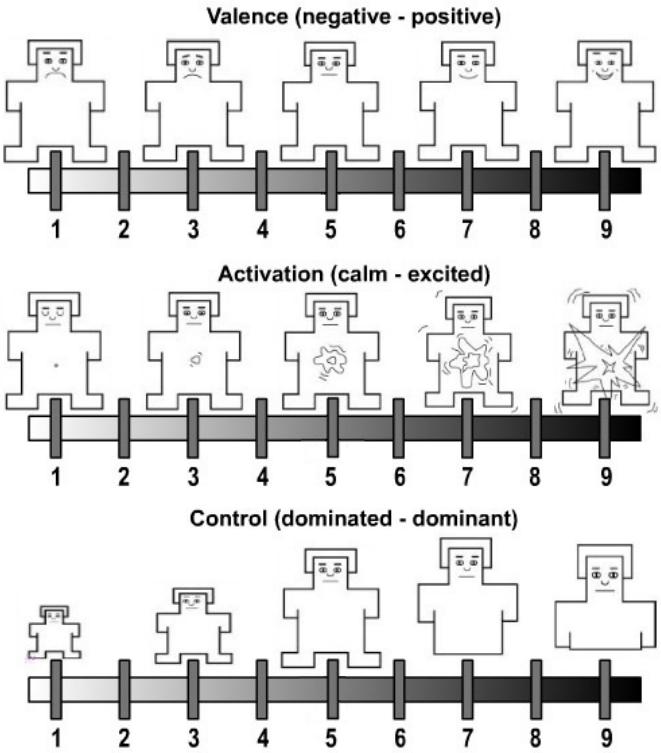



Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9


Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9


Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9




Valence (negative - positive)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Activation (calm - excited)
1 2 3 4 5 6 7 8 9
Control (dominated - dominant)
1 2 3 4 5 6 7 8 9

4. Anhang 4

Mittlere regionale Aktivierungsparameter β

Tabelle 5 Deskriptive Statistik bei gepaarten Stichproben

*Die Regionen mit den korrespondierenden Zeitpunkten sind **fett** dargestellt. Zu jeder Region finden sich Mittelwert (M) der regionalen Aktivierungsparameter β, Probandenanzahl (n), Standardabweichung (SD) sowie Standardfehler (SE) des Mittelwertes.*

Region	M	n	SD	SE des Mittelwertes
IFG Wahrnehmung	2,19	16	2,64	0,66
IFG Diskrimination	13,31	16	18,22	4,56
DLPFC Wahrnehmung	0,686	16	1,52	0,38
DLPFC Diskrimination	15,24	16	23,03	5,76
DMFC Wahrnehmung	2,64	16	2,31	0,58
DMFC Diskrimination	-10,92	16	23,91	5,98
ITG Wahrnehmung	3,67	16	1,94	0,48
ITG Diskrimination	7,79	16	15,51	3,88

DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Kortex; DMFC = dorsomedialer frontaler Kortex; IFG = inferiorer frontaler Gyrus; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; M = Mittelwert; n = Probandenanzahl; SD = Standardabweichung; SE = Standardfehler.

Tabelle 6 Test bei gepaarten Stichproben

*Die Regionen mit den zugehörigen Zeitpunkten sind **fett** dargestellt. Zu jeder Stichprobe finden sich das korrespondierende 95 % Konfidenzintervall, T-Wert, df-Wert, Signifikanzniveau und die Effektstärke (Cohen´s d).*

Region	95 % Konfidenzintervall	T	df	Signifikanzniveau (2-seitig)	Cohen´s d
	Obere				
IFG Wahr – **IFG** Disk	-0,25	-2,18	15	0,045	0,9
DLPFC Wahr - **DLPFC** Disk	-1,67	-2,41	15	0,029	0,9
DMFC Wahr - **DMFC** Disk	27,16	2,13	15	0,05	0,8
ITG Wahr - **ITG** Disk	4,30	-1,04	15	0,313	0,4

Disk = Diskrimination; DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Kortex; DMFC = dorsomedialer frontaler Kortex; df = df-Wert; IFG = inferiorer frontaler Gyrus; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; T = T-Wert; Wahr = Wahrnehmung.

5. Anhang 5

Korrelationsanalysen nach Spearman-Rho

Tabelle 7 Korrelationsanalysen nach Spearman-Rho zum Zeitpunkt Wahrnehmung

*Die aktivierten Regionen sind **fett** dargestellt. Zu jedem Paar finden sich Korrelationskoeffizient, Signifikanzniveau (Sig.) und die Probandenanzahl (n).*

		IFG	DLPFC	DMFC	ITG
IFG	Korrelationskoeffizient	1,000	0,538	0,879	0,674
	Sig. (2-seitig)		0,031	0,000	0,004
	n	16	16	16	16
DLPFC	Korrelationskoeffizient	0,538	1,000	0,650	0,603
	Sig. (2-seitig)	0,031		0,006	0,013
	n	16	16	16	16
DMFC	Korrelationskoeffizient	0,879	0,650	1,000	0,732
	Sig. (2-seitig)	0,000	0,006		0,001
	n	16	16	16	16
ITG	Korrelationskoeffizient	0,674	0,603	0,732	1,000
	Sig. (2-seitig)	0,004	0,013	0,001	
	n	16	16	16	16

DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Kortex; DMFC = dorsomedialer frontaler Kortex; IFG = inferiorer frontaler Gyrus; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; n = Probandenanzahl; Sig = Signifikanzniveau.

Tabelle 8 Korrelationsanalysen nach Spearman-Rho zum Zeitpunkt Diskrimination

*Die aktivierten Regionen sind **fett** dargestellt. Zu jedem Paar finden sich Korrelationskoeffizient, Signifikanzniveau (Sig.) und die Probandenanzahl (n).*

		IFG	DLPFC	DMFC	ITG
IFG	Korrelationskoeffizient	1,000	0,550	0,735	0,509
	Sig. (2-seitig)		0,027	0,001	0,044
	n	16	16	16	16
DLPFC	Korrelationskoeffizient	0,550	1,000	0,868	0,309
	Sig. (2-seitig)	0,027		0,000	0,244
	n	16	16	16	16
DMFC	Korrelationskoeffizient	0,735	0,868	1,000	0,312
	Sig. (2-seitig)	0,001	0,000		0,240
	n	16	16	16	16
ITG	Korrelationskoeffizient	0,509	0,309	0,312	1,000
	Sig. (2-seitig)	0,044	0,244	0,240	
	n	16	16	16	16

DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Kortex; DMFC = dorsomedialer frontaler Kortex; IFG = inferiorer frontaler Gyrus; ITG = inferiorer temporaler Gyrus; n = Probandenanzahl; Sig = Signifikanzniveau.

XIV Danksagung

Zwei Personen hatten besonderen Anteil am Gelingen dieser Arbeit, das waren meine Betreuerin, **Frau Dipl. Psych. Denise Prochnow**, und mein Doktorvater, **Herr Prof. Dr. Rüdiger J. Seitz**.

Liebe Denise,

vielen Dank für deine Unterstützung. Ich konnte immer mit Problemen zu Dir kommen, während den Messungen, während der Auswertung oder beim Schreiben der Arbeit. Trotz deiner zahlreichen anderen Aufgaben fandest Du immer ein offenes Ohr und warst stets hilfsbereit. Danke dafür! Ich finde, alle Doktoranden, die in Zukunft von Dir betreut werden, hätten es nicht besser treffen können und können froh sein, dass sie jemanden wie Dich in der Arbeitsgruppe haben. Mach weiter so.

Lieber Herr Seitz,

bei Ihnen möchte ich mich ganz herzlich für die Bereitstellung des Themas und ihre Unterstützung und Betreuung bedanken. Im Gegensatz zu vielen anderen Doktorvätern waren Sie stets leicht erreichbar und an der Lösung von aufgetretenen Problemen interessiert. Ich habe ihre Betreuung als sehr fair empfunden und fand das Klima in der Arbeitsgruppe äußerst angenehm. Durch ihre fröhliche und optimistische Art haben Sie nie Zweifel am Erfolg der Studie aufkommen lassen. Vielen Dank!

Bei Frau Erika Rädisch möchte ich mich für ihre kompetente Unterstützung bei den fMRT-Messungen bedanken.

Bei meiner Freundin, Sinja Ohlsson, möchte ich mich dafür bedanken, dass sie immer für mich da ist.

XV Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

_____

Datum, Benedikt Höing

_____

Unterschrift