

Avatare in der Hirnforschung:
Ein Entwurf zur methodischen Erstellung und
Verwendung artifizierter Gesichtsstimuli

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Gisela Claussen
aus Bonn

2012

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: PD Dr. Dr. René Hurlemann
2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Rudolf H. Reich

Tag der Mündlichen Prüfung: 05.11.2012

Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
Universitätsklinikum Bonn
Direktor: Prof. Dr. Wolfgang Maier

Meinen Eltern
und Geschwistern

Was ist das Schwerste von allem? Was dir das Leichteste dünket,
Mit den Augen zu sehn, was vor den Augen dir liegt.

Johann Wolfgang von Goethe „Xenien“

(Schriftzug im alten Hörsaal Chirurgie, Universitätskliniken Bonn-Venusberg)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	8
1. Einleitung.....	9
I Vorwort.....	9
II Fachliche Grundlagen.....	10
1.1 Mimik und Emotion.....	10
1.2 Wahrnehmung und Erkennen von Gesichtern und Emotionen.....	12
1.2.1 Neuronale Modelle zur Verarbeitung von Gesichtern	12
1.2.2 Beteiligte neuronale Strukturen.....	13
1.2.3 Spiegelneuronen und Theory of Mind.....	15
1.3 Die Rolle der Amygdala bei der Verarbeitung emotionaler Gesichter.....	15
1.3.1 Anatomie und Neurophysiologie der Amygdala.....	15
1.3.2 Die Amygdala, Gesichter und Emotionen	17
1.3.2.1 Tierstudien.....	17
1.3.2.2 Läsionsstudien am Menschen und bildgebende Verfahren.....	18
1.3.2.3 Die Lateralisierungshypothese.....	19
1.3.3 Die Amygdala als Verbindungsglied zwischen Emotion und Kognition	20
1.4 Emotionale Gesichter als Stimuli.....	21
1.4.1 Dargestellte Emotionen.....	21
1.4.2 Möglichkeiten zur Generierung emotional aussagekräftiger Gesichter.....	21
1.4.3 Der Einsatz emotionaler Stimuli in der Erforschung und Therapie neuropsychiatrischer Erkrankungen.....	24
1.5 Untersuchungsmethoden zur Bewertung emotionaler Stimuli.....	26
III Fragestellung.....	29
2. Methoden.....	31
2.1 Akquirierung der Daten.....	31
2.2 Kriterien für die endgültige Auswahl.....	31

2.3 Eingeschlossene Publikationen.....	31
2.4 Untersuchte Merkmale.....	32
3. Ergebnisse.....	33
3.1 Vorstellung der untersuchten Studien.....	33
3.1.1 Behaviorale Studien	33
3.1.1.1 Spencer-Smith et al.....	33
3.1.1.2 Ku et al.	35
3.1.1.3 Kätsyri und Sams.....	36
3.1.1.4 Dyck et al.....	39
3.1.2 FMRT-Studien	40
3.1.2.1 Moser et al.....	40
3.1.2.2 Hurlemann et al.....	42
3.1.3 Elektromyographische Studien.....	43
3.1.3.1 Weyers et al.....	43
3.2 Avatargesichter versus natürliche Stimuli.....	45
3.2.1 Können die Emotionen artifizieller Gesichter korrekt zugeordnet werden?. .45	
3.2.2 Unterscheiden sich Valenz, Arousal und Intensität artifizieller und natürlicher Stimuli?.....	46
3.2.3 Wie unterscheiden sich Zuordenbarkeit, Valenz und Arousal der einzelnen Emotionen untereinander?	47
3.2.4 Wie reagiert die Amygdala auf Avatargesichter?.....	47
3.3 Weitere relevante Aspekte der Studienanalyse.....	48
3.3.1 Die Generierung emotionaler, artifizieller Gesichter	48
3.3.2 Stimuluspräsentation	50
3.3.3 Studiendesign	51
3.3.4 Probanden.....	52

4. Diskussion.....	54
Wie werden Avatargesichter im Vergleich zu Abbildungen menschlicher Gesichter wahrgenommen bzw. können sie vergleichbare Reaktionen erzielen?.....	54
Ein Entwurf zur methodischen Erstellung und Verwendung artifizierlicher Gesichtsstimuli.....	55
4.1 Die Generierung emotionaler Gesichter	55
4.1.1 Die Verwendung des FACS.....	55
4.1.2 Besonderheiten bei der Generierung der verschiedenen Emotionen.....	56
4.1.3 Variation der Intensität der Emotion.....	60
4.1.4 Einfluss des Geschlechts des Stimulus.....	61
4.1.5 Dynamische Stimuli.....	62
4.1.6 Software.....	63
4.2 Besonderheiten bei Stimuluspräsentation und Studiendesign.....	64
4.2.1 Artifizielle Gesichter und natürliche Vergleichsstimuli.....	64
4.2.2 Zeitliche Abläufe, Randomisierung und Hintergrundgestaltung.....	66
4.2.3 Aufgabe für die Probanden während der Präsentation.....	67
4.3 Probanden.....	69
4.3.1 Alter.....	69
4.3.2 Geschlecht.....	69
4.3.3 Händigkeit.....	71
4.3.4 Psychiatrische Anamnese.....	71
Resumée und Ausblick.....	72
5 .Zusammenfassung.....	75
Abbildungsverzeichnis.....	77
Tabellenverzeichnis.....	78
Literaturverzeichnis.....	79
Danksagung.....	100
Lebenslauf.....	101

Abkürzungsverzeichnis

DSM	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders
EMG	Elektromyographie
F.A.C.E.	Facial Expression. Awareness. Compassion. Emotions.
FACS	Facial Action Coding System
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
IAPS	International Affective Picture System
ms	Millisekunden
MWT-B	Mehrfach-Wortschatz-Intelligenztest B
PANAS	Positive and Negative Affect Schedule
POFA	Pictures of facial affect
SAM	Self-Assessment
SCID	Structured Clinical Interview for DSM-Disorders
TAS	Toronto Alexithymia Scale
VE	Virtual Environment
VR	Virtual Reality

1 . Einleitung

I Vorwort

Die Fähigkeit zu komplexer sozialer Interaktion und Kommunikation ist ein Merkmal, das den Menschen von allen anderen höher entwickelten Lebewesen unterscheidet. Einige Wissenschaftler begründen hierauf die Hypothese des sozialen Gehirns, die besagt, dass das Sozialverhalten zu einem entscheidenden Entwicklungsschub des menschlichen Gehirns führte (Brothers, 1990; Dunbar, 1998; Humphrey, 1976). Zwischenmenschliches Verhalten wird von Emotionen beeinflusst bzw. gesteuert. Die Fähigkeit, eigene Emotionen durch Gesichtsausdrücke schnell und effektiv zu vermitteln, ermöglicht uns ein soziales Zusammenleben. Außerdem sind die Wahrnehmung, das Erkennen und die Interpretation der Emotionen Anderer elementare und gleichzeitig hochkomplexe Prozesse, in die zahlreiche sowohl kortikale als auch subkortikale Hirnregionen involviert sind.

Die Bedeutung dieses Gefüges für die (mentale) Gesundheit offenbart sich, wenn sein fein abgestimmtes Zusammenspiel gestört ist, denn Einschränkungen in der interpersonellen Kommunikation stellen oft Symptome psychiatrischer Erkrankungen dar. Psychische Störungen, deren Großteil Angst- und Affektstörungen ausmachen (Jacobi et al., 2004), spielen eine immer größere Rolle im Gesundheitswesen; 2006 verursachten sie in Deutschland mit 27 Milliarden Euro die dritt höchsten Krankheitskosten (Statistisches Bundesamt Deutschland, 2010). Daher scheint es auch aus gesundheitsökonomischer Sicht sinnvoll, Emotionen und Einschränkungen in ihrer Wahrnehmung bzw. Expression weiter zu erforschen.

Eine bewährte Methode hierfür sind Photos emotionaler Gesichter, die in Experimenten als Stimuli für Probanden verwandt werden. Während computergenerierte Figuren und Szenarien ein nicht mehr wegzudenkender Bestandteil der Medienkultur und unseres Alltags sind (Schroeder, 2002), finden artifizielle Stimuli in den Neurowissenschaften bis

jetzt verhältnismäßig selten Anwendung. Es gibt nur wenige Studien, die sogenannte Avatargesichter (aus dem Sanskrit „Avatāra“: Abstieg, im Sinne des Abstiegs einer Gottheit in irdische Sphären) als Stimuli nutzen. Diese Arbeiten liefern großteils kontroverse Ergebnisse, und die Datenlage bezüglich der Generierung und Präsentation von Avataren im wissenschaftlichen Rahmen ist entsprechend spärlich.

In der vorliegenden Arbeit sollen Studien, die artifizielle Gesichtsstimuli verwendeten, aufgefunden und untersucht werden. Anhand der Analyseergebnisse soll systematisch dargestellt werden, welche Parameter artifizierlicher Gesichtsstimuli im wissenschaftlichen Kontext von Bedeutung sind, um einen methodischen Zugang zu ihrer Erstellung und Verwendung zu ermöglichen. Ein methodischer Versuchsaufbau bildet die Grundlage experimenteller Studien; für Studien mit Avatargesichtern scheint derzeit jedoch kein standardisiertes Verfahren zu existieren. Dies hätte allerdings den Vorteil, dass die Stimuli prinzipiell reproduzierbar und Studienergebnisse besser untereinander vergleichbar würden. Insgesamt kann diese Arbeit einen Beitrag dazu leisten, die Verwendung computergenerierter Gesichtsstimuli in der Wissenschaft weiter zu etablieren.

II Fachliche Grundlagen

1.1 Mimik und Emotion

Die Mimik ist ein Mittel zur nonverbalen Kommunikation und im Gegensatz zu Körperhaltung oder Gestik isoliert betrachtet in der Lage, Emotionen auszudrücken (Krauss et al., 1991). Guillaume Duchenne erzeugte Gesichtsausdrücke durch das Anlegen elektrischer Sonden an die Gesichtsmuskeln (Duchenne, 1862). Anhand der jeweils aktivierten Muskeln und Muskelgruppen unterteilte er die Gebärden und ordnete ihnen Emotionen zu. Durch die gerade erfundene Photographie wurde Duchenne zum ersten Wissenschaftler, der emotionale Gesichter photographisch dokumentierte. Charles Darwin ließ Duchennes Photographien weltweit beurteilen und

kam zu dem Schluss, dass ein Großteil der emotionalen Gesichter universell verständlich sei und Gesichtsausdrücke deshalb eine immense Bedeutung für das Sozialverhalten hätten (Darwin, 1872). Silvan Tomkins widmete sich Darwins Theorie und postulierte neun Affekte, die samt dazugehöriger Gesichtsausdrücke genetisch verankert und nicht kulturell geprägt seien (Nathanson, 1994). Mit seiner Arbeit inspirierte er seine Schüler Paul Ekman und Carroll Izard zu interkulturellen Studien (Ekman, 1993; Ekman et al., 1969; Izard, 1971).

Zu der Frage, warum der Mensch Mimik zeigt, gibt es verschiedene Theorien. Auf der Grundlage von Darwins Sichtweise entstand ein phylogenetisches Modell, das Emotionen als Ergebnis kognitiver Prozesse und als Initiator physischer Reaktionen sieht. Auf dieser Vorstellung erarbeitete Paul Ekman das Konzept der Basisemotionen, das Mimik als genetisch determinierte, universell verständliche Reaktion sieht (Ekman, 1999). Im Gegensatz zu dieser Auffassung von Mimik als unwillkürlicher Aktion steht der verhaltensökologische Ansatz von Fridlund, der annimmt, dass Gesichtsausdrücke willkürlich erzeugt werden und mit bestimmten sozialen Absichten verbunden sind (Fridlund, 1994).

Die Frage nach einer Definition des Begriffs der Emotion stellte 1884 erstmalig W. James (James, 1884). Meyer und Kollegen liefern eine Definition, die die Komplexität des Begriffs widerspiegelt (Meyer et al., 1993): Emotionen seien durch subjektives Erleben gekennzeichnete, aktuelle Zustände von Personen unterschiedlicher Qualität und Intensität. Des Weiteren seien sie objektgerichtet und führten meist auch zu einer Veränderung von Verhalten oder physiologischen Aspekten des Individuums, beispielsweise der Sprache oder dem Gesichtsausdruck.

Von der Emotion ist der Begriff des Gefühls abzugrenzen, der das Erleben der Emotion, beispielsweise in Form von Ärger oder Trauer, beschreibt (Damasio, 1999). Gefühle wie das Empfinden von Schmerzen erfordern zudem anders als Emotionen nicht zwingend eine kognitive Komponente. Emotionsinduzierte Handlungen bezeichnet man als

Affekt. Der dritte zu trennende Begriff ist der der Stimmung, die sich durch eine längere Dauer auszeichnet (Ketal, 1975).

Eine gängige Einteilung der Emotionen erfolgte durch Ekman, der sechs Basisemotionen postuliert, und zwar Fröhlichkeit, Angst, Ärger, Ekel, Traurigkeit und Überraschung (Ekman, 1999). Auf dieser Grundlage entwickelte er die „Pictures of facial affect“, das „Facial action coding system“ und „F.A.C.E.“ (s. 1.4.2). Teilweise wird auch Verachtung zu den Basisemotionen gezählt (Ekman und Heider, 1988).

Zur Verknüpfung von Emotionen mit physiologischen Vorgängen existieren unterschiedliche Theorien. Die James-Lange-Theorie sieht Emotionen als Reaktionen auf reflexartige viszerale Funktionen, denen keine speziellen kognitiven Prozesse voraus gehen (James, 1884; Lange, 1887). Cannon und sein Schüler Bard kritisierten diese Sichtweise und postulierten eine voneinander unabhängige Entstehung von Emotionen und physiologischen Reaktionen auf einen Reiz (Cannon, 1927). Schachter und Singer machten schließlich die Zwei-Faktoren-Theorie populär, die besagt, dass kognitive Prozesse an der Entstehung emotionalen Erlebens beteiligt sind (Schachter und Singer, 1962). Eine physische Erregung müsse demnach zuerst wahrgenommen werden, um aufgrund der folgenden kognitiven Bewertung zu einer Emotion führen zu können. Dementsprechend könne dieselbe physische Reaktion je nach Situation oder Individuum unterschiedliche Emotionen hervorrufen. Andersherum beeinflussen Emotionen kognitive Vorgänge, vor allem das Langzeit- (Bradley et al., 1992; Gallagher und Chiba, 1996; Kleinsmith und Kaplan, 1963) und das episodische Gedächtnis (Adolphs et al., 1997; Cahill et al., 1995).

1.2 Wahrnehmung und Erkennen von Gesichtern und Emotionen

1.2.1 Neuronale Modelle zur Verarbeitung von Gesichtern

1986 beschrieben Bruce und Young ein funktionales Modell zum Verständnis der Gesichtererkennung (Bruce und Young, 1986). Zu sieben Gesichtsmerkmalen zählten sie

u.a. auch den Gesichtsausdruck. Parallel zu dessen Analyse liefe auf verschiedenen Wegen eine Auswertung von ausdrucksunabhängigen Informationen wie beispielsweise dem Namen des Gegenübers ab, so dass ihm am Ende eine Identität zugeteilt werden oder das Wieder-erkennen eines bekannten Gesichts erfolgen könne.

Haxby und Kollegen veröffentlichten ein Modell, das den Vorgang auf neuraler Ebene noch detaillierter erklären sollte (Haxby et al., 2000). Demnach unterteilen visuelle Kernsysteme die Charakteristika von Gesichtern in variable und invariable Komponenten, z.B. Ausdruck (variabel) und Identität (invariabel). In erweiterten Systemen werden diese Charakteristika weiter verarbeitet. Dieses Modell rechnet die Amygdala samt Inselrinde und limbischem System zu einem Gefüge, das für die Wahrnehmung der emotionalen Komponenten zuständig ist.

Die Gemeinsamkeit dieser beiden Modelle besteht in der Annahme, dass für die Erfassung von Identität und Ausdruck eines Gesichtes verschiedene Hirnregionen zuständig sind. Während Bruce und Young allerdings davon ausgehen, dass für die Verarbeitung von Emotionen ein darauf spezialisiertes System verantwortlich ist, sehen Haxby et al. diese Funktion als eine von vielen. Dass in die Wahrnehmung von Identität und Ausdruck verschiedene Hirnregionen involviert sind, zeigen Läsionsstudien (Etcoff, 1984; Tranel et al., 1988; Young et al., 1993) und Studien auf der Basis bildgebender Verfahren (George et al., 1993; Sergent et al., 1994; Winston et al., 2004).

1.2.2 Beteiligte neuronale Strukturen

Die Erkennung und Unterscheidung von Emotionen in Gesichtern ist ein komplexer Vorgang, den das Gehirn bereits in den ersten Lebensjahren erlernt (Nelson, 1987). Zur Spezifizierung der Frage nach den beteiligten neuronalen Strukturen scheint zuerst eine Differenzierung des eigentlichen Vorgangs sinnvoll. Adolphs postuliert eine Unterscheidung von Wahrnehmung und Erkennung (Adolphs, 2002a). Die Wahrnehmung beschränkt sich laut Adolphs auf das Erfassen der rein optischen Eigenschaften eines

Stimulus, was eine Unterscheidung von Gesichtern ermöglicht, die simultan wahrgenommen werden. Das Erkennen setzt zusätzliches Wissen voraus, mit dem das Wahrgenommene verknüpft werden kann.

Eine zentrale Rolle bei der Gesichterwahrnehmung spielen der visuelle Cortex bzw. der occipitale Gyrus (Hoffmann und Haxby, 2000; Ishai et al., 2000) sowie der fusiforme Gyrus im Temporallappen (Kanwisher et al., 1997). Letzterem wird die Erfassung statischer Gesichtsattribute zugeschrieben (Haxby et al., 2000), was bereits eine Unterscheidung visueller Stimuli in „Gesicht“ und „kein Gesicht“ ermöglicht. Allison und Kollegen kamen in einer Zusammenfassung ihrer elektrophysiologischen Studien zu dem Ergebnis, dass der obere temporale Gyrus und Strukturen um den dazugehörigen Sulcus entscheidend für die Entschlüsselung komplexer visueller Stimuli sind, wozu auch die dynamischen Eigenschaften von Gesichtern zählen (Allison et al., 2000). Die Reaktion dieser Areale hängt außerdem von der Aufmerksamkeit des Betrachters (Vuilleumier et al., 2003) und dem Kontext, in dem der visuelle Stimulus erscheint (Pelphrey et al., 2003), ab .

Orbitofrontale Rindengebiete sind insbesondere an der Erkennung emotionaler Gesichter beteiligt (Heberlein et al., 2008; Hornak et al., 2003; Kawasaki et al., 2001; Marinkovic et al., 2000; Vuilleumier et al., 2001). Es gibt vereinzelte Hinweise darauf, dass der somatosensorische Cortex ebenfalls involviert ist (Adolphs et al., 2000). Des Weiteren wirkt die Inselrinde insbesondere bei der Verarbeitung von Ekel mit (Phillips et al., 1997; Sprengelmeyer et al., 1998). Da dessen Identifizierung bei Patienten mit Chorea Huntington (Sprengelmeyer et al., 1996), Zwangsstörungen (Sprengelmeyer et al., 1997) und teilweise Morbus Parkinson (Adolphs et al., 1998; Suzuki et al., 2006) gestört ist, wird eine Beteiligung der Basalganglien an der Prozessierung emotionaler Gesichter angenommen. In diesem Zusammenhang fand man heraus, dass das Striatum je nach Attraktivität eines Gesichts Belohnungssysteme aktiviert (Aharon et al., 2001; Kampe et al., 2001). Eine zentrale Bedeutung in diesem Gefüge zur Wahrnehmung und

Erkennung von Gesichtern hat die Amygdala, die enge Verbindungen zu den erwähnten Hirnregionen aufweist.

Erste Reaktionen auf emotional expressive Gesichter finden sich bereits nach ca. 100 ms in occipitalen Rindengebieten und der Amygdala, und nach weniger als einer halben Sekunde hat eine differenzierte Erkennung und Zuordnung stattgefunden (Adolphs, 2002a; Halgren et al., 2000; Kawasaki et al., 2001; Pizzagalli et al., 1999).

1.2.3 Spiegelneuronen und Theory of Mind

Zellen im präfrontalen Cortex, sogenannte „Spiegelneurone“, werden bei Affen nicht nur beim Ausführen einer Handlung aktiviert, sondern auch beim Beobachten (Rizzolatti et al.; 2004 und 1996), Erkennen und Imitieren (van der Gaag et al., 2007) derselben. Diese mimische Spiegelung wird inzwischen auch für den Menschen angenommen (Hutchison et al., 1999). Patienten, die Läsionen im Bereich der Spiegelneuronen aufweisen, zeigen eine eingeschränkte Fähigkeit, Emotionen in Gesichtern zu erkennen (Adolphs et al., 2000). Duclos und Kollegen postulieren, dass durch eine Nachahmung von Mimik letztlich auch die beobachtete Emotion selbst beim Betrachter induziert werde (Duclos et al., 1989).

1.3 Die Rolle der Amygdala bei der Verarbeitung emotionaler Gesichter

1.3.1 Anatomie und Neurophysiologie der Amygdala

Die Amygdala (lateinisiert vom Altgriechischen „αμύγδαλον“: Mandel) ist Teil des limbischen Systems (Broca, 1878; von lat. „limbus“: Gürtel, Saum), das schon früh mit der Organisation von Affekt in Verbindung gebracht wurde (MacLean, 1952). Die Amygdala ist paarig angelegt und befindet sich jeweils dorsomedial an der Spitze des Temporallappens, über dem Unterhorn des Seitenventrikels und unmittelbar vor dem Hippocampus (Lövlad und Schaller, 2009). MRT-basierte Methoden geben Werte zwischen 1 und 4 cm³ für ihr Volumen an (Brierley et al., 2002), während eine aktuelle

anatomische Studie je nach Definition der Grenzen von einem Volumen zwischen 1,24 und 1,63 cm³ ausgeht (Brabec et al., 2010).

Die Amygdala gliedert sich in drei Kerngruppen, die aufgrund verschiedener cytologischer, histochemischer und konnektionistischer Merkmale weiter in Subnuclei unterteilt werden können. Der laterobasale Komplex (in der englischsprachigen Literatur „basolateral“) erhält bereits von der Großhirnrinde und dem Thalamus prozessierte Afferenzen sämtlicher Sinnessysteme. Außerdem bestehen reziproke Verbindungen zum Hippocampus, dem orbitofrontalen und cingulären Cortex. Die zentromediale Gruppe (im Englischen auch „corticomediale“) bezieht über den Hirnstamm viszerosensorische Informationen und sendet Efferenzen an den Hypothalamus und Kerne des Hirnstamms wie beispielsweise den des Nervus vagus, wodurch der Amygdala der Einfluss auf Hormon- und Transmitterausschüttung und das vegetative Nervensystem möglich wird. Zusätzlich bestehen Kontakte zu motorischen Kernen, u. a. denen des Nervus facialis und trigeminus, was einen direkten Einfluss auf die Mimik begünstigt. Der superfizielle oder auch corticale Teil ist reziprok mit dem Bulbus olfactorius und olfaktorischen Rindenarealen verbunden. Wichtige extrinsische Verbindungen unterhält die Amygdala über die Stria terminalis mit dem Hypothalamus und dem basalen Vorhirn und über die Fibrae amygdalofugales ventrales mit der Substantia innominata. (Amunts et al., 2005; Rager et al., 2004; Swanson und Petrovich, 1998)

Aufgrund neuer Forschungsergebnisse wird die Auffassung von der Amygdala als struktureller und funktioneller Einheit zunehmend hinterfragt. Einige Autoren benennen eine von den zentromedialen Kernen ausgehende erweiterte Amygdala (DeOlmos und Heimer, 1999) oder sehen sie als Ausläufer von Cortex und Striatum (McDonald, 2003). Da die meisten Studien jedoch von der oben genannten Organisation der Amygdala ausgehen, wird sie für diese Arbeit als Grundlage angenommen.

Die Verbindungen der Amygdala werden mittels zahlreicher Neurotransmittersysteme moduliert. Dabei findet Kommunikation zwischen den Kernen, den Subnuclei und innerhalb dieser Subnuclei statt. Während die Projektionsneurone der Amygdala größtenteils glutamaterg sind, enthält die Amygdala selbst ein stark inhibitorisches GABAerges Netzwerk, das teilweise auch Peptide wie Somatostatin, CRH (Corticotropin-Releasing Hormone) oder NPY (Neuropeptid Y) beinhaltet. Die Inhibition kann dabei über Feedback- (Rückwärts-) oder Feedforward- (Vorwärts-) Mechanismen ablaufen. Den Informationsfluss modulieren zahlreiche Afferenzen zur Amygdala mittels (Nor-) Epinephrin, Dopamin, Serotonin und Acetylcholin. (LeDoux, 2007; Rager et al., 2004; Swanson und Petrovich, 1998)

1.3.2 Die Amygdala, Gesichter und Emotionen

Anfangs wurde ein Großteil der Erkenntnisse bezüglich der Amygdala aus Läsionsstudien gewonnen. Diese haben prinzipiell den Nachteil, dass sich von Fall zu Fall die Ätiologie, der Ort und die Ausdehnung der Läsion und der Zeitpunkt der Schädigung unterscheiden. Experimente mit Tieren sind bezüglich der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen problematisch, da die untersuchten Strukturen bei Mensch und Tier oftmals nicht identisch ausgeprägt bzw. aufgebaut sind. Trotzdem haben Tier- und Läsionsstudien einen elementaren Beitrag zum Verständnis der Amygdala und ihrer Funktionen beigetragen und es besteht kein Zweifel, dass sie auf diesem Gebiet von zentraler Bedeutung ist.

1.3.2.1 Tierstudien

1888 beobachteten Brown und Schafer, dass am temporalen Cortex operierte Affen soziale und emotionale Einschränkungen aufwiesen (Brown und Schafer, 1888). Klüver und Bucy konkretisierten diese Beobachtungen: Die Affen reagierten stark abgeschwächt auf bedrohliche Reize und wiesen ein abnormes Fress- und Sexualverhalten auf (Klüver und Bucy, 1937). Weiskrantz schlussfolgerte, dass die Symptomatik des sogenannten Klüver-Bucy-Syndroms auf eine fehlerhafte oder gänzlich fehlende

Verarbeitung affektiver Eigenschaften visueller Stimuli zurückzuführen sei. Als Grund hierfür sah er die nicht mehr vorhandenen bzw. stark beschädigten Amygdalae (Weiskrantz, 1956).

Bei ihrer Erforschung spielten fortan Konditionierungsversuche an Ratten (Reviews von Davis und Whalen, 2001; LeDoux, 2002) und Affen (Reviews von Aggleton und Mishkin, 1986; Rolls, 1999) eine entscheidende Rolle. In diesen Studien wurden getreu dem klassischen Konditionierungsmodell von Pawlow emotional neutrale mit aversiven Reizen kombiniert, woraufhin bei Präsentation des ursprünglich neutralen Reizes eine Angstreaktion erfolgte. Als zentrale Struktur für derartige emotional motivierte Verhaltensantworten wurde die Amygdala identifiziert (Davis und Whalen, 2001; Fanselow und LeDoux, 1999; Maren, 2001; Kapp et al., 1992). LeDoux beschrieb anhand dieser Tiermodelle zwei Wege für Furchtverarbeitung: den schnellen, der über den Thalamus direkt zur Amygdala führt, und einen langsameren, über den der Amygdala bereits vorverarbeitete Informationen aus dem Cortex vermittelt werden (LeDoux, 1996).

1.3.2.2 Läsionsstudien am Menschen und bildgebende Verfahren

Es gibt Studien, in denen Patienten trotz bilateraler Läsionen (Adolphs, 1999a; Anderson und Phelps, 2002) oder chirurgisch entfernten Amygdalae (Milner et al., 1968) ein weitgehend intaktes Sozialverhalten zeigen. Diese Ergebnisse könnten durch Kompensationsmechanismen oder intakt gebliebene Bereiche erklärt werden (Phelps und LeDoux, 2005). Tsuchiya und Kollegen zeigten, dass ein Patient trotz bilateraler Amygdalaläsionen Angst in Gesichtern erkennen und offenbar auch verarbeiten konnte (Tsuchiya et al., 2009). Daraus folgerten sie, dass die Amygdala weniger für frühe Stufen der Verarbeitung emotionaler Gesichter, sondern eher für ihr Wiedererkennen und die Einordnung in den emotionalen Kontext verantwortlich sein könnte.

Trotz dieser Erkenntnisse liefern die meisten Studien Hinweise auf eine elementare Bedeutung der Amygdala für das Prozessieren emotionaler Stimuli. Amygdalare

Läsionen verursachen eine reduzierte Reaktion auf emotionale Reize (Aggleton, 1992), insbesondere auf Furcht erregte Gesichter (Adolphs et al., 1995 und 1994; Calder et al., 1996). Im Gegensatz zu emotionalen Situationen reagiert die Amygdala speziell auf emotionale Gesichter (Hariri et al., 2002), und zahlreiche bildgebende Studien konnten robuste Reaktionen der Amygdalae auf emotionale Gesichter nachweisen (Reviews von Adolphs, 2002a, 2008; Zald, 2003). Indirekt negative faciale Aspekte wie mangelnde Vertrauenswürdigkeit aktivieren die Amygdala ebenfalls (Winston et al., 2002). Auch bei der Präsentation maskierter und damit unbewusst wahrgenommener emotionaler Stimuli wird die Amygdala aktiviert (Suslow et al., 2006; Whalen et al., 1998). Es gibt sogar Hinweise, dass die Amygdala bei (cortical) Blinden stimuliert wird und die Betroffenen emotionale Gesichter unterscheiden können (de Gelder et al., 1999). Neben visuellen Reizen reagiert die Amygdala auch auf olfaktorische (Zald und Pardo, 1997), gustatorische (O'Doherty et al., 2001) und akustische (Zald und Pardo, 2002) Signale.

1.3.2.3 Die Lateralisierungshypothese

Einige Autoren gehen von einer Dominanz der rechten Hirnhälfte bei der Emotionsverarbeitung und der linken bei kognitiven Vorgängen aus (Borod, 1993). Andere postulieren eine Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung aversiver und der linken bei der Verarbeitung appetitiver Reize (Davidson, 1992); dies entspricht der valenzabhängigen Lateralisierungshypothese der Emotionsverarbeitung. Obwohl die Gehirne von Männern und Frauen unterschiedlich symmetrisch sind (Good et al., 2001), konnten keine geschlechterspezifischen Lateralisierungsmuster gefunden werden (Rodway et al., 2003; Steele, 1998).

Einige Studien identifizierten unterschiedliche Lateralisierungsmuster der Amygdalae bei Männern und Frauen (Cahill et al., 2001; Killgore und Yurgelun-Todd, 2001) und in Abhängigkeit der Valenz der Stimuli (Adolphs et al., 1996; Breiter et al., 1996b; Morris et al., 1998a). Metaanalysen konnten jedoch weder unterstützende Daten für eindeutig

geschlechtsspezifische (Wager et al., 2003), noch für valenzabhängige Lateralisierungsunterschiede der Amygdalae finden (Sergeyev et al., 2008).

1.3.3 Die Amygdala als Verbindungsglied zwischen Emotion und Kognition

Morris und Kollegen übertrugen den Gedanken des Einflusses der Amygdalae auf kognitive Prozesse von Tiermodellen (Goddard, 1964) auf den Menschen (Morris et al., 1998b). Der Charakter des durch die Amygdala beeinflussten emotionalen Lernens und Gedächtnisses wurde lange als implizit angenommen (Phelps und LeDoux, 2005). Diese Grundidee spiegelt Damásios Theorie von den somatischen Markern wieder, laut welcher Emotionen zukünftige Entscheidungen und Handlungen unterbewusst beeinflussen (Damasio et al., 1991). Studien legen nahe, dass die Amygdala auch an dem Phänomen der Theory of Mind beteiligt ist (Adolphs et al., 2002b; Baron-Cohen et al., 1999), die die Fähigkeit beschreibt, mentale Vorgänge des Gegenübers wie beispielsweise Gefühle oder bestimmte Absichten zu vermuten und zu verstehen (Premack und Woodruff, 1978). Dieser komplexe und für soziales Verhalten elementare Vorgang ist insbesondere bei Autisten oder dissozialen Persönlichkeiten gestört (Frith, 2001; Leslie, 1987; Völlm et al., 2006). Des Weiteren wird die Amygdala durch ihre Verbindungen zum Striatum mit Suchtprozessen in Verbindung gebracht (Baxter und Murray, 2002; Everitt et al., 1999; Koob, 2009). Dabei scheint sie auch Belohnungsmechanismen zu modulieren, die beim Verlangen nach Nahrung (Morris und Dolan, 2001), im Umgang mit Geld (Zalla et al., 2000) oder im Sexualverhalten (Hamann et al., 2004b) bedeutsam sind. Mit diesen Erkenntnissen schließt sich der Kreis, der in den Beobachtungen im Rahmen des Klüver-Bucy-Syndroms seinen Anfang hatte. Dabei zeichnet sich zunehmend ab, dass Emotionen durch die vielfältigen Verbindungen und Einflussmöglichkeiten der Amygdalae eine komplexere Rolle spielen als die einer „Alarmanlage“ oder eines „Angstmoduls“ (Amaral, 2002; Öhman und Mineka, 2001).

1.4 Emotionale Gesichter als Stimuli

1.4.1 Dargestellte Emotionen

Da die ersten Erkenntnisse zur emotionalen Wahrnehmung in Zusammenhang mit gestörtem Verhalten gegenüber Furcht einflößenden Gesichtern standen, wurden auch in Läsions- und bildgebenden Studien anfangs vor allem negative, d.h. furchtvolle oder wütende Gesichter als Stimuli eingesetzt. Es folgten Untersuchungen weiterer negativ gewichteter emotionaler Ausdrücke wie Ekel und Traurigkeit (Adolphs et al., 1999b; Wang et al., 2005; Yang et al., 2002), bis schließlich auch Reaktionen auf fröhliche Gesichter gemessen wurden (Breiter et al., 1996b; Garavan et al., 2001; Yang et al., 2003). Außerdem werden inzwischen weniger eindeutige Emotionen wie Überraschung (Kim et al., 2003) oder neutrale Gesichtsausdrücke (Iidaka et al., 2002) verwandt. Insgesamt orientiert man sich also an den sechs von Ekman postulierten Basisemotionen, und es gibt Studien, die für all diese Emotionen Antworten der Amygdalae zeigen konnten (Winston et al., 2003; Yang et al., 2002).

1.4.2 Möglichkeiten zur Generierung emotional aussagekräftiger Gesichter

Versuchspersonen beschreiben bereits simple Gesichtsschemata beispielsweise als intelligent oder traurig und nehmen diese Attribute in verschiedener Intensität wahr (Brunswick und Reiter, 1937). Auch die Amygdala wird durch Strichzeichnungen von emotionalen Gesichtern aktiviert (Wright et al., 2002). Eine Möglichkeit zur emotionalen Provokation bietet das „International Affective Picture System“ IAPS (Lang et al., 1997), das situative Farbphotos enthält, die angenehme, unangenehme und neutrale Szenarien oder Gegenstände abbilden. In Studien, die die Reaktion auf menschliche Gesichter untersuchen, werden nach wie vor meist Photos als Stimulusmaterial genutzt. Oft entstammen sie den „Pictures of facial affect“ (Ekman und Friesen, 1976), einer Sammlung von schwarzweißen Photographien männlicher und weiblicher Schauspieler, die verschiedene Emotionen mimen.

Zusätzlich postulierten Ekman und Friesen das „Facial Action Coding System“, das dargestellte Emotionen anhand der zu ihrem Ausdruck aktivierten mimischen Muskeln kategorisiert und dadurch eine genaue Analyse der Mimik erlaubt (Ekman und Friesen, 1978). Hierbei wird jeder makroskopisch sichtbaren Bewegung eine „Action Unit“ (AU), also eine Bewegungseinheit zugeordnet, die die für diese Bewegung zuständigen Muskeln oder Muskelgruppen zusammenfasst. Die AU mit der Nummer 1 codiert beispielsweise für das Heben des inneren Teils der Augenbrauen, was einer Aktivierung des Pars medialis des Musculus frontalis entspricht und Anwendung bei überraschtem Gesichtsausdruck findet. So ist das FACS vor allem für die Taxonomisierung von emotionalen Gesichtern per Computer geeignet, da einzelne Muskelgruppen oder verschiedene Intensitäten am Menschen nicht unabhängig voneinander aktiviert werden können.

In der Psychologie wird seit Anfang der 90er Jahre das Phänomen der „Virtual Reality“ (VR) bzw. des „Virtual Environment“ (VE) erforscht, d.h. einer von Computern generierten, dreidimensionalen Umwelt, in der sich der Nutzer bewegen kann. Man stellte fest, dass virtuelle Charaktere als soziale Figuren wahrgenommen werden (Biocca et al., 2003), insbesondere dann, wenn sie menschliche Gestalt haben (Nowak und Biocca, 2003). Eine fMRT-Studie konnte zeigen, dass Probanden virtuelle Figuren auch in sozialen Situationen wahrnehmen und auf diese reagieren (Schilbach et al., 2006). Ku und Kollegen wiesen nach, dass auch schizophrene Patienten auf Avatare in einem VE reagieren (Ku et al., 2006).

Programme zur Generierung und Animation menschlicher Charaktere stammen meist aus der Entwicklung von Computerspielen und Filmeffekten. Ein Beispiel hierfür ist die 3D-Software „Poser“ (Smith Micro Software, Inc., Aliso Viejo, Kalifornien, USA), mit deren Hilfe 2001 erstmals Avatargesichter für eine Studie kreiert und die Generierung detailliert beschrieben wurde (Spencer-Smith et al., 2001). Mittels Gliederpuppen, die das Programm erstellt, werden dreidimensionale Charaktere geschaffen, deren Attribute

von ihrer Kleidung über ihre Hautfarbe bis hin zu subtilen mimischen Bewegungen verändert und auch animiert werden können. Weitere Beispiele für derartige Programme sind 3D StudioMax (Autodesk, Inc., San Rafael, Kalifornien, USA) und 3D GameStudio (Conitec Datasystems Corporation, Inc., San Diego, Kalifornien, USA).

Affen reagieren ausschließlich auf dynamische Gesichter (Kuraoka und Nakamura, 2007), und auch die menschliche Amygdala wird in bildgebenden Studien durch dynamische Gesichtsstimuli aktiviert (Kilts et al., 2003; LaBar et al., 2003; Sato et al., 2004; Trautmann et al., 2009). Deshalb ist das Bestreben groß, geeignete Methoden zur Darstellung dynamischer Gesichter zu finden. Es gibt Studien, die Photos aus den „Pictures of facial affect“ (Ekman und Friesen, 1976) gemorpht und als Stimulusmaterial verwendet haben (Kamachi et al., 2001; Kirsh, 2006; LaBar et al., 2003; Pelphrey et al., 2007; Russell et al., 2007; Sato et al., 2004). Bei der Morphtechnik errechnet Computersoftware den Übergang von einem Quell- zu einem Zielbild, was beim Betrachter den Eindruck einer dynamischen Bewegung erweckt. Bei der Software „Poser“ wird die Animation der Avatare durch das Prinzip des keyframing (Schlüsselbildanimation) erreicht. Ein keyframe entspricht einem Schnappschuss innerhalb einer Bewegung. Die restlichen, zwischen zwei keyframes liegenden Bewegungssequenzen, errechnet der Computer und komplettiert somit den angestrebten Bewegungsablauf. Andere Forscher erstellten Videoclips mit Schauspielern (Kilts et al., 2003; Sato et al., 2008; Simon et al., 2008; Simon et al., 2006; Trautmann et al., 2009; van der Gaag et al., 2007).

Des Weiteren wurde versucht, eine Dreidimensionalität von Gesichtern zu erreichen. Eine Methode besteht darin, Personen aus verschiedenen Perspektiven zu fotografieren und anhand von Morphtechniken den Eindruck eines dreidimensionalen, emotionalen Gesichts zu erwecken (Pighin et al., 1999). Guenter und Kollegen versuchten, Reflektoren in Gesichtern von Schauspielern aus verschiedenen Richtungen mit Kameras aufzunehmen, anschließend am Computer auf Gesichtsmodelle zu übertragen und so die Mimik im dreidimensionalen Raum darzustellen (Guenter et al.,

1998). Diese Methode entspricht prinzipiell dem in computeranimierten Filmen und PC-Spielen angewandten „motion capturing“ (Bewegungserfassung), das Bewegungen mittels spezieller Sensoren von einem Menschen auf ein Avatar überträgt und entsprechend aufwendig ist.

1.4.3 Der Einsatz emotionaler Stimuli in der Erforschung und Therapie neuropsychiatrischer Erkrankungen

Viele psychische Erkrankungen gehen mit einer veränderten emotionalen Wahrnehmung und einem infolgedessen veränderten Sozialverhalten einher. In den letzten Jahren wurden viele dieser Krankheitsbilder mit Funktionsanomalien der Amygdala in Verbindung gebracht. Zu derartigen Leiden zählen affektive Störungen wie die Depression (Thomas et al., 2001) und bipolare Störungen (Berpohl et al., 2009; Yurgelun-Todd et al., 2000), außerdem neurotische Störungen wie die generalisierte Angststörung (Thomas et al., 2001), die posttraumatische Belastungsstörung (Bremner, 2006; Rauch et al., 2000), soziale Phobie (Veit et al., 2002) oder Zwangsstörungen (Breiter und Rauch, 1996a). Auch bei der dissozialen (Blair, 2001) und der Borderline-Persönlichkeitsstörung (Donegan et al., 2003), der Schizophrenie (Schneider et al., 1998) und Autismus (Pierce et al., 2001) zeigen sich Veränderungen der Amygdala. Des Weiteren sind auch Patienten mit Chorea Huntington und Morbus Parkinson betroffen (s. 1.2.2).

Gendefekte bzw. Chromosomenabberationen, die ebenfalls zu Defiziten im emotionalen und sozialen Verhalten führen, sind das Urbach-Wiethe-Syndrom (Hurlemann et al., 2007; Siebert et al., 2003), das Turner- und das Klinefelter-Syndrom (Aleman et al., 2008). Ein übermäßig aktives Sozialverhalten hingegen fällt beim Williams-Beuren- und dem Down-Syndrom (Haas et al., 2009; Porter et al., 2007) auf.

Eine klassische Methode, die in der Emotions- und Kognitionsforschung gewonnenen Erkenntnisse für die Therapie psychiatrischer Erkrankungen zu nutzen, besteht in der

pharmakologischen Manipulation. So wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem (nor-) adrenergen System (Cahill und Alkire, 2003; Southwick et al., 2002), Glucocorticoiden (Abercrombie et al., 2003) und ihrem Einfluss sowohl auf die Erinnerungsfähigkeit (Cahill et al., 1994; Hurlmann, 2007; LaBar und Cabeza, 2006; McGaugh, 2004; van Stegeren, 2008) als auch auf die Verarbeitung emotionaler Gesichter (Harmer et al., 2001; Zangara et al., 2002) festgestellt. Hierbei spielt die Amygdala erneut eine zentrale, vermittelnde Rolle (McGaugh und Roozendaal, 2002; Roozendaal et al., 2006) und ist zudem selbst medikamentös beeinflussbar (Hurlmann et al., 2010; Murphy et al., 2009; Sheline et al., 2001; van Stegeren et al., 2007).

Eine weitere Möglichkeit zur Modulation der Wahrnehmung von Emotionen bilden emotionale Stimuli. Ekman hat auf der Grundlage des FACS das Trainingsprogramm „F.A.C.E.“ entwickelt, mit dem das Erkennen von teilweise minimalen Expressionen in Gesichtern erlernt werden kann (Ekman, 2010). Das Programm ist u. a. für Patienten mit Autismus vorgesehen und soll neben dem Erkennen auch die korrekte Differenzierung verschiedener Emotionen ermöglichen.

„Virtual Reality“ (VR)- und „Virtual Environment“ (VE)- Szenarien werden bereits in der Therapie einiger Erkrankungen erprobt, bei denen das emotionale Erleben oder die kognitiven Fähigkeiten gestört sind: bei verschiedenen Phobien (Anderson et al., 2005; Klinger et al., 2005; Powers und Emmelkamp, 2008; Rothbaum et al., 2002), Autismus (Mitchell et al., 2007) und Schizophrenie (da Costa und de Carvalho, 2004; Ku et al., 2003). Außerdem werden zurzeit VE-Programme entwickelt, um Apoplexpatienten wieder für alltägliche Aktivitäten wie das Gehen zu trainieren (Deutsch und Mirelman, 2007). Bei Soldaten werden virtuelle Szenarien zur Behandlung der posttraumatischen Belastungsstörung genutzt (Difede et al., 2007; Gerardi et al., 2008), und auch Raucher und Alkoholabhängige sprechen auf VE an (Bordnick et al., 2008; Traylor et al., 2008). Für artifizielle Stimuli besteht also eine Vielzahl von Einsatzgebieten nicht nur in der Erforschung, sondern auch in der Therapie neuropsychiatrischer Erkrankungen.

1.5 Untersuchungsmethoden zur Bewertung emotionaler Stimuli

Bei der Erfassung von Emotionsqualitäten haben sich Valenz (Wie angenehm/positiv bzw. unangenehm/negativ ist die dargestellte Emotion?) und Arousal (Wie erregend bzw. beruhigend ist der dargestellte Stimulus?) als zentrale Variablen herausgestellt. Diese beiden Dimensionen entstammen dem Konzept des semantischen Differentials, das in der Psychologie genutzt wird, um zu erfassen, wie Probanden Situationen, Gegenstände, ihr Befinden oder auch Emotionen einschätzen. Valenz und Arousal haben sich auch bei der Bewertung anderer Sinneseindrücke, z.B. olfaktorischer oder akustischer, bewährt (Anderson et al., 2003) und beeinflussen beispielsweise Erinnerungsprozesse (Hurlemann et al., 2005; Phelps et al., 1997). Auch wenn die beiden Begriffe immer wieder in Kritik geraten, als lediglich dichotome Skalen keine suffiziente Charakterisierung eines komplexen Ereignisses wie einer Emotion zu ermöglichen (Colombetti, 2005), haben sie sich in der Emotionsforschung durchgesetzt. Die folgend beschriebenen quantitativen Methoden haben sich als reliabel und valide bewährt (Schubert, 1999; Bradley und Lang, 1994; Matell und Jacoby, 1971; Osgood et al., 1957).

Die schnellste und einfachste Evaluierungsmöglichkeit ist die behaviorale, subjektive Beurteilung durch Probanden. Die Likert-Skala ist ein simples Modell, bei dem die zu erfassende Eigenschaft eines Stimulus auf einer Skala mit Stufen von 1 bis x eingeordnet wird (Likert, 1932). Zwei nonverbale Instrumente sind das „Self-Assessment Manikin“ (SAM; Bradley und Lang, 1994) und Gesichterskalen (Andrews und Withey, 1976). Das SAM zeigt simplifizierte menschliche Gestalten, die Valenz durch fröhlichen bzw. traurigen Gesichtsausdruck und Arousal durch einen schlafenden Gesichtsausdruck bzw. einen zunehmend rumorenden Magen als Zeichen für Stress ausdrücken; Gesichterskalen stellen lediglich sieben glückliche bis zunehmend traurige Gesichter dar, die im Sinne von „Smileys“ aus zwei Augen und einem Mund in einem Kreis bestehen. Ein verbales Messinstrument ist das semantische Differential (Osgood et al.,

1957), das den Probanden einen Stimulus auf Stufenskalen zwischen jeweils zwei gegensätzlichen Adjektiven einordnen lässt, z.B. im Fall der Valenz zwischen „angenehm“ und „unangenehm“.

Ein komplexeres Bewertungsschema stammt von Russell (Russell, 1980). In seinem zweidimensionalen Modell werden Emotionen nicht einzelnen Faktoren zugeordnet, sondern Valenz und Arousal werden in Relation zueinander gesetzt. Die Bewertung durch die Probanden erfolgt dabei zuerst getrennt auf Likert-Skalen für Valenz und Arousal; das zweidimensionale Modell wird dann im Rahmen der Auswertung der Angaben der Probanden erstellt. Das „Affect Grid“ ist ein hieraus weiterentwickeltes Modell, in dem der Proband einen Begriff direkt in das zweidimensionale Modell einordnen muss (Russell et al., 1989).

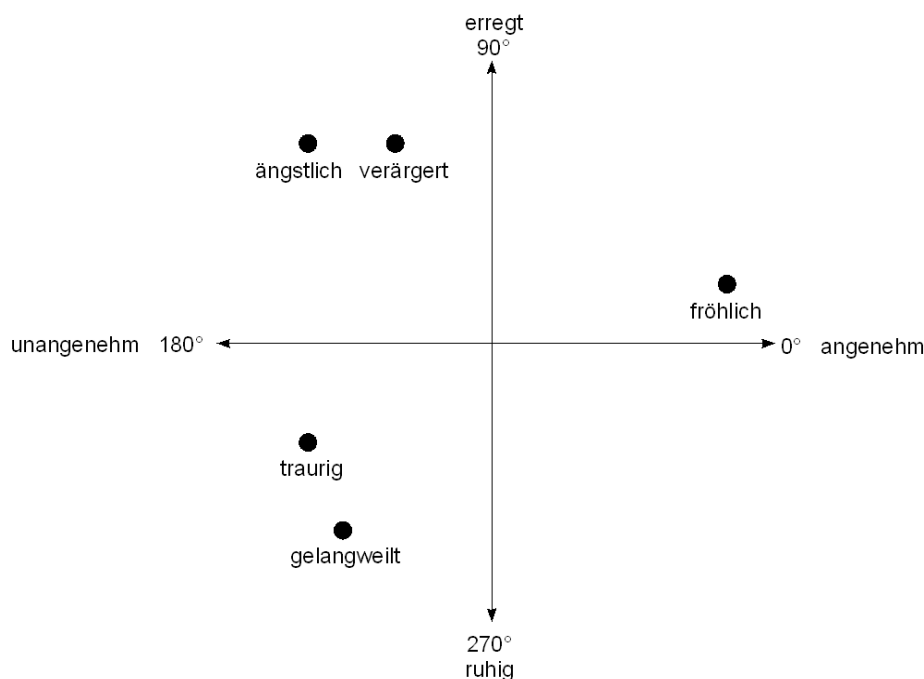


Abb. 1: Zweidimensionales Bewertungsmodell, nach Russell (1980)

Eine physiologische Messmethode ist die Elektromyographie, bei der mit Hilfe von Nadelelektroden Potentialschwankungen und damit die elektrische Muskelaktivität der mimischen Muskulatur als Reaktion auf Gesehenes gemessen werden kann (Dimberg, 1982; Lundqvist, 1995). Die Methode hat den Vorteil, dass auch kleinste, nicht sichtbare

Muskelaktivierungen detektiert werden können. Dem *Musculus corrugator supercilii* wird dabei eine Relevanz für den Ausdruck negativer Emotionen zugesprochen, während Reaktionen des *Musculus zygomaticus major* dem Ausdruck von Freude zugeschrieben werden.

Eine zentrale Stellung in der Emotionsforschung nehmen inzwischen die bildgebenden Verfahren ein, weil sie eine non-invasive und räumlich gut auflösende Untersuchung von (sub-) kortikalen Regionen *in vivo* ermöglichen. Für funktionelle Studien eignen sich die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und die Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT). Die PET zeigt die Verteilung von Radiopharmaka im Gewebe an, während das fMRT sich den BOLD (Blood Oxygen Level Dependency)-Effekt zu nutze macht: Hämoglobin verändert je nach Oxygenierungsgrad die Signalstärke des MRT. Beide bildgebenden Verfahren stellen indirekte Messmethoden dar, da nicht die neuronale Aktivität selbst gemessen werden kann, sondern lediglich Veränderungen, die man als Zeichen von Stoffwechsel- und damit neuronalen Vorgängen interpretiert. In einer Metaanalyse zeigte sich, dass Aktivierungen der Amygdala im fMRT im Gegensatz zur PET mit größerer Wahrscheinlichkeit ermittelt werden können (Costafreda et al., 2008). Außerdem stellte sich heraus, dass die Analyse des gesamten Gehirns eine wenig sensitive Methode zur Detektion von Amygdalareaktionen ist; bessere Ergebnisse liefert die Betrachtung von ROIs (regions of interest), d.h. von ausgewählten und definierten Bereichen. Die Kombination von bildgebenden Verfahren mit zytoarchitektonischen Wahrscheinlichkeitskarten stellt eine neuere Möglichkeit dar, die in der Bildgebung identifizierten aktivierten Bereiche exakt ihren anatomischen, strukturellen Korrelaten zuordnen zu können (Eickhoff et al., 2006, 2005). Hierzu wurden histologische Schnitte von zehn Gehirnen Verstorbener kartiert und auf dieser Grundlage ein dreidimensionaler Atlas des Gehirns erstellt (Amunts et al., 2005). Weitere gebräuchliche Kartierungen des Gehirns (Talairach und Tournoux, 1988) basieren noch auf den von Brodman postulierten Hirnarealen (Brodman, 1909). Das

standardisierte Gehirn, das in der häufig verwandten Software „Statistical Parametric Mapping“ (SPM, Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London, Vereinigtes Königreich) zur Berechnung von fMRT- und PET-Daten zum Einsatz kommt, resultiert aus einer Kombination des Atlas nach Talairach und Tournoux mit den Mittelwerten zahlreicher MRT-Scans des Montreal Neurological Institute (MNI).

III Fragestellung

Bis jetzt wurden Reaktionen auf Emotionen vor allem durch Photos als Stimuli provoziert, was eine etablierte, jedoch 150 Jahre alte Methode darstellt. Avatare werden immer menschenähnlicher und sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Doch sind sie auch geeignet, Anwendung in den Neurowissenschaften zu finden?

Es scheint an der Zeit, die Erstellung und Verwendung von Avatargesichtern in wissenschaftlichen Studien zu untersuchen und zu vergleichen. Eine konkrete Benennung von Charakteristika und eine dadurch ermöglichte methodische Verfahrensweise ihrer Generierung und Präsentation würde die Stimuli nicht nur reproduzierbar, sondern auch die Studienergebnisse untereinander vergleichbar machen.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile: Zuerst sollen die untersuchten Studien im Sinne eines Vergleichs zwischen artifiziellen und natürlichen Stimuli ausgewertet werden, um sicherzustellen, dass Avatare überhaupt ein solides Instrument in der Erforschung von Emotionen darstellen. Ziel dieses kurz gehaltenen, ersten Teils ist daher die Beantwortung folgender Fragen:

1. Wie werden Avatargesichter im Vergleich zu Abbildungen menschlicher Gesichter wahrgenommen bzw. können sie vergleichbare Reaktionen erzielen?
 - Können die Emotionen artifizieller Gesichter korrekt zugeordnet werden?
 - Unterscheiden sich Valenz, Arousal und Intensität artifizieller und natürlicher Stimuli?

- Wie unterscheiden sich Zuordenbarkeit, Valenz und Arousal der einzelnen Emotionen untereinander?
- Wie reagiert die Amygdala auf Avatargesichter?

In einem zweiten Teil sollen anhand folgender Fragen schließlich die Grundlagen für einen methodischen, standardisierten Umgang bezüglich der Erstellung und Verwendung artifizierlicher, emotionaler Gesichtsstimuli erarbeitet werden:

2. Welche aus dem vorliegenden Studienmaterial ableitbaren Charakteristika von Avatargesichtern und Einzelheiten ihrer Generierung sollten bei der Stimuluserstellung in zukünftigen Studien beachtet werden?

Welche Merkmale bezüglich der Stimuluspräsentation, des Studiendesigns und der Probandenauswahl sind außerdem von Bedeutung?

2 . Methoden

2.1 Akquirierung der Daten

In der Datenbank Medline (Pubmed) wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Der Zeitraum der Suche umfasste die Jahre 1990 bis einschließlich 2011. Verschiedene Suchbegriffe bzw. Stichworte wurden miteinander kombiniert, beispielsweise „avatar“, „face“, „facial“, „expression“, „artificial“, „synthetic“, „stimulus“/ „stimuli“ oder „emotion“. Außerdem wurden die Referenzen der in diesem ersten Schritt identifizierten Veröffentlichungen in die Suche einbezogen.

2.2 Kriterien für die endgültige Auswahl

In einem weiteren Schritt wurden die Veröffentlichungen hinsichtlich folgender Kriterien gefiltert: Die ausgewählten Publikationen sollten die Verwendung von artifiziellem, mittels einer dafür geeigneten Software generiertem Stimulusmaterial aufweisen. Die verwandten Stimuli mussten menschliche Gesichter darstellen, die Emotionen mimen. Ziel der Studien sollte jeweils eine Bewertung der Stimuli durch die Probanden und/ oder eine Messung der Reaktion der Probanden auf diese Gesichter mittels dafür geeigneter Methoden sein.

2.3 Eingeschlossene Publikationen

- 1 Jesse Spencer-Smith, Heather Wild, Åse H. Innes-Ker, James Townsend, Christy Duffy, Chad Edwards, Kristina Ervin, Nicole Merritt, Jae Won Paik: Making faces: Creating three-dimensional parameterized models of facial expression, 2001
- 2 Jeonghun Ku, Hee Jeong Jang, Kwang Uk Kim, Jae Hun Kim, Sung Hyouk Park, Jang Han Lee, Jae Jin Kim, In Y. Kim, Sun I. Kim: Experimental results of affective valence and arousal to avatar's facial expressions, 2005
- 3 Peter Weyers, Andreas Mühlberger, Carolin Hefe, Paul Pauli: Electromyographic responses to static and avatar emotional facial expressions, 2006

- 4 Ewald Moser, Birgit Derntl, Simon Robinson, Bernhard Fink, Ruben C. Gur, Karl Grammer: Amygdala activation at 3T in response to human and avatar facial expressions of emotions, 2007
- 5 Jari Kätsyri, Mikko Sams: The effect of dynamics on identifying basic emotions from synthetic and natural faces, 2008
- 6 René Hurlmann, Anne Kathrin Rehme, Martin Diessel, Juraj Kukolja, Wolfgang Maier, Henrik Walter, Michael X. Cohen: Segregating intra-amygdalar responses to dynamic facial emotion with cytoarchitectonic maximum probability maps, 2008
- 7 Miriam Dyck, Maren Winbeck, Susanne Leiberg, Yuhan Chen, Ruben C. Gur, Klaus Mathiak: Recognition Profile of Emotions in Natural and Virtual Faces, 2008

2.4 Untersuchte Merkmale

Zuerst wurden drei Themenkomplexe untersucht, die in allen Studien vermutet wurden: Erstens wurden Informationen über die Stimuli selbst gesammelt, d.h. über die verwandte Software und (falls beschrieben) das Erstellungsprotokoll, die Anzahl der Stimuli unter Berücksichtigung des Geschlechts und der verschiedenen Charaktere, dargestellte Emotionen und Modalitäten wie Statik/Dynamik und Farblichkeit. Der zweite Aspekt waren das Studiendesign und die Präsentation der Stimuli, woraufhin die jeweilige Methode, eventuell verwandte Vergleichsstimuli, im Voraus durchgeführte Pilotstudien und die Randomisierung bei der Präsentation untersucht wurden. Drittens erfolgte die Erfassung von Probandenmerkmalen wie Alter oder Händigkeit.

Zusätzliche Aspekte der einzelnen Studien, die sich aus den unterschiedlichen Studiendesigns ergaben und nicht untereinander vergleichbar waren, wurden ebenfalls berücksichtigt und den drei Hauptkomplexen zugeordnet. Dazu zählten beispielsweise von den Probanden auszuführende Aufgaben in bildgebenden Studien, zusätzliche Modalitäten bei der Generierung dynamischer Stimuli oder Pausen zwischen den Stimuli.

3 . Ergebnisse

3.1 Vorstellung der untersuchten Studien

3.1.1 Behaviorale Studien

3.1.1.1 Spencer-Smith et al.

Die Forschergruppe ließ statische Avatargesichter mit Emotionen verschiedener Intensität bezüglich ihrer Intensität und der Präzision der Darstellung der einzelnen Emotionen im Vergleich zu Ekman-Photos bewerten. Außerdem liefern Spencer-Smith und Kollegen eine detaillierte Beschreibung zur eigentlichen Generierung der artifiziellen Stimuli.

Methode: Die Avatare wurden mit Hilfe der Software Poser erstellt und waren in Anlehnung an die Ekman-Gesichter schwarzweiß gehalten. Die verwandten Emotionen umfassten sowohl auf Seiten der natürlichen als auch der artifiziellen Stimuli Fröhlichkeit, Wut, Traurigkeit, Ekel, Furcht, Erstaunen und neutralen Ausdruck.

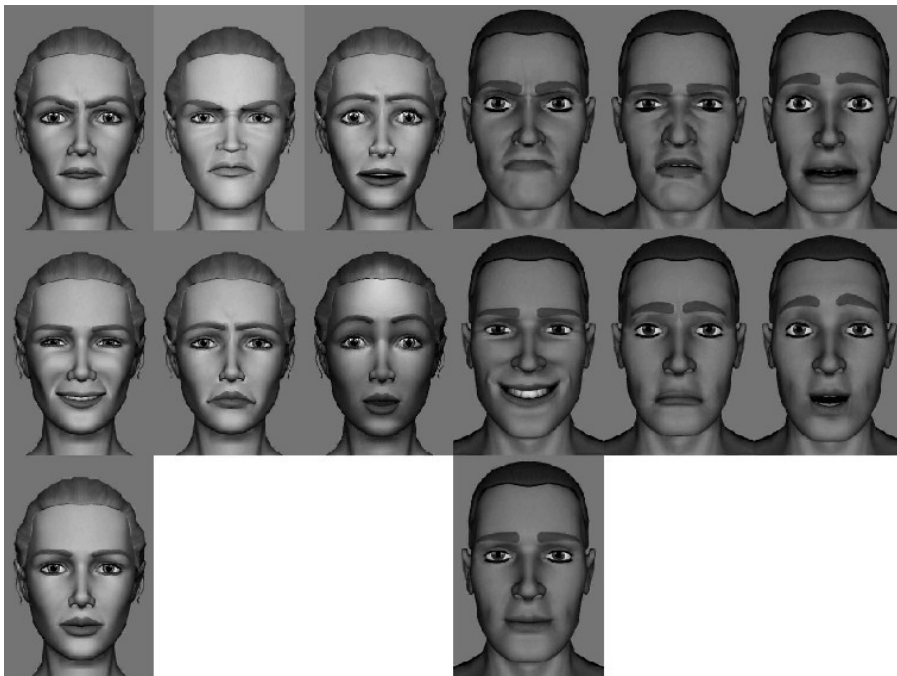


Abb. 2: Weibliche und männliche Avatare mit den Gesichtsausdrücken Wut, Ekel, Angst, Fröhlichkeit, Traurigkeit, Überraschung, neutral, jeweils in hoher Intensität © 2001 Psychonomic Society, Inc.

In einem ersten Versuchslauf wurden weibliche, in einem zweiten männliche Avatar- und Ekman-Gesichter von jeweils 20 Probanden und Probandinnen bewertet; die eine im Voraus über den Versuchsablauf instruierte Probandengruppe sah ausschließlich die weiblichen, die andere Gruppe die männlichen Stimuli. Die Hälfte der artifiziellen Stimuli stellen die jeweiligen Emotionen in niedriger, die andere Hälfte in hoher Intensität dar. Hierzu wurden die jeweils selben AUs in den Gesichtern in verschiedener Ausprägung implementiert, d.h. die Intensitäten der einzelnen Muskelbewegungen wurden auf 0,5 (niedrige Intensität) bzw. 1,0 (hohe Intensität) gesetzt.



Abb. 3: Links: Implementierung von AUs am Beispiel der AU 24 (Lippendepression) in neutraler Ausgangsposition und mit einer Intensität von 1.0. Rechts: Fröhliches Gesicht niedriger Intensität © 2001 Psychonomic Society, Inc.

Von den Probanden wurde diese Intensität anhand auf einer Likert-Skala von 1 bis 7 angegeben; dabei wurde für eine dargestellte Emotion abgefragt, als wie intensiv sie bezüglich aller sechs Basisemotionen empfunden wurde. Wurde eine Emotion beispielsweise richtig als fröhlich erkannt, erhielt der Stimulus den höchsten Intensitätswert für Fröhlichkeit. Trotzdem beinhalteten die Stimuli für die Betrachter zu verschiedenen Anteilen auch Aspekte der anderen Emotionen. So erhielten fröhliche Gesichter auch Intensitätswerte für die übrigen sechs Emotionen, jedoch in deutlich geringerer Ausprägung, was sich in niedrigen Werten äußerte.

In einem dritten Versuchsteil wurden die Emotionen von Poser- versus Ekman-Gesichtern verglichen. Hierzu wurde je ein eigens für dieses Telexperiment gestalteter männlicher und weiblicher Poser- und Ekman-Charakter der selben Emotion nebeneinander gezeigt; pro Charakter wurden wie in den vorigen Experimenten sieben

Emotionen generiert. Die Probanden konnten anhand der Länge eines manuell verstellbaren Balkens bestimmen, wie ähnlich sie die gezeigten Emotionen fanden.

Ergebnisse: Die männlichen und weiblichen Avatare mit hohen Intensitätswerten wurden immer intensiver als ihre Korrelate mit geringerer Ausprägung bewertet. Im Vergleich zu den Ekman-Gesichtern konnten allerdings nur die intensiveren Stimuli signifikante Ergebnisse erzielen: Die männlichen Avatargesichter erreichten auf der Likert-Skala zur Bewertung von Intensität und Präzision der jeweils dargestellten sieben Emotionen annähernd die gleichen Werte wie die Ekman-Gesichter.

Die weiblichen Stimuli wurden insgesamt als weniger intensiv im Vergleich zu den Photos eingestuft; dieser Effekt beruhte auf den überdurchschnittlich schlechten Werten für artifiziellen Ekel und Fröhlichkeit. Außerdem kam es zu Verwechslungen von Wut mit Ekel und Überraschung mit Angst; letztere Konfusion konnte bei den männlichen Avatargesichtern gezielt durch eine Änderung der AU-Einstellungen verhindert werden. Bezüglich ihrer Präzision erhielten die weiblichen Avatare schlechtere Werte als die Photos; die Differenz betrug allerdings nur 0,3 Punkte auf der Skala von 1 bis 7.

Auch im direkten Vergleich zwischen Avataren und Ekman-Gesichtern schätzten die Probanden die Emotionen im dritten Versuchsteil insgesamt als sehr ähnlich ein.

3.1.1.2 Ku et al.

In dieser Studie wurden animierte Avatargesichter verschiedener Intensitäten bezüglich ihrer Valenz und ihres Arousal bewertet.

Methode: Ein Clip zeigte ein weibliches oder männliches neutrales Gesicht, das sich jeweils bis zu einem sehr schwachen/schwachen/mittleren/intensiven/sehr intensiven (Stufe 1 bis 5) fröhlichen oder bösen Gesicht bewegt; die Avatare sind asiatischer Ethnizität. Als Bewertungsskala diente das „Self-Assessment Manikin“- SAM (Bradley und Lang, 1994; s. 1.5), bei dem Werte von den Probanden nicht anhand von Zahlen, sondern anhand von Figuren ausgewählt werden, die das jeweils gefragte Attribut

schematisch darstellen. Die Figuren für Valenz waren Werten von -4 (unerfreut) bis 4 (vergnügt) zugeordnet, für Arousal von 0 (entspannt) über 2 (Grundlevel) bis 8 (extrem erregt). Außerdem wurde gefragt, wie gut die Avatare bzw. ihr fröhlicher/verärgerter Ausdruck erkannt werden konnten und zu welchem Grad sich die Probanden vom jeweiligen Ausdruck beeinflusst fühlten. Diese Fragen konnten im Sinne einer Likert-Skala von 0 bis 10 beantwortet werden.

Ergebnisse: Für neutrale weibliche Gesichter fand sich ein leicht erhöhter Arousal gegenüber den männlichen Stimuli, während sie bei maximaler Ausprägung dezent niedrigere Werte aufwiesen. Die Valenz wiederum war für neutrale und minimal intensive weibliche Gesichter signifikant höher als für die männlichen Pendants. Fröhliche Gesichter erreichten auf der niedrigsten Intensitätsstufe eine höhere Valenz als die bösen Gesichter der selben Kategorie; auf der höchsten Stufe war der Effekt umgekehrt. Der Arousal war hiervon nicht betroffen. Insgesamt stiegen bei allen gezeigten Stimuli mit zunehmender Intensität der Emotionen Valenz und Arousal.

Die Rate für das korrekte Erkennen der dargestellten Emotion betrug für alle Stimuli über 80%; von den Avataren beeinflusst fühlten sich allerdings nur gut 60% der Probanden.

3.1.1.3 Kätsyri und Sams

Kätsyri und Sams liefern ein komplexes Studiendesign, mit welchem sie die Identifizierung von Basisemotionen sowohl bei statischen und dynamischen als auch natürlichen und artifiziellen Gesichtsstimuli erfassten und verglichen.

Methode: Mit einer Software, die an der Technischen Universität von Helsinki entwickelt wurde (Frydrych M, Kätsyri J, Dobsik M, Sams M. Toolkit for animation of Finnish talking tead. Sitzungsprotokoll der „International Conference on Audio-Visual Speech Processing“, 2003), generierte das Team sowohl statische als auch dynamische Avatargesichter. Dabei wurde ein Satz mit einem Gesicht ohne Textur programmiert,

während für einen zweiten Satz die Gesichtstextur eines Menschen auf den „kahlen“ Kopf projiziert wurde; in der tabellarischen Zusammenfassung zählen diese Gesichter als eigene Charaktere.

Als natürliche Stimuli dienten Photos und Videoclips aus dem Cohn-Kanade-Inventar (Kanade T, Tian Y, Cohn JF. Comprehensive Database for Facial Expression Analysis. Sitzungsbericht der „Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition“, 2000). Zusätzlich wurden an der Universität Bilder und Videos von Schauspielern aufgenommen und so ein weiteres Set menschlicher statischer und bewegter Stimuli erstellt. Artificielle Stimuli wurden nach dem FACS-System kodiert, die Schauspieler waren trainierte FACS-Darsteller und von den Bildern/Videos von Cohn-Kanade wurden die Stimuli ausgesucht, die möglichst ähnliche Gesichtszüge im Sinne des FACS zu den anderen Stimuli aufwiesen. Als Kontrollstimuli dienten Ekman-Gesichter.

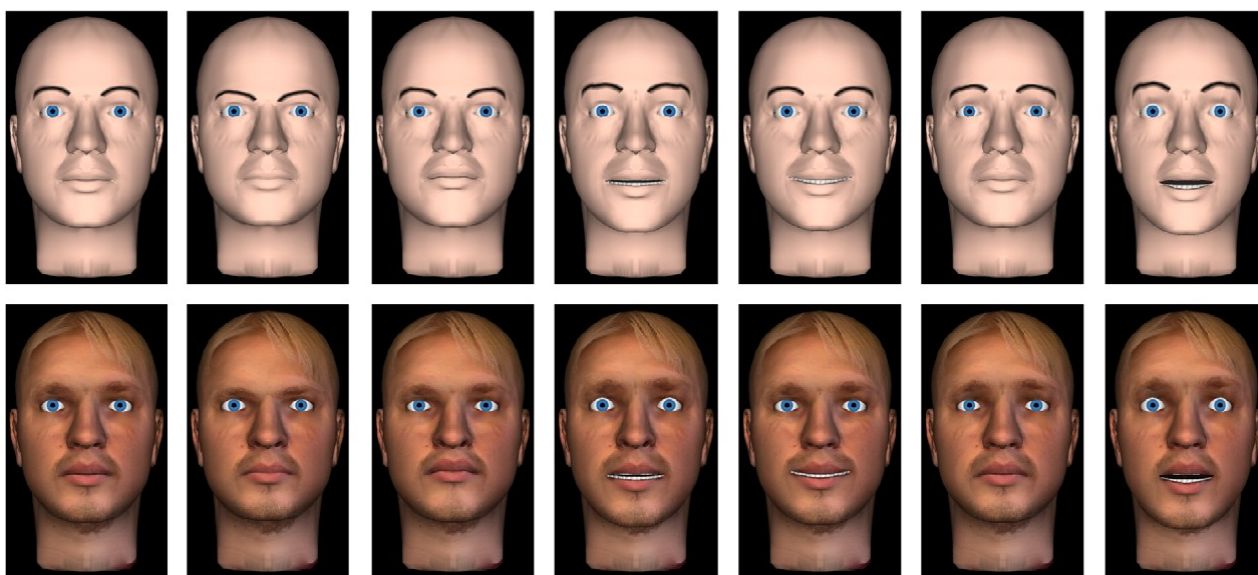


Abb. 4: Synthetische Gesichter mit der mimischen Ausprägung am Ende der Animation; in der oberen Reihe ohne, in der unteren mit zusätzlicher Hauttextur. Gesichtsausdrücke von links nach rechts: neutral, Wut, Ekel, Angst, Fröhlichkeit, Traurigkeit, Überraschung © 2007 Elsevier Ltd.

Die Hälfte der Probanden bewertete ausschließlich statische Gesichter, die andere dynamische; die statischen Kontrollstimuli (Ekman) sahen beide Gruppen. Da für dynamische Stimuli keine neutralen Gesichter existierten, beinhalteten nur die Sets mit

statischen Stimuli auch neutrale Expressionen. Zur Bewertung der Natürlichkeit der jeweils dargestellten Emotion diente eine Skala von 1 bis 7. Auf einer identischen Skala wurde für jeden Stimulus erfasst, welcher Emotion er am ähnlichsten ist (s. Spencer-Smith et al.).

Ergebnisse: Zum Aspekt der Dynamik fanden sich folgende Ergebnisse: dynamische künstliche Gesichter konnten insgesamt signifikant besser identifiziert werden als ihre statischen Korrelate; bei den menschlichen Gesichtern trat dieser Effekt nicht auf. Besonders stark war die Verbesserung der Identifikation durch Dynamik bei bösen und Ekel erregten Avataren, während dynamische Furcht erregte und traurige Gesichter sogar etwas schlechter erkannt wurden. Die besten Ergebnisse bei den Avataren konnten animierte fröhliche und überraschte Gesichter erzielen.

Sowohl bei den Avataren als auch bei den natürlichen Stimuli nahmen sich die Probanden zur Identifizierung der Emotionen deutlich mehr Zeit bei den dynamischen Darstellungen.

Vergleiche von natürlichen zu künstlichen Stimuli ergaben insgesamt eine signifikant schlechtere Erkennung der künstlichen Gesichter, wobei die Werte für statischen Ärger und Ekel sogar unter dem Zufallsniveau lagen. Bei den natürlichen Gesichtern erhielten Ärger und Furcht die schlechtesten Bewertungen bezüglich ihrer Identifizierbarkeit.

Da sich zwischen den Stimuli von Cohn-Kanade und denen der eigens von der Universität aufgenommenen keine Unterschiede messen ließen, wurden die Ergebnisse gepoolt und mit denen der Ekman-Gesichter verglichen. Für Ärger fanden Kätsyri und Sams signifikant bessere Werte auf Seiten der Ekman-Stimuli; für Traurigkeit waren die Werte schlechter. Für die schlechten Bewertungen böser Gesichter in den Cohn-Kanade- und Universitäts-Stimuli wurde der Ausdruck eines der Schauspieler verantwortlich gemacht, die die Universität engagiert hatte; bei Entfernen dieses Stimulus aus der

Wertung bestand die Differenz zu den Ekman-Stimuli in der Identifizierung von Ärger nicht fort.

Bezüglich der unterschiedlichen Hauttextur bei den Avataren fanden sich keine signifikanten Unterschiede in der Bewertung.

3.1.1.4 Dyck et al.

In dieser Studie wurde die Identifizierbarkeit von Emotionen in statischen Avatargesichtern im Vergleich zu Photos menschlicher Gesichter untersucht. Zusätzlich wurde ermittelt, ob und welchen Einfluss das Alter der Probanden auf das Erkennen der Emotionen hat.

Methode: Dyck und Kollegen testeten ihr Stimulusset vor dem eigentlichen Experiment in einer Pilotstudie, in der Avatare im Vergleich zu Photos bezüglich ihrer Intensität und Natürlichkeit von 42 Probanden eingeschätzt wurden; natürliche und virtuelle Gesichter erzielten in beiden Kategorien auf einer Skala von 1 bis 6 fast identische Werte.

Im Hauptversuch ordneten die Probanden die Bilder den entsprechenden Emotionen zu; per Knopfdruck konnte zwischen den fünf Emotionen und neutralem Gesichtsausdruck unterschieden werden. Zur Evaluation eines eventuellen Einflusses des Probandenalters wurden diese von Anfang an in zwei Gruppen (20–40 und 40–60 Jahre) geteilt.



Abb. 5: Weiblicher und männlicher Avatar mit ängstlichem Gesichtsausdruck © 2008 Dyck et al.

Ergebnisse: Während die Probanden deutliche Probleme bei der Zuordnung der Ekel erregten Avatargesichter und in geringerem Ausmaß auch der neutralen Gesichter hatten, konnten v.a. traurige, angstvolle und zu einem gewissen Grad auch böse Gesichter besser identifiziert werden als ihre natürlichen Pendanten. Dies spiegelte sich auch in den Reaktionszeiten wider, die die Probanden benötigten, um die Emotionen zu erkennen: Für artifiziellen Ekel und neutrale Gesichtsausdrücke benötigten sie deutlich mehr Zeit als für die entsprechenden Photos. Für die weiteren Emotionen waren die Reaktionszeiten für Avatare und Photos annähernd gleich.

Bezüglich des Probandenalters zeigte sich, dass die Rate der korrekt zugeordneten Emotionen in der Gruppe der über 40-Jährigen insgesamt kleiner war; für Avatargesichter war sie jedoch signifikant niedriger.

3.1.2 FMRT-Studien

3.1.2.1 Moser et al.

In dieser Studie erfolgte eine Zuordnung von Emotionen für statische künstliche und natürliche Gesichter. Während dieser behavioralen Zuordnungsaufgabe wurde die Hirnaktivität mittels fMRT gemessen, um die zerebralen Aktivierungsmuster bei Betrachten artifizieller versus realistischer Gesichter vergleichen zu können.

Methode: Zur Bewertung wurde den Probanden das jeweilige Bild mit zwei Antwortmöglichkeiten für in Frage kommende Emotionen gezeigt; die passende Emotion musste per Knopfdruck gewählt werden.



Abb. 6: Photo vs. Avatar mit Auswahlmöglichkeit zwischen den Modalitäten Wut und Angst

Ergebnisse: Die Zuordnung der Emotionen erfolgte insgesamt zuverlässig, wobei die Photos von Menschen besser identifiziert wurden. Bis auf artifiziellen Ekel wurden alle Stimuli zu über 80% korrekt zugeordnet; für artifiziell dargestellten Ekel und Furcht waren die Werte signifikant niedriger als für die natürlichen Gesichter. Fröhliche Gesichter wurden am schnellsten erkannt, und insgesamt wurden menschliche Stimuli schneller zugeordnet als Avatare; besonders viel Zeit benötigten die Probanden zur Klassifizierung von Ekel und Furcht. Frauen konnten die Photos verglichen mit den Avatarbildern schneller und zu einem höheren Prozentsatz korrekt zuordnen; bei Männern trat dieser Effekt nicht auf.

Die fMRT-Bilder zeigten eine beidseitige Aktivierung der Amygdalae sowohl für die künstlichen als auch die natürlichen Gesichter. Beim Betrachten von Avataren wurden außerdem die fusiformen Gyri, das Cerebellum, der linke parahippocampale Gyrus, der rechte obere und linke untere temporale Gyrus, der rechte Hippocampus und frontale Regionen stimuliert. Die Vergleichsphotos reizten zusätzlich den Hirnstamm, während frontale Regionen und die Hippocampi kein Signal lieferten. Im direkten Vergleich reagierten v.a. die fusiformen Gyri, das Cerebellum und die Gyri recti stärker auf menschliche emotionale Gesichter. Die Aktivierungsmuster blieben sowohl bei einem Ausschluss von fröhlichen Stimuli aus der Auswertung bestehen, d.h. wenn nur negative Emotionen bewertet wurden, als auch bei einer Einbeziehung fröhlicher Stimuli.

Die Aktivierungen der Amygdalae zeigten keine signifikanten Unterschiede in ihrer Intensität für Avatare oder Photos. Außerdem fanden sich im zeitlichen Verlauf (beim Vergleich der ersten 18 Stimuli zum zweiten Block) keine Verschiedenheiten bezüglich der Aktivierungsstärke.

3.1.2.2 Hurlemann et al.

Hurlemann und Kollegen untersuchten mit Hilfe des fMRT das Antwortverhalten der Amygdalae auf positive und negative emotionale Stimuli, die den Probanden während der Untersuchung in Form von dynamischen Avatargesichtern präsentiert wurden.

Methode: Die Avatargesichter wurden in einer Pilotstudie von 12 Probanden auf einer 9-Punkte-Skala bezüglich ihrer Valenz, ihres Arousal und ihrer Eindeutigkeit im Vergleich zu Ekman-Gesichtern bewertet. Dabei erreichten fröhliche und neutrale Avatargesichter ähnliche Werte wie ihre natürlichen Vergleichsgesichter; ärgerliche Avatare wurden als negativer, unangenehmer und eindeutiger als die Ekman-Gesichter eingeschätzt. Neutrale Gesichter wurden als weniger erregend und eindeutig charakterisiert.

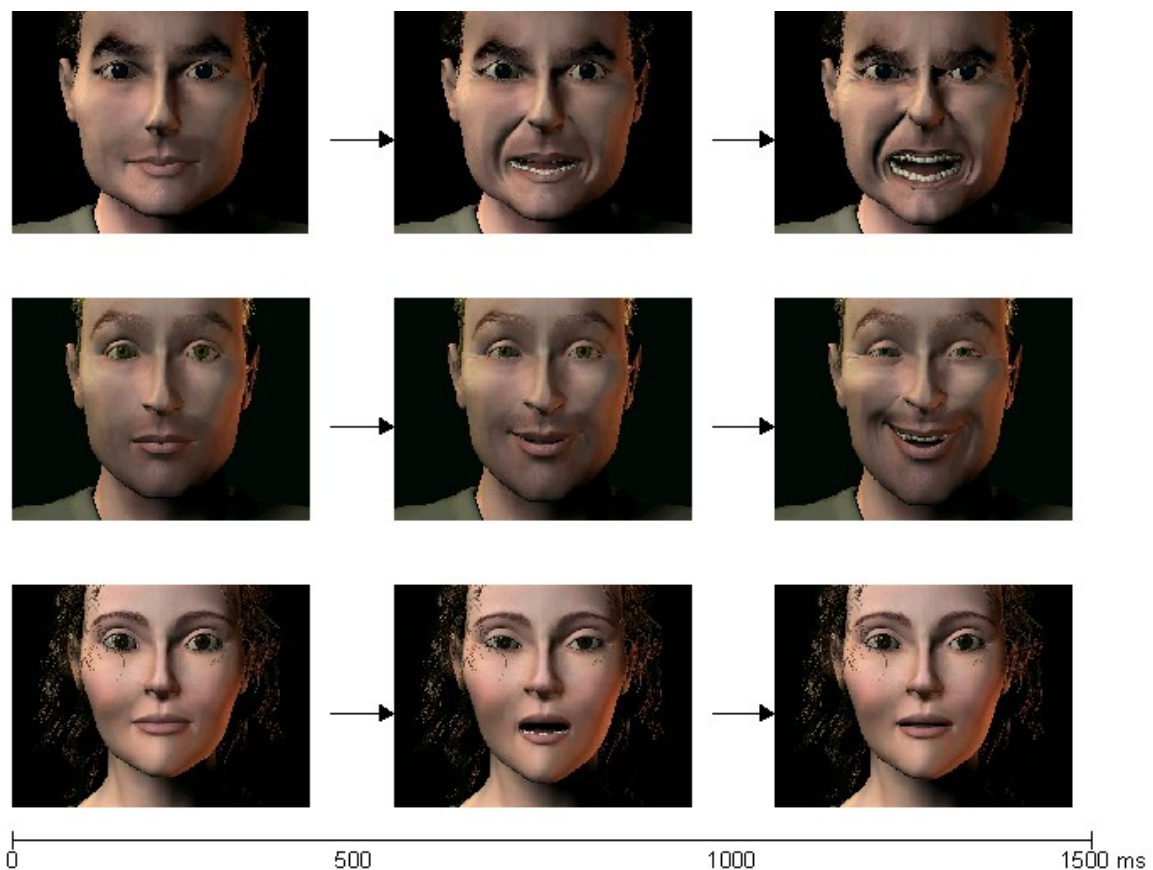


Abb. 7: Beispiele für Avatare in Clips: wütender (oben), fröhlicher (Mitte) und neutraler (unten) Gesichtsausdruck. In den animierten Clips entwickelt sich je aus einem neutralen Gesicht innerhalb einer Sekunde ein Gesichtsausdruck, der weitere 500ms in voller Ausprägung sichtbar ist. Das neutrale Gesicht vollzieht eine dezente Schließbewegung der Augen sowie eine Mundöffnung; dieses Video endet in der Ausgangsposition. © 2008 Elsevier B.V.

Zur Auswertung der fMRT-Daten wurden in dieser Studie zytoarchitektonische Wahrscheinlichkeitskarten genutzt, um Aktivierungen in den Subregionen der Amygdala differenzierter darstellen zu können (s. 1.5).

Ergebnisse: Es konnten Antworten beider Amygdalae auf die emotionalen Stimuli gemessen werden. v.a. corticale (superfizielle) und basolaterale Teile der linken Amygdala zeigten sich stimuliert, wobei nur der Vergleich von fröhlichen zu neutralen Stimuli wesentliche Ergebnisse lieferte. Die negativen (bösen) Gesichter vermochten keine signifikanten Antworten in der Amygdala auszulösen.

Die Analyse des gesamten Hirns ergab zusätzlich die folgenden nennenswerten Aktivierungen: in den temporalen Polen sowohl für positive als auch negative Avatargesichter; im je rechten Gyrus orbitalis medialis und temporalis inferior und dem linken parahippocampalen Gyrus für fröhliche versus neutrale Avatare; in ventromedialen präfrontalen Bereichen (Gyri orbitales laterales, v.a. rechts, Gyri cinguli anteriores, v.a. links, Caput nuclei caudati links) für fröhliche versus böse Gesichter; in occipito-temporalen Cortices (Gyrus occipitalis medialis links, Gyrus temporalis inferior rechts, Gyrus fusiformis links) im Vergleich emotionaler zu neutralen Gesichtern. Böse Gesichter verglichen mit neutralen wiesen (geringe) Aktivierungen der rechten Insel und der linken Amygdala auf; im Vergleich mit fröhlichen Gesichtern fanden sich keine überschwelligeren Signale.

Geschlechterunterschiede seitens der Probanden traten nicht auf.

3.1.3 Elektromyographische Studien

3.1.3.1 Weyers et al.

In dieser Studie wurde die faziale muskuläre Reaktion der Probanden auf statische und dynamische Avatargesichter gemessen.

Methode: Den Probanden wurde zwecks EMG-Messung zweimal dasselbe Set von 20 statischen und animierten Avatargesichtern gezeigt. Anschließend wurden in drei weiteren Durchläufen die dargestellten Emotionen zugeordnet und sowohl ihre Intensität als auch Realitätsnähe (von denselben Probanden) auf einer Likert-Skala von 1 bis 7 bewertet.



Abb. 8: Wütendes, neutrales und fröhliches Avatargesicht © 2006 Society for Psychophysiological Research

Ergebnisse: Alle Stimuli wurden zu über 80% der korrekten Emotion zugeordnet. Böse Gesichter wurden als intensiver wahrgenommen als fröhliche, während fröhliche Gesichter bezüglich ihrer Realitätsnähe höhere Werte erzielten. Die animierten Gesichter wurden zu einem höheren Prozentsatz richtig erkannt und wurden als intensiver und realistischer eingeschätzt. Die neutralen, stets statischen Stimuli wurden bei niedriger Intensität als sehr realitätsnah eingestuft.

Die EMG-Messungen wurden in drei Perioden eingeteilt (0–500, 500–1000 und 1000–1500 ms nach Stimulusbeginn). Für böse Gesichter konnten keine signifikanten Muskelaktivierungen gefunden werden. Fröhliche Gesichter bewirkten eine deutlich erhöhte Aktivität des M. zygomaticus major und eine herabgesetzte Spannung des M. corrugator supercilii im dritten Zeitintervall, die bei dynamischen Stimuli am stärksten ausgeprägt waren.

3.2 Avatargesichter versus natürliche Stimuli

3.2.1 Können die Emotionen artifizieller Gesichter korrekt zugeordnet werden?

Insgesamt konnten die Emotionen der Avatare gut zugeordnet werden: Bei Ku et al., Weyers et al. und Moser et al. wurden die artifiziell dargestellten Emotionen zu über 80% richtig erkannt; Dyck et al. maßen ähnliche Reaktionszeiten für die Zuordnung der meisten Emotionen bei Avataren und Photos.

Die Studien, die den Ausdruck von virtuellem Ekel untersuchten (Spencer-Smith et al., Moser et al., Kätsyri und Sams, Dyck et al.), fanden für diese Emotion regelmäßig die schlechtesten Werte bezüglich der korrekten Benennung der Emotion und ihrer Intensität; meist wurde Ekel mit Angst verwechselt. Abgesehen davon werden Ekel, Angst und Traurigkeit auch bei Photos von Menschen häufig miteinander verwechselt. In der Untersuchung von Dyck et al. konnten Traurigkeit und Angst bei Avataren besser identifiziert werden als bei Photos.

Die freundlichen Avatargesichter erhielten in den behavioralen Bewertungen der Studien im Vergleich zu natürlichen Gesichtern regelmäßig ähnliche oder bessere Werte für die Genauigkeit oder Eindeutigkeit bezüglich der dargestellten Emotion (Hurlemann et al., Dyck et al.).

Avatare, deren Emotionen dem Probanden nicht als eindeutig zuordenbar erscheinen, werden tendenziell als neutral missinterpretiert (Dyck et al.). Neutrale Avatargesichter selbst werden jedoch zu einem hohen Prozentsatz korrekt als „neutral“ identifiziert (Weyers et al., Moser et al., Dyck et al.). Bei Hurlemann et al. wurden die neutralen Animationen als ähnlich eindeutig wie die neutralen Ekman-Stimuli eingeschätzt.

3.2.2 Unterscheiden sich Valenz, Arousal und Intensität artifizierlicher und natürlicher Stimuli?

Avatargesichter werden im direkten Vergleich mit Ekman-Photos als ähnlich (Spencer-Smith et al.) bzw. als ähnlich intensiv und natürlich (Dyck et al.) wahrgenommen. Die generelle Ähnlichkeit von Avataren und Photos konnten Spencer-Smith und Kollegen nur für die Stimuli höherer Intensität finden; die Avatare von Weyers et al. konnten bei sehr niedrigen Intensitätswerten trotzdem einen hohen Grad an Realismus erreichen. Die Probanden vergaben für artifizielle Stimuli außerdem ähnliche Werte für ihre Intensität und Präzision verglichen mit Photos (Spencer-Smith et al.); die männlichen Avatare schätzten die Probanden insgesamt als intensiver ein (Spencer-Smith et al.), während weibliche Avatare höhere Valenzwerte erhielten (Ku et al.).

Erboste Avatargesichter erhielten meist höhere Werte für ihre Intensität, Valenz und/oder ihren Arousal verglichen mit Photos (Spencer-Smith et al., Hurlemann et al.). Hierbei ist zu erwähnen, dass Hurlemann et al. ihre animierten Stimuli mit statischen Ekman-Gesichtern verglichen, was die Aussagekraft bezüglich eines direkten Vergleichs relativiert. Studien, die auch Traurigkeit untersuchten, wiesen fast ausnahmslos bessere Werte für die virtuellen Avatare im Vergleich zu menschlichen Gesichtern nach (Spencer-Smith et al., Moser et al., Dyck et al.).

Bei Hurlemann et al. wurden in der Pilotstudie für fröhliche und neutrale Avatare im Vergleich zu Ekman-Photos ähnliche Werte bezüglich ihrer Valenz und des Arousal erreicht; bezüglich ihrer Intensität erreichten freundliche Avatargesichter ähnliche oder sogar höhere Werte im Vergleich zu natürlichen Stimuli (Spencer-Smith et al., Dyck et al.).

In den hier analysierten Arbeiten wurden neutralen Gesichtern immer auch erregende Eigenschaften (im Sinne von Arousal und/oder Intensität) zugesprochen (Spencer-Smith et al., Ku et al., Hurlemann et al.). Ku und Kollegen konnten neutrale Gesichter

generieren, deren Valenz als neutral eingestuft wurde. Die neutralen animierten Gesichter von Hurlemann und Kollegen wurden in der Pilotstudie so eingeschätzt, wie man es für ein emotional neutrales Gesicht erwarten würde: ihre Valenz wurde zwischen den Werten von fröhlichen und bösen Stimuli eingeordnet und sie erreichten einen Arousal, der jedoch deutlich unter dem der anderen Stimuli lag. Im Vergleich zu Ekman-Gesichtern wiesen sie ähnliche Valenz- und Arousal-Werte auf.

Lediglich Kätsyri und Sams konnten keine vergleichbaren Ergebnisse im Vergleich artifizierlicher und natürlicher Stimuli erzielen; hier wurden allerdings insgesamt keine überzeugenden Bewertungen der Avatare erreicht.

3.2.3 Wie unterscheiden sich Zuordenbarkeit, Valenz und Arousal der einzelnen Emotionen untereinander?

Wütende Avatargesichter erreichen regelmäßig höhere Valenz-, Arousal- und Intensitätswerte als die übrigen virtuellen Stimuli (Ku et al., Weyers et al., Dyck et al.), während fröhliche Gesichter als weniger intensiv im Vergleich zu negativen Emotionen bewertet werden (Weyers et al.).

Ku et al. und Hurlemann et al. ließen ihre virtuellen Stimuli bezüglich ihres Arousal bewerten. In der Studie von Ku und Kollegen erhielten böse und fröhliche Gesichter fast identische Werte, die für die maximal ausgeprägten Emotionen bei etwa 6 von 8 möglichen Punkten lagen. Hurlemann et al. erhielten für ihre fröhlichen Avatare niedrigere Arousalwerte als für böse; trotzdem lagen sie immernoch im oberen Drittel der Punkteskala. Für freundliche natürliche Stimuli aus dem POFA-Set wurde der Arousal zwar minimal höher eingestuft, aber die Werte für negative Stimuli waren niedriger.

3.2.4 Wie reagiert die Amygdala auf Avatargesichter?

Sowohl bei Moser und Kollegen als auch bei Hurlemann et al. vermochten Avatargesichter deutliche Reaktionen der Amygdalae zu induzieren. Moser et al. maßen

ähnlich intensive Aktivierungen für Photos und Avatare. Menschliche Gesichter lösten insgesamt zwar anders gewichtete und zum Teil stärkere bzw. großflächigere Reaktionen aus; artifizielle Stimuli reizten jedoch deutlich die Hirnregionen, die maßgeblich an der Verarbeitung emotionaler Gesichter beteiligt sind (Gyri fusiformi, temporale Gyri, frontale Regionen). Hurlemann et al. konnten v.a. Aktivierungen der linken Amygdala für fröhliche Stimuli nachweisen; wütende Gesichter lösten keine nennenswerten Reaktionen der Amygdala aus. Auch hier wurden durch die Avatare auf das gesamte Hirn gesehen die o.g. Regionen stimuliert, die essentiell für die Emotionsverarbeitung sind.

3.3 Weitere relevante Aspekte der Studienanalyse

3.3.1 Die Generierung emotionaler, artifizieller Gesichter

Das FACS. Eine bei der Mehrzahl der hier untersuchten Studien verwandte Methode zur Generierung emotionaler Gesichter ist die Anwendung des FACS (s. 1.4.2, Tab. 1) für die mimische Gestaltung der Gesichter. Dazu wurden entweder Schauspieler engagiert, die in der Umsetzung des FACS trainiert waren und für Photos und Videos posierten (Kätsyri und Sams), oder die Stimuli wurden mit Hilfe des FACS-Manuals erstellt bzw. von erfahrenen FACS-Kodierern überprüft und bewertet (Weyers et al., Moser et al., Kätsyri und Sams). Ku et al. und Hurlemann et al. generierten ihre Stimulussets ohne das FACS.

Weitere Stimulusmerkmale. In den vorgestellten Studien wurden mittels verschiedener Softwares Stimuli generiert, die sich bezüglich der Farblichkeit, Dynamik, Intensität, ihres Geschlechts und der Anzahl der entworfenen Charaktere unterscheiden (s. Tab. 2 und 3). Während in allen Studien böse, fröhliche und neutrale Gesichter Anwendung fanden, wurde in vier Studien auch die Reaktion der Probanden auf weitere Emotionen untersucht (s. Tab. 3).

Autor Emotion → ↓	H	A	S	D	F	s
Spencer-Smith et al.	6,11,12	2,4,5,10, 24/25	1,2,4,15	4,9,10,17	1,2,4,15/1 6,20	1,2
Weyers et al.	s. Spencer-Smith et al.					
Moser et al.	6,12	4,5,7,10,2 3,25	1,4,11,15	10,16,25	1,2,4,5,20, 25	-
Kätsyri und Sams	6,12,25	4,5,7,15, 24	1,4,7,15, 17	9,10,17	1,2,4,5,7, 20,25	1,2,5,25,2 6
Dyck et al.	1,2,4- 7,9,12	4,7,9,10, 15-17,24	1,4,7,15,2 5,38	1,2,9,10,1 5, 16,23,25	1,2,5,15,2 0,26	-

Tab. 1: Verwendung von AUs in FACS-orientierten Studien

H (happy: fröhlich), A (angry: böse), S (sad: traurig), D (disgusted: Ekel erregt), F (fearful: furchtvoll), s (surprised: erstaunt)

1: Heben der inneren Augenbraue, 2: Heben der äußeren Augenbraue, 4: Senken der Brauen, 5: Heben des oberen Lids, 6: Heben der Wange, 7: Verengung der Lider, 9: Rümpfen der Nase, 10: Heben der Oberlippe, 11: Vertiefung der nasolabialen Falte, 12: Hochziehen der Mundwinkel, 15: Herabziehen der Mundwinkel, 16: Herabziehen der Unterlippe, 17: Kinnrunzeln, 20: Spannen der Lippen, 23: Verengung der Lippen, 24: Zusammenpressen der Lippen, 25: Öffnen der Lippen, 26: Herabsinken des Unterkiefers, 38: Weitung der Nasenflügel (Ekman et al., 1978)

	Autoren	Jahr	Software	Farbigkeit	Statik/Dynamik
1	Spencer-Smith et al.	2001	Poser 4	schwarzweiß	statisch
2	Ku et al.	2005	3D Smax/ GS	schwarzweiß	dynamisch
3	Weyers et al.	2006	Poser 4	farbig	statisch + dynamisch
4	Moser et al.	2007	3D Smax/ Poser 5	farbig	statisch
5	Kätsyri und Sams	2008	Software HUT	farbig	statisch + dynamisch
6	Hurlemann et al.	2008	Poser 5	farbig	dynamisch
7	Dyck et al.	2008	Half-Life 2	farbig	statisch

Tabelle 2: Zusammenfassung der Stimulusmerkmale I

Poser 4/5 (Curious Labs, Inc., Santa Cruz, Kalifornien, USA); 3D SMax: 3D StudioMax (Autodesk, Inc., San Rafael, Kalifornien, USA); 3D GS: 3D GameStudio (Conitec Datasystems Corporation, Inc., San Diego, Kalifornien, USA); HUT: Helsinki University of Technology; Half-Life 2 (Valve Software, Bellevue, Washington, USA)

	Emotionen							Charaktere		Anzahl insg. (davon dynamisch)	Intensität der Emotionen
	H	A	S	D	F	s	N	♀	♂		
1	x	x	x	x	x	x	x	7	7	98	je 50% niedrig/hoch
2	x	x					x	1	1	22	5 Stufen (sehr niedrig bis sehr hoch)
3	x	x					x	2	2	20 (8)	k. A.
4	x	x	x	x	x		x	3	3	36	1 Charakter niedrig, 2 hoch
5	x	x	x	x	x	x	(x)	-	2	28 (14)	niedrig
6	x	x					x	45	45	90	k. A.
7	x	x	x	x	x		x	7	12	114	mittel

Tab. 3: Zusammenfassung der Stimulusmerkmale II

H (happy: fröhlich), A (angry: böse), S (sad: traurig), D (disgusted: Ekel erregt), F (fearful: furchtvoll), s (surprised: erstaunt), N (neutral). Die Einschätzung der hier angezeigten Intensitäten wurde von den Autoren vor der Bewertung durch die Probanden vorgenommen.

3.3.2 Stimuluspräsentation

Die Stimuli wurden in randomisierter Reihenfolge präsentiert, d.h. jeder Proband sah eine andere Stimulusfolge. In Studien, bei denen die Randomisierung mit „teilweise“ angegeben ist, wurde die Reihenfolge der Stimuli einmalig bezüglich des Geschlechts und der gezeigten Emotionen randomisiert und dieses Set allen Probanden vorgeführt. Spencer-Smith et al., Kätsyri und Sams und Dyck et al. ließen die Probanden jeden Stimulus für alle sechs bzw. sieben in Frage kommenden Emotionen bewerten; hier waren auch die zu jedem Stimulus präsentierten sechs bzw. sieben Antwortmöglichkeiten in ihrer Reihenfolge randomisiert.

In den Studien mit statischen Bildern wurden die Stimuli unterschiedlich lange gezeigt: Moser et al. präsentierten die Bilder maximal 5 und Dyck et al. 7 Sekunden oder bis die

Aufgabe bezüglich des Bildes (Einschätzung von Intensität etc.) per Knopfdruck gelöst wurde. Bei Spencer-Smith et al. und Kätsyri und Sams konnten die Bilder bis zu diesem Knopfdruck unendlich lange betrachtet werden.

Bei animierten Clips mit Avatargesichtern (Weyers et al. und Hurlemann et al.) wurde eine Rate von 30 frames pro Sekunde gewählt, d.h. eine Sekunde Video bestand aus 30 Einzelbildern. Während die Clips bei Weyers et al. je 1 Sekunde dauern und sich die Entwicklung des Gesichtsausdrucks innerhalb dieser Zeit vollzieht, ist das Gesicht bei Hurlemann et al. noch weitere 500 Millisekunden mit maximal ausgeprägter Emotion zu sehen. Kätsyri und Sams wählten eine Cliplänge von 0,8 Sekunden ($\pm 0,2$) bei 25 frames/Sekunde. Ku et al. machen keine Angabe zur gewählten Anzahl der frames, doch die Animation vom neutralen zum maximal ausgeprägten emotionalen Ausdruck dauert wie bei den anderen Studien eine Sekunde und ist noch weitere 5 Sekunden zu sehen.

Sowohl Spencer-Smith et al. als auch Dyck et al. verwandten keine Intervalle zwischen den gezeigten Bildern; sobald die Probanden ihre Bewertung abgaben, erschien das nächste Bild. Die Intervalle zwischen den gezeigten Bildern betragen bei Ku et al. 5 Sekunden bei schwarzem Bildschirm, bei Weyers et al. zwischen 25 und 34 Sekunden bei grauem Hintergrund, bei Hurlemann et al. zwischen 13,2 und 20,9 Sekunden bei schwarzem Grund mit weißem Fixationskreuz und bei Moser et al. 12 bis 18 Sekunden mit einem verwürfelten Gesicht und einem mittigen Fadenkreuz.

3.3.3 Studiendesign

Als Vergleich zu den Avataren dienten verschiedene Stimulussets: Die POFA von Ekman, das Cohn-Kanade-Set und in den Studien von Moser et al. und Dyck et al. eine Photoserie, die bereits von anderen Autoren standardisiert und erfolgreich verwandt wurde (Gunning-Dixon et al., 2003; Gur et al., 2002; Kohler et al., 2003). Zwei der sieben untersuchten Publikationen verzichteten auf einen Vergleich mit Referenzbildern (Ku et

al., Weyers et al.). Hurlemann et al. nutzten die POFA als Vergleichsstimuli in ihrer Pilotstudie. Eine derartige Studie führten auch Dyck et al. durch, indem die Stimuli vor dem eigentlichen Experiment von Probanden bewertet wurden, die ausschließlich an diesen Pilotevaluationen teilnahmen.

	Methode	Pilot-studie	Randomisierung der Stimuli	Vergleichsstimuli	Charaktere	
					♀	♂
1	behavioral	-	x	POFA	7	6
2	behavioral	-	x	-	-	-
3	EMG	-	x	-	-	-
4	fMRT	-	teilweise	Farbphotos	18	18
5	behavioral	-	x	POFA	2	
				Videos/Photos	2	
				Cohn-Kanade	5	
6	fMRT	x	teilweise	POFA (Pilotstudie)	-	-
7	behavioral	x	teilweise	Farbphotos	7	12

Tab. 4: Zusammenfassung der Daten zu Stimuluspräsentation und Studiendesign

3.3.4 Probanden

Bei der Auswahl der Probanden wurde teils versucht, ein 50: 50 Verhältnis von Männern zu Frauen einzuhalten (Moser et al., Hurlemann et al., Dyck et al.). Bei Spencer-Smith et al., Ku et al. und Kätsyri und Sams gelang dies allerdings nicht, und Weyers et al. untersuchten ausschließlich Probandinnen.

Bei den Probanden und Probandinnen handelte es sich meist um Studenten und ihr Alter betrug in allen Studien zwischen 20 und 30 Jahren. Lediglich Dyck et al. ermittelten neben einer Gruppe von 20- bis 40-Jährigen auch die Ergebnisse einer gleichgroßen Anzahl 40- bis 60-Jähriger.

Die meisten Probanden wurden vor den jeweiligen Experimenten darüber aufgeklärt, dass sie menschliche und/oder artifizielle, emotionale Gesichter sehen würden. Kätsyri und Sams zeigten ihren Probanden vor der eigentlichen Studie in einem Probelauf zwei

zufällig ausgesuchte Stimuli. Weyers und Kollegen klärten ihre Probanden nach einer anfänglich irreführenden Information erst nach den Tests über den wahren Hintergrund der Untersuchung auf, um eine Verzerrung der elektromyographischen Messungen zu vermeiden.

Die Autoren der fMRT-Studien erfassten die Händigkeit ihrer Probanden. Kätsyri und Sams schlossen eine Alexithymie aus, und Moser et al. und Dyck et al. erfassten eventuelle psychiatrische Vorerkrankungen mit Hilfe des SCID. Zusätzlich nutzten Dyck et al. den MWT-B, die PANAS und einen eigenen Fragebogen zur Erhebung der Erfahrung mit Computerspielen.

	Geschlecht		Alter (in Jahren)	Alter Ø	Instruktion	sonstige Angaben
	♀	♂				
1	13/13/4	7/7/5	(under-) graduates*	k. A.	x	k. A.
2	3	13	25–31	27,31 ± 1,78	k. A.	k. A.
3	48	-	19–26	21,5 ± 2,17	x **	k. A.
4	5	7	23–35	27,67 ± 4,42	x	Rechtshändigkeit; SCID
5	18	36	20–29	k. A.	im Probelauf	Ausschluss Alexi- thymie (TAS-20)
6	7	7	21–31	25,4 ± 2,4	x	Rechtshändigkeit
7	16	16	20–40/40–60	k. A.	x	SCID, MWT-B, PANAS

Tab. 5: Zusammenfassung der Probandenmerkmale

* „undergraduates“ arbeiten auf einen Bachelor-, „graduates“ auf einen Masterabschluss hin. Dementsprechend befinden sie sich etwa im Alter deutscher Universitätsstudenten.

** Die Probanden wurden anfangs aufgeklärt, die Studie diene der Erfassung der Schweißdrüsenaktivität ; über den wahren Hintergrund der Untersuchung wurden sie erst abschließend aufgeklärt.

SCID: Structured Clinical Interview for DSM-Disorders; DSM: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders; TAS-20: Toronto Alexithymia Scale; MWT-B: Mehrfach-Wortschatz-Intelligenz-Test; PANAS: Positive and Negative Affect Schedule

4 . Diskussion

Wie werden Avatargesichter im Vergleich zu Abbildungen menschlicher Gesichter wahrgenommen bzw. können sie vergleichbare Reaktionen erzielen?

Emotionen in Avatargesichtern können vom Betrachter eindeutig identifiziert werden, und im Vergleich mit natürlichen Gesichtern werden Avatare im Großen und Ganzen als ähnlich eingestuft. In einigen Punkten sind Avatare herkömmlichen Stimuli unter-, in anderen überlegen. So kommt es beispielsweise bei negativen artifiziellen Emotionen gelegentlich zu Konfusionen; dies ist aber ebenso bei natürlichem Stimulusmaterial der Fall. Wut kann besonders gut virtuell dargestellt werden: böse Avatare erreichen regelmäßig höhere Werte für Arousal, Valenz und Intensität als ihre natürlichen Pendanten. Aber auch traurige, ängstliche und fröhliche Avatargesichter wirken verglichen mit menschlichen Gesichtern teilweise intensiver und eindeutiger.

In bildgebenden Verfahren provozieren Avatare Reaktionen der Amygdalae und der Hirnregionen, die typischerweise an der Verarbeitung emotionaler Gesichter beteiligt sind.

Insgesamt stellen Avatare scheinbar ein solides Instrument dar, das einem Vergleich mit herkömmlichen Stimulussets durchaus standhält. Daher erscheint es sinnvoll, ihrer Erstellung in Zukunft mehr Aufmerksamkeit zu schenken und sie zu optimieren. Da aktuell keine standardisierte Methode zur Generierung und Verwendung von Avataren in wissenschaftlichen Studien existiert, soll im Folgenden versucht werden, einige Gestaltungs- und Anwendungsgrundlagen herauszuarbeiten.

Ein Entwurf zur methodischen Erstellung und Verwendung artifizierlicher Gesichtsstimuli

4.1 Die Generierung emotionaler Gesichter

4.1.1 Die Verwendung des FACS

Die hier untersuchten Studien legen nahe, dass das FACS nicht zwingend notwendig ist, um Stimuli zu gestalten, die Reaktionen auf ihre Emotionalität auszulösen vermögen. Der Vorteil seiner Verwendung besteht darin, dass in Form der AUs ein System zur Verfügung steht, das auf ausführlichen Untersuchungen und Beobachtungen der menschlichen Mimik beruht. Daher kann angenommen werden, dass mit ihrer Hilfe generierte Gesichter in Hinblick auf ihre Mimik lebensecht und realistisch erscheinen. Allerdings wurden in den hier analysierten Studien für die Erzeugung der selben Emotionen nicht die identischen AUs implementiert, so dass durch das FACS nicht automatisch eine Vereinheitlichung und Reproduzierbarkeit der Stimuli verschiedener Studien stattfindet. Außerdem ergibt sich aus dieser Methode, dass zur Erstellung des emotionalen Ausdrucks nur die Parameter verstellt werden, die für die von Ekman beschriebenen AUs kodieren.

Hurlemann und Kollegen konnten auch ohne die Anwendung des FACS gute behaviorale Ergebnisse und messbare Effekte im fMRT erzielen (Hurlemann et al., 2008). Das kann entweder damit zusammenhängen, dass die Stimuli hier animiert waren, was auch in anderen Studien regelmäßig zu besseren Bewertungen führte (s. 1.4.2). Oder aber es zeigt, dass eine realitätsnahe Darstellung emotionaler Avatargesichter auch ohne die Anwendung des FACS möglich ist. Hierbei sei allerdings erwähnt, dass die Stimuli von Hurlemann und Kollegen vor ihrer Verwendung im fMRT im Rahmen einer Pilotstudie bewertet wurden. Auch Ekmans POFA beruhen nicht auf den FACS, sondern wurden lediglich behavioral bewertet, bevor sie für Jahrzehnte als standardisierte Stimuli in den Neurowissenschaften dienten. Zur Klärung der Frage, ob

das FACS zur Generierung realistischer Mimik notwendig ist, wäre beispielsweise ein Experiment sinnvoll, bei dem Gesichter bezüglich ihrer Valenz und des Arousal direkt miteinander verglichen würden, die mit und ohne FACS erstellt wurden.

4.1.2 Besonderheiten bei der Generierung der verschiedenen Emotionen

Negative Emotionen. Insgesamt scheinen insbesondere böse Gesichter virtuell gut darstellbar zu sein: sie werden bezüglich ihres Arousal, ihrer Valenz und ihrer Intensität sowohl im Vergleich zu anderen Emotionen als auch zu Photos von erbosten Gesichtern meist mit höheren Werten bedacht.

In der Studie von Hurlemann et al. konnten wütende Gesichter keine soliden Aktivierungen der Amygdalae hervorrufen (Hurlemann et al., 2008). Eine mögliche Erklärung hierfür sehen die Autoren in der offensichtlichen Abwesenheit einer realen Bedrohung, da die Antwort der Amygdalae auf emotionale Gesichter je nach Kontext unterschiedlich ist (Phelps, 2006).

Eine Erklärung für die durchweg schlechte Identifikation und Intensitätszuordnung von Ekel in Avatargesichtern könnte die schwierige Umsetzung der AU 9 (Rümpfen der Nasenflügel) oder – ganz generell – bestimmter Bewegungsmuster sein (Dyck et al., 2008; Moser et al., 2007). Die Tatsache, dass Ekel und Angst im FACS auch in anderen AUs übereinstimmen, könnte erklären, dass Ekel meist mit Angst verwechselt wurde; Traurigkeit und Angst stimmen ebenfalls in einigen AUs überein und werden sowohl bei artifiziellen als auch bei natürlichen Stimuli verwechselt. Ein anderer Erklärungsansatz für derartige Verwechslungen könnte in der Ansicht begründet sein, dass Ekel weniger eine Basisemotion als vielmehr eine Kombination mehrerer Emotionen und deswegen schwerer zuzuordnen ist (Kohler et al., 2003). Bei der Generierung von Ekel, Angst und Traurigkeit sollte dementsprechend besonderes Augenmerk auf die Eindeutigkeit bzw. Abgrenzbarkeit zu anderen negativen Emotionen gelegt werden; dies kann in Pilotstudien durch Vergleiche der neu

entworfenen Stimuli untereinander und/ oder mit etablierten natürlichen Stimuli erreicht werden.

Fröhliche Gesichter. In Emotionsstudien wird meist die Reaktion auf negative Emotionen wie Angst oder aggressive Gesichter untersucht, während die Datenlage zu positiven Stimuli uneinheitlich ist. Als Erklärung dafür wird beispielsweise angeführt, dass Reaktionen auf freundliche Gesichter proportional mit dem Grad der Extrovertiertheit der Probanden zunehmen und dementsprechend individuell unterschiedlich ausfallen (Canli et al., 2002). In der Amygdala wurden sowohl Zu- als auch Abnahmen der Aktivität beim Betrachten freundlicher Gesichter festgestellt (Breiter et al., 1996; Morris et al., 1996). Dabei fallen Aktivierungen im Vergleich beim Betrachten freundlicher Gesichter meist schwächer aus als bei negativen Emotionen (Breiter et al., 1996; Canli et al., 2002; Hamann et al., 2002; Morris et al., 1996; Pessoa et al., 2002, Wright et al., 2002).

In den hier vorliegenden Arbeiten wurde jeweils auch die Wirkung Fröhlichkeit ausdrückender Gesichter berücksichtigt. Sie wurden im Vergleich zu natürlichen Vergleichsstimuli von den Probanden als ähnlich genau, eindeutig und intensiv wahrgenommen. Außerdem zeigten die Studien, die die zur Identifizierung der Emotion benötigte Reaktionszeit maßen, die kürzesten Zeiten für fröhliche Gesichter (Dyck et al., 2008; Hurlemann et al., 2008). Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass die positiven Stimuli in der Regel die einzig eindeutig positiven neben einer Überzahl negativer Emotionen sind und somit leichter zugeordnet werden können. Moser et al. erhielten allerdings auch unter Ausschluss der positiven Gesichter aus der Wertung identische Aktivierungsmuster (Moser et al., 2007), was bedeutet, dass positive und negative Avatare die selben Regionen stimulierten.

In der elektromyographischen Studie von Weyers und Kollegen reagierten die Probandinnen lediglich auf die positiven Gesichter, obwohl sie diese zuvor als weniger intensiv bewertet hatten (Weyers et al., 2006). Die Autoren halten die Nachahmung einer freundlichen Mimik im eigenen Gesicht für sozial vorteilhafter als die mimische

Spiegelung eines aggressiven Ausdrucks. Diese Annahme entspricht in ihren Grundzügen der Ansicht, dass nur fröhliche, furchtvolle und traurige Gesichter auf lange Sicht ein bestimmtes Verhalten bzw. eine Verhaltensänderung beim Betrachter zu induzieren vermögen (Blair, 2003). Dabei förderten Furcht und Trauer eine Vermeidung, Fröhlichkeit hingegen das Erstreben eines Verhaltens oder einer Situation, die zu der beobachteten Emotion führte. Prinzipiell untermauert dieses Nachahmungsmuster außerdem die Theory of Mind bzw. die Theorie der Spiegelneuronen (s. 1.2.3).

Bei der Generierung freundlicher Gesichter muss darauf geachtet werden, die Gesichter nicht zu attraktiv zu gestalten (s. 4.1.4). Zald sieht bei positiven im Gegensatz zu negativen Gesichtern zusätzlich die Schwierigkeit, dass sie sowohl hohen als auch niedrigen Arousal besitzen können, während negative Stimuli meist hohe Arousalwerte aufweisen (Zald, 2003). Diese Tatsache erschwere die Interpretation von Studienergebnissen mit positiven und negativen Stimuli. In der Psychologie besteht die Annahme, dass gegenüber negativen Stimuli eine Voreingenommenheit existiert, die zu einer intensiveren Antwort auf unangenehme Stimuli führt (Cacioppo und Gardner, 1999).

Wenn im Rahmen behavioraler Einschätzungen sicher gestellt werden kann, dass die Arousal- oder Intensitätswerte für freundliche und unfreundliche Stimuli einer Studie ähnlich hoch sind, sollten sie somit vergleichbar sein.

Neutraler Gesichtsausdruck. Den Gesichtern, die Neutralität ausdrücken sollen, wird in der Regel wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei ist ihre Rolle in Studien zur Bewertung der Emotionalität von Gesichtern umstritten, weil neutrale Stimuli meist (und auch in den hier untersuchten Studien) immer auch zu einem gewissen Grad erregende und angenehme/unangenehme Tendenzen aufwiesen, d.h. im Sinne von Arousal und Valenz keine neutralen Werte erreichten. Außerdem erzeugen auch neutrale Gesichter Reaktionen der Amygdala (Iidaka et al., 2002; Taylor et al., 2005). Darüber hinaus stellte sich heraus, dass „Neutralität“ von Probanden neben anderen Emotionen als eigener Ausdruck empfunden und auch bezüglich ihrer Intensität

bewertet wird (Matsumoto, 1983). Etcoff und Magee konkretisierten diese Vorstellung, indem sie betonten, dass ein neutrales Gesicht nicht nur als abgeschwächtes emotionales Gesicht wahrgenommen werde, sondern eine eigene Kategorie darstelle (Etcoff und Magee, 1992). Die Entdeckung, dass bereits Säuglinge neben bösen und fröhlichen auch neutrale Gesichter erkennen und von den anderen unterscheiden können, unterstützte die Theorie von Neutralität als eigenständiger Ausdrucksform (Serrano et al., 1992). Diese Ergebnisse lassen eine Verwendung von neutralen Gesichtern als eine von mehreren untersuchten Modalitäten sinnvoll erscheinen.

Bei Weyers et al. und Hurlemann et al. scheint die o.g. Problematik gelöst, neutrale Stimuli zu entwerfen, die tatsächlich als neutral aber dennoch eindeutig empfunden werden. Zwar wurden die neutralen Avatare meist zu einem gewissen Grad als erregend wahrgenommen, konnten jedoch deutlich als eigene Kategorie von den anderen unterschieden werden (Hurlemann et al., 2008; Weyers et al., 2006).

De facto ist der Grundgedanke eines Studiendesigns oft, neutrale Gesichter als Kontrollstimuli ohne affektive Komponente für die Basisemotionen zu nutzen (Carrera-Levillain und Fernandez-Dols, 1994). Dies scheint jedoch aufgrund der obigen Erläuterungen problematisch. Insgesamt sollte ein als neutral fehlinterpretierter emotionaler Stimulus ebenso als Fehler angesehen werden wie ein fälschlicherweise als emotional eingestufte neutraler Stimulus, und in beiden Fällen sollte die Erkennung von Emotionen als unzuverlässig betrachtet werden (Russell und Fehr, 1987). Aufgrund des Phänomens, dass Avatargesichter, deren Emotion undeutlich erscheint, am ehesten dem neutralen statt einem anderen emotionalen Ausdruck zugeordnet werden, scheint es Dyck und Kollegen angebracht, Probanden in Zukunft klarer zu instruieren die Stimuli nur dann als neutral einzustufen, wenn sie sie tatsächlich keiner anderen Emotion zuordnen können (Dyck et al., 2008).

Hurlemann und Kollegen liefern die einzige Studie, für die neutrale dynamische Gesichter generiert wurden (Hurlemann et al., 2008); in anderen Studien mit

dynamischem Stimulusmaterial wurde an dieser Stelle entweder ein statisches neutrales Gesicht gezeigt (Ku et al., 2005; Weyers et al., 2006) oder gänzlich auf neutrale Stimuli verzichtet (Kätsyri und Sams, 2008). Die neutralen Stimuli von Hurlemann et al. wurden generiert, indem sie eine dezente Mundöffnung vollzogen und die Augenlider minimal verengten. Das entspricht Gesichtspartien, die auch bei anderen Emotionen bewegt werden. Die Stimuli wurden – auch im Vergleich zu Ekman-Gesichtern – überwiegend als „eindeutig neutral“ bewertet.

Eine Schwierigkeit bei der Erstellung eines neutralen und gleichzeitig animierten Gesichts ist es, das Gesicht trotz Bewegung als eindeutig neutral erscheinen zu lassen. Prinzipiell wäre eine Verwechslung mit Langeweile denkbar, und bei einer Bewegung des Mundes könnte der Eindruck eines Gähnens entstehen. Ein derartiger Effekt muss jedoch vermieden werden, da Gähnen ansteckend wirkt (Platek et al., 2003; Provine, 1989). Außerdem schreiben einige Forscher dem Gähnen eine empathische Komponente zu (Lehman, 1979; Platek et al., 2003), was in einem Gegensatz zu der geforderten emotionalen Neutralität stünde.

4.1.3 Variation der Intensität der Emotion

Spencer-Smith und Kollegen konnten durch Änderung der Einstellungen die Intensität ihrer Stimuli variieren (Spencer-Smith et al., 2001). Auch Ku und Kollegen kreierten verschieden intensive Gesichtsausdrücke (Ku et al., 2005). In beiden Fällen konnten die Unterschiede bezüglich der Intensität deutlich von den Probanden wahrgenommen werden. Moser et al. generierten ein Drittel ihrer Gesichter in niedriger und zwei Drittel in hoher Intensität, wobei die Ergebnisse nur insgesamt und nicht nach verschiedenen Intensitäten aufgetrennt erhoben wurden (Moser et al., 2007).

Bei der Software Poser kann man die Ausprägung einer vorgegebenen Bewegung von 0,0 bis 1,0 variieren. Dyck et al. liefern in einer Tabelle die genauen Werte, auf die sie die einzelnen Bewegungen bzw. AUs für die jeweiligen Emotionen (im Face-Poser der

Software von Half-Life 2) eingestellt haben (Dyck et al., 2008). Bei deren Betrachtung fällt auf, dass diese nur selten größer als 0,8 waren, d.h. meist zwischen 0,1 und 0,7 lagen. Hurlemann et al. veröffentlichten diese Werte zwar nicht, aber auch hier lagen sie (bei Verwendung der Software Poser) in den meisten Fällen deutlich unter dem Maximum von 1,0 (Hurlemann et al., 2008). Spencer-Smith et al. berichten bei der Erstellung intensiver Stimuli mit „Poser“ ebenfalls von Werten, die kleiner als 1 waren (Spencer-Smith et al., 2001). Die Erklärung hierfür ist die extreme Ausprägung der Mimik bei Werten von 1,0, die die Gesichter oft fratzenhaft erscheinen lassen. Daher eignet sich die alleinige Höherregulierung bestimmter Bewegungswerte nicht, um intensivere Gesichtsausdrücke zu erreichen. Vielmehr erscheint es effektiv, die verwandten AUs aufeinander abzustimmen, zu variieren und bei Bedarf zusätzliche Bewegungen zu implementieren, um eine Facette zu verstärken, ohne dass sie überzeichnet und unnatürlich wirkt. Um zu gewährleisten, dass die Gesichter als natürlich bezüglich der Intensität ihres Ausdrucks wahrgenommen werden, bieten sich beispielsweise Pilotstudien an, in denen Probanden diese Merkmale im Vergleich zu bewährten Stimuli einschätzen können (s. Dyck et al., 2008).

Die Software von Kätsyri und Sams bietet die beschriebenen Möglichkeiten zur Generierung verschieden intensiver Gesichtsausdrücke nach Aussage der Autoren nicht; die Stimuli weisen nur sehr niedrige Intensitäten auf und die Emotionen konnten entsprechend schlecht zugeordnet werden (Kätsyri und Sams, 2008).

4.1.4 Einfluss des Geschlechts des Stimulus

Gesichtsstimuli besitzen neben den verschiedenen bereits erwähnten Aspekten auch eine attraktive Komponente, die die Reaktionen auf Gesichter messbar beeinflusst (Winston et al., 2007). In einer Studie stellte sich heraus, dass die Amygdala von Männern beim Betrachten attraktiver Frauengesichter stärker stimuliert wurde als bei der Präsentation männlicher oder durchschnittlich attraktiver weiblicher Gesichter (Aharon et al., 2001). Hetero- und homosexuelle Probanden und Probandinnen

bewerteten männliche und weibliche Gesichter bezüglich ihrer Attraktivität auf ähnliche Weise, wiesen jedoch entsprechend ihrer sexuellen Präferenz für das andere oder das eigene Geschlecht unterschiedliche Aktivierungsmuster thalamischer Regionen auf (Kranz und Ishai, 2006). Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass sexuelle Motivation und die Erwartung einer Belohnung in Form eines attraktiven Partners ebenfalls die Wahrnehmung von Gesichtern beeinflussen. Beim Erinnern emotionaler Stimuli des gleichen Geschlechts wird bei Frauen die linke, bei Männern die rechte Amygdala stärker aktiviert (Armony und Sergerie, 2007). Dies ist ein Beispiel dafür, dass männliche und weibliche emotionale Stimuli von Männern und Frauen nicht auf identische Art und Weise verarbeitet werden. In einem optimalen Design sollten den Probanden ebenso viele weibliche wie männliche Stimuli gezeigt werden, um mögliche geschlechterspezifische Effekte auszuschließen.

4.1.5 Dynamische Stimuli

Wie bereits beschrieben, gab es in den letzten Jahren Bestrebungen, dynamische Gesichtsstimuli zu generieren. Die Dynamik ist ein elementarer Bestandteil der Mimik – je besser man sie darstellen kann, umso näher kommt man einer realistischen Darstellung. Insgesamt verbessert Animation vor allem die Erkennung von Stimuli, die eine niedrige Intensität aufwiesen (Ambadar et al., 2005).

Das bei der Animation genutzte keyframing hat bei der Erstellung vergleichsweise simpler Szenarien zu Forschungszwecken einige Vorteile gegenüber anderen Techniken, die in anderen Bereichen Anwendung bei der Erstellung dynamischer Gesichter finden. Im Gegensatz zum motion capturing besteht ein minimaler Personal- und Materialaufwand, da die Software die Animation vornimmt. Aufgrund des technischen Fortschritts ermöglicht das motion capturing inzwischen zwar sehr realistische Darstellungen, dürfte jedoch aufgrund der benötigten Ausrüstung (Schauspieler, Sensoren, Kameras, Computer, Software, Fachleute im Umgang mit den Programmen etc.) zu Forschungszwecken unerschwinglich sein. Morphtechiken mit Photos

ermöglichen nur bedingt realistische Bewegungsabläufe und sind zudem schon bezüglich der Ausgangsstimuli lediglich zweidimensional angelegt. Videoaufnahmen erfordern je nach Fragestellung speziell trainierte Schauspieler, die beispielsweise Erfahrung in der praktischen Anwendung des FACS besitzen. Da die willkürliche Aktivierung bestimmter Muskeln zur Erzeugung authentischer Gesichtsausdrücke bereits ohne dynamische Verläufe nur schwer realisierbar ist (Ekman, 1993), bieten Avatare hier große Vorteile, da einzelne Bewegungselemente beliebig gestaltet werden können.

Die hier aufgeführten Studien konnten im direkten Vergleich von statischen zu dynamischen virtuellen Stimuli Vorteile auf Seiten der dynamischen Avatare aufzeigen: sie wurden als eindeutiger, realitätsnäher und intensiver eingestuft (Weyers et al., 2006). Kätsyri und Sams fanden diesen Vorteil der Animation nur für die virtuellen, nicht jedoch für die menschlichen Stimuli (Kätsyri und Sams, 2008). Ku et al. und Hurlemann und Kollegen erzielten mit animierten Avatargesichtern sowohl gute behaviorale als auch solide fMRT-Ergebnisse (Hurlemann et al., 2008; Ku et al., 2005).

Die Animation virtueller Gesichtsstimuli scheint ein aussichtsreiches Teilgebiet in der Erstellung artifizierlicher emotionaler Stimuli zu sein, dem mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden könnte. Bei direkten Vergleichen dynamischer zu statischen Stimuli sollte jedoch darauf geachtet werden, möglichst gleiche Stimuli bzw. Charaktere miteinander zu vergleichen. Wie in der Studie von Kätsyri und Sams sollten Stimuli von Menschen (Photos vs. Videos) zuerst miteinander verglichen werden, bevor weitere Modalitäten (Avatarphotos vs. -clips vs. Photos und Videos von Menschen) mit einbezogen werden (Kätsyri und Sams, 2008).

4.1.6 Software

Die Software Poser ist auch für Laien auf dem Gebiet der Computergraphik ein benutzerfreundliches Programm. Die Software 3D Studio Max hat bis dato zwar selten

Anwendung in der Forschung gefunden, sich dafür aber umso mehr in den Medien, v.a. in zahlreichen Filmen und PC-Spielen bewährt. Mit beiden Software-Paketen war es möglich, verschieden intensive Emotionen in Gesichtern darzustellen. Außerdem bieten sie gute Möglichkeiten, die Gliederpuppen bezüglich ihres Aussehens (Haarfarbe, Frisur, Gesichtsform, Ethnizität etc.) zu variieren.

Mit der Software der HUT konnten offenbar keine Avatargesichter erstellt werden, die dem direkten Vergleich mit Photo- und Videomaterial standhalten. Die Autoren der Studie erkannten das unzureichende Vermögen des Programms, intensive Gesichtsausdrücke zu generieren, was seine Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Emotionsforschung einschränken dürfte.

Bei allen verwandten Programmen konnte das FACS als Grundlage für faziale Bewegungen implementiert werden. Das ermöglicht einen gewissen Standard bezüglich der dargestellten Mimik und macht die verschiedenen Studien zumindest in diesem Punkt vergleichbar. Außerdem können je nach Bedarf schwarzweiße, farbige, statische oder dynamische Avatare entworfen werden, was diese Softwares zu vielseitigen Instrumenten bei der Erstellung artifizierlicher Stimuli macht.

4.2 Besonderheiten bei Stimuluspräsentation und Studiendesign

4.2.1 Artifizierliche Gesichter und natürlicher Vergleichsstimuli

Eine Forderung an zukünftige Studien sollte grundsätzlich die Verwendung von ebenso vielen verschiedenen Charakteren auf Seiten der artifizierlichen und natürlicher Gesichter sein, um sowohl eine stärkere Reaktion der Amygdala auf neue Stimuli (Schwartz et al., 2003) als auch eine Aktivitätsabnahme durch Gewöhnung (Breiter et al., 1996) zu verhindern. Diese Vorgabe erfüllten Spencer-Smith et al. (Avatare: je 7 männlicher und weiblicher Charaktere, POFA: 7 weiblicher und 6 männlicher Charaktere) und Dyck et al. (je 7 weiblicher und 12 männlicher Stimuli), wobei bei Dyck et al. das Verhältnis von weiblicher zu männlicher Stimuli unausgeglichen war (Dyck et al., 2008; Spencer-Smith

et al., 2001). Bei Verwendung von Vergleichsstimuli sollte eine gleiche Anzahl von Charakteren auf Seiten der virtuellen und natürlichen Stimuli eingehalten werden. Insgesamt scheint es außerdem angebracht, eine adäquate Anzahl von Stimuli zu generieren bzw. zu verwenden, um eine ausreichende Probengröße zu gewährleisten und zudem zu verhindern, dass Probanden wiederholt die selben Gesichter präsentiert werden (Weyers et al., 2006).

Fünf der Studien verwendeten Photos und/oder Videos von Schauspielern als Vergleichsmaterial. An dieser Stelle soll die Studie von Hurlemann et al. nicht erwähnt werden, da in der Pilotstudie animierte, farbige Avatargesichter mit den statischen, schwarzweißen POFA verglichen wurden (Hurlemann et al., 2008). Für die Sicherstellung ausreichender Aussagekraft der Avatare durch einen Vergleich mit den stets ausdrucksstarken Ekman-Stimuli war dieses Vorgehen geeignet, nicht jedoch für einen direkten Vergleich.

Studien, die die POFA als Referenz wählten, zeigten entweder, dass artifizielle Stimuli als ähnlich intensiv und präzise empfunden wurden (Spencer-Smith et al., 2001), oder aber, dass die Avatare deutlich schlechtere Bewertungen erhielten (Kätysyri und Sams, 2008). Spencer-Smith und Kollegen empfanden ihre Avatare den Ekman-Photos sehr exakt nach, indem sie diese ebenfalls schwarzweiß gestalteten und ähnliche Beleuchtungsverhältnisse und Blickwinkel wählten, während Kätysyri und Sams die bereits genannten Probleme bei der Generierung ihrer Avatare hatten. Moser et al. und Dyck et al. verwendeten ein Set von Farbphotos, das erfolgreich an österreichischen Probanden getestet worden war (Dyck et al., 2008; Moser et al., 2007). Die Avatare von Moser und Kollegen konnten den passenden Emotionen nicht so einwandfrei zugeordnet werden wie die Vergleichsstimuli, was allerdings größtenteils in den schlechten Wiedererkennungswerten von Ekel und Angst begründet lag (s. 4.1.2). Dyck und Kollegen entwarfen artifizielle Gesichter, die bezüglich ihrer Intensität und Natürlichkeit ähnliche Werte erzielen konnten. Um diesen Effekt einschätzen zu können

wäre beispielsweise ein Vergleich der Ekman-Gesichter mit dem österreichischen Set denkbar, um diese Vergleichsstimuli zueinander in Relation setzen zu können. Kätsyri und Sams führten etwas Ähnliches durch: sie poolten die (fast identischen) Ergebnisse des Cohn-Kanade-Sets mit ihren eigenen Aufnahmen von emotionalen menschlichen Gesichtern und verglichen diese mit den POFA. In diesem Vergleich unterlagen diese zwar den POFA, jedoch nicht so eindeutig wie die artifiziellen Stimuli.

Insgesamt zeichnet sich die Tendenz ab, dass zumindest mit den Softwares Poser und Half-Life 2 Avatargesichter geschaffen werden können, die behavioral und im fMRT ähnliche Ergebnisse erzielen wie die renommierten POFA. Derartige Vergleiche bedürfen einer weiteren detaillierten Erforschung, um letztlich den POFA gleichwertige artifizielle Stimuli generieren zu können.

4.2.2 Zeitliche Abläufe, Randomisierung und Hintergrundgestaltung

Die Intervalle zwischen den Stimuli sind bei bildgebenden Studien besonders wichtig, weil man vermutet, dass diese Zeit benötigt wird, damit die hämodynamische Antwort im Gehirn wieder auf einen Grundlevel absinken kann (McClure et al., 2005). Die Pausen zwischen den Stimuli betragen bei den fMRT-Studien zwischen 12 und knapp 21 Sekunden. Stark und Squire geben allerdings zu bedenken, dass eine tatsächliche „Null-Funktion“ des Gehirns natürlich nicht herbeigeführt werden kann (Stark und Squire, 2001). Sie maßen in den Pausen teilweise sogar größere Hirnaktivität als während der eigentlichen Aufgaben. Dieses Phänomen führen sie darauf zurück, dass Probanden in dieser Zeit ebenfalls komplexen kognitiven Aktivitäten wie Selbstreflektion oder Tagträumerei nachgehen könnten. Deswegen scheint auch die Hintergrundgestaltung während der Pausen eine Rolle für die Messergebnisse v.a. bildgebender Untersuchungen zu spielen. Sergerie und Kollegen kamen in ihrer Metaanalyse zu dem Ergebnis, dass stärkere Reaktionen der Amygdala gemessen werden konnten, wenn anstelle eines neutralen Gesichtsstimulus Fixationskreuze oder

verwürfelte Bilder gezeigt wurden (Sergerie et al., 2008); die hier analysierten Studien bestätigen diese Ergebnisse (Hurlemann et al., 2008; Moser et al., 2007).

LaBar et al. nutzten bei ihren Photomorphs identische bzw. sehr ähnliche Zeitvorgaben für die animierten Stimuli wie Weyers et al. und Hurlemann et al. (30 frames/Sekunde) und konnten so signifikante Ergebnisse erzielen (Hurlemann et al., 2008; LaBar et al., 2003; Weyers et al., 2006). Eine wie von Hurlemann et al. verwandte Cliplänge von insgesamt 1,5 Sekunden entspricht außerdem in etwa der Echtzeit von gefilmten Gesichtsausdrücken (Gepner et al., 2001), weswegen diese Zeitvorgabe für animierte Stimuli ebenfalls sinnvoll erscheint.

Ebenfalls wichtig ist eine randomisierte Reihenfolge der Gesichter, um Gewöhnungseffekte der Amygdala zu verhindern. Breiter und Kollegen konnten zeigen, dass die Amygdala nach einiger Zeit deutlich schwächere Reaktionen auf blockartig präsentierte Stimuli zeigte, was durch eine Randomisierung der Reihenfolge behoben werden konnte (Breiter et al., 1996b). Das bestätigen auch Moser et al., die die Intensität der Amygdalareaktionen während der Präsentation der ersten und zweiten Hälfte der Stimuli verglichen und keine Unterschiede feststellen konnten (Moser et al., 2007). Die Anzahl der Stimuli war hier allerdings relativ gering (2 x 18). Eine Metaanalyse ergab für Stimuluspräsentation im Blockdesign zwar beträchtliche Amygdalaaktivierungen bezüglich der Größe, aber es wurde ebenfalls auf den Verlust signifikanter Aktivierungen durch Gewöhnungseffekte verwiesen (Sergerie et al., 2008).

4.2.3 Aufgabe für die Probanden während der Präsentation

Bei behavioralen Erhebungen müssen kognitive Aufgaben von den Probanden vorgenommen werden, z.B. die Identifizierung, Bewertung oder der Vergleich von Stimuli; nur so kann eine behaviorale Studie zu Ergebnissen kommen. In bildgebenden Studien besteht keine zwingende Notwendigkeit einer solchen Aufgabe, um Aktivierungen des Gehirns zu provozieren. In einer Metaanalyse (Costafreda et al.,

2008) konnte nachgewiesen werden, dass bei passiver Betrachtung von Stimuli eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Aktivierung der Amygdala besteht als bei jeder Art von zusätzlichen kognitiven Aufgaben. Im Fall von Angst wird der Konditionierungsvorgang mit zunehmendem Schweregrad einer Gedächtnisaufgabe deutlich beeinträchtigt (Carter et al., 2003). Eine Erklärung dafür sehen Costafreda und Kollegen in einer Hemmung der Amygdala durch den anterioren Cingulus und laterale präfrontale Rindenareale (Hariri et al., 2003; Pezawas et al., 2005), die bei kognitiven Aufgaben aktiviert werden (Duncan und Owen, 2000). Bei zunehmender Komplexität der Aufgabe nimmt die Aktivierung dieser Gebiete zu (Botvinick et al., 2005; Fu et al., 2002), während die der Amygdala gleichzeitig abnimmt (Blair et al., 2007). Dabei stellt eine Aufgabe zur Geschlechterdifferenzierung (s. Hurlemann et al., 2008) noch eine eher beiläufig erfüllbare Leistung dar, die die Amygdalareaktion weniger beeinflusst als beispielsweise das explizite Benennen der dargestellten Emotion (Costafreda et al., 2008; Hariri et al., 2003). Moser et al. entschärften die kognitiven Anforderungen in ihrer Studie, indem sie zwei Emotionen zur Auswahl vorgaben, von denen der Proband dann nur noch die zutreffende auswählen musste (Moser et al., 2007). Außerdem wird bei derartigen Aufgaben zusätzlich die Konzentration beansprucht: bei der Bewältigung einer anspruchsvollen kognitiven Aufgabe und gleichzeitigem Betrachten emotionaler Gesichter findet sich keine Stimulation der Amygdala (Pessoa und Ungerleider, 2004). Wurde auf die Aufgabe verzichtet, sprach die Amygdala auf die Stimuli an. Gur und Kollegen fanden andersherum Amygdalareaktionen insbesondere bei gleichzeitiger Erfüllung kognitiver Aufgaben (Gur et al., 2005). Allerdings bestand die Kontrollaufgabe in einer Schätzung des Alters der gezeigten Gesichter, während ansonsten die richtige Emotion benannt werden sollte. Deswegen führen Gur und Kollegen diesen Effekt darauf zurück, dass durch die Identifizierung der Emotion im Gegensatz zur Altersschätzung die Aufmerksamkeit bereits auf den emotionalen Gehalt der Stimuli gerichtet und so eine Aktivierung der Amygdala begünstigt wird. Pessoa und Kollegen kamen außerdem zu dem Schluss, dass die Aufmerksamkeit der Probanden auf die

Stimuli selbst gerichtet sein muss, um messbare Gehirnaktivität provozieren zu können (Pessoa et al., 2002).

Diese Erkenntnisse sprechen in summa dafür, dass Aufgaben für Probanden in bildgebenden Studien von Vorteil sind, die nicht zuviel Konzentration erfordern, um die Reaktivität der Amygdala nicht einzuschränken. Gleichzeitig sollte die Aufmerksamkeit des Probanden auf das gezeigte Gesicht gerichtet und nicht abgelenkt sein.

4.3 Probanden

4.3.1 Alter

Dyck et al. stellten in ihrer Studie fest, dass die Probanden zwischen 40 und 60 Jahren deutlich in ihrer Fähigkeit eingeschränkt waren, Emotionen in virtuellen Gesichtern richtig erkennen zu können (Dyck et al., 2008). Diese Beobachtung lässt sich nicht allein mit dem Alter erklären, da eine Abnahme der Fähigkeit, Emotionen korrekt zuzuordnen zu können, erst ab einem Alter über 60 Jahren nachgewiesen wurde (Moreno et al., 1993). Eine Korrelation von Computerspielerfahrung mit dem Erkennen von Emotionen in Gesichtern konnten Dyck et al. nicht finden. Vielmehr wäre dieser Effekt dadurch erklärbar, dass die Generation der 20- bis 40-Jährigen mehr an den alltäglichen Kontakt zu virtuellen Figuren gewöhnt ist, und zwar nicht nur durch Computerspiele, sondern auch durch das Internet, die dort stattfindende virtuelle Interaktion, Mobilfunk oder Film und Fernsehen (Tapscott, 1998). Daher scheint es angebracht, in Zukunft je nach Fragestellung auch das Alter der Probanden zu berücksichtigen.

4.3.2 Geschlecht

Warum Weyers et al. ausschließlich Probandinnen untersuchten geht aus ihrer Studie nicht hervor (Weyers et al., 2006). Eine Erklärung könnten die ausgeprägteren muskulären Reaktionen von Frauen auf emotionale Gesichter und daraus resultierende solidere EMG-Messungen sein (Dimberg und Lundquist, 1990).

Ku et al. erlebten in ihrer Studie einen Effekt, der auf das unausgeglichene Verhältnis von männlichen (>80%) zu weiblichen Probanden zurückzuführen sein könnte: die weiblichen Stimuli wurden bereits bei neutralem Ausdruck als positiv eingestuft und erreichten den maximalen Arousal schneller als die männlichen Stimuli (Ku et al., 2005). Wie schon an obigen Stellen erwähnt ist besonders bei männlichen Probanden darauf zu achten, keine besonders attraktiven weiblichen Stimuli zu verwenden. Ku et al. stuften ihren weiblichen Stimulus selbst als attraktiv ein, was eine Erklärung für den beobachteten Effekt sein kann.

Für Frauen wird gemeinhin eine stärkere Expression von Emotionen und auch eine ausgeprägtere Reaktion auf diese angenommen (Kring und Gordon, 1998). Es gibt Studien, die herausfanden, dass Frauen emotionale Erinnerungen als intensiver und lebendiger erleben (Hamann und Canli, 2004a). Insgesamt sind die Erkenntnisse bezüglich unterschiedlicher Hirnaktivitäten von Männern und Frauen jedoch zu inkonsistent (s. 1.3.2.3), um konkrete Konsequenzen für bildgebende Studien daraus ziehen zu können. Hurlemann et al. konnten keine Geschlechterunterschiede in ihrer fMRT-Studie feststellen.

Eine weiteres Phänomen stellt der Einfluss des Menstruationszyklus auf die Gesichtswahrnehmung dar. Frauen präferieren in verschiedenen Zyklusphasen jeweils andere Attribute männlicher Gesichter (Jones et al., 2008; Penton-Voak et al., 1999), und die Einnahme oraler Kontrazeptiva führt zu einer Bevorzugung gesund aussehender Gesichter (Jones et al., 2005). Hormonelle Schwankungen haben einen messbaren Einfluss auf die Interpretation von Gesichtern, was jedoch eine bei der Studienplanung schwer berücksichtigbare Besonderheit darstellen dürfte. Insgesamt sollte auf eine ausgeglichene Anzahl von männlichen zu weiblichen Probanden geachtet werden.

4.3.3 Händigkeit

Die Händigkeit spiegelt grundsätzlich das Prinzip der cerebralen Lateralität wieder, die auch bei der Wahrnehmung und Verarbeitung emotionaler Gesichter eine Bedeutung zu haben scheint (s. 1.3.2.3). Rechtshänder weisen eine größere rechte Amygdala auf, während derartige Beobachtungen bei Linkshändern nicht gemacht wurden (Szabo et al., 2001). Diese Tatsache könnte bei bildgebenden Studien dazu führen, dass die Lateralisation oder Symmetrie der Aktivierungsmuster durch verschiedenhändige Probanden beeinflusst wird (Zald, 2003). Vogel und Kollegen wiesen außerdem in einer großen Metaanalyse nach, dass die rechte Hemisphäre bei Rechtshändern eine überlegene Rolle bei der visuell-räumlichen Wahrnehmung spielt, während ein solcher Effekt bei Linkshändern nicht nachweisbar ist (Vogel et al., 2003). Um einheitliche Ergebnisse bei bildgebenden Studien zu erhalten, erscheint eine Beschränkung auf rechtshändige Probanden angemessen. Ein geeigneter, schneller Test zur Prüfung der Händigkeit ist das Edinburgh Inventory (Oldfield, 1971).

4.3.4 Psychiatrische Anamnese

Die Amygdala und das emotionale Erleben können bei einer Vielzahl psychiatrischer Erkrankungen oder durch Medikamente verändert sein (s. 1.4.3). Deshalb sollten derartige Erkrankungen sowie die Einnahme psychisch aktiver Medikamente oder Substanzen seitens der Probanden anamnestisch ausgeschlossen werden. Dyck et al. entfernten zwei Probanden aufgrund von Cannabiskonsum aus dem Kollektiv (Dyck et al., 2008). Der MWT-B und der PANAS sind schnell durchführbare Tests. Der MWT-B (Lehrl, 2005) erfasst den Intelligenzquotienten und liefert diesbezügliche Standardwerte. Dies ist bei Studien zur Bewertung emotionaler Inhalte von Bedeutung, weil Intelligenz eng mit dem Konzept der „emotionalen Intelligenz“ verknüpft ist (Mayer et al., 2008, 2001). Auch der PANAS (Watson und Clark, 1988) liefert Anhaltspunkte für die emotionale Wahrnehmung, indem positiver und negativer Affekt zuverlässig erfasst werden (Crawford und Henry, 2004). Das erscheint ebenfalls sinnvoll, um eine

Verzerrung der Bewertung emotionaler Gesichter durch extrem ausgeprägte Affekte des Probanden zu verhindern. Zum Ausschluss von im DSM erfassten Störungen wurde der SCID entwickelt, der eine detaillierte, jedoch auch zeitaufwändige Untersuchung darstellt (Biometrics Research Department New York State Psychiatric Institute, 2010).

Als sinnvoll erscheint des Weiteren der Ausschluss einer eventuell vorhandenen Alexithymie, die mit einer Einschränkung in der Identifizierung und Beschreibung emotionaler Gesichter einhergeht (Lane et al., 1996; Parker et al., 1993). 2008 wurden von Franz und Kollegen erstmalig Prävalenzdaten für die deutsche Bevölkerung erhoben (Franz et al., 2008). Da eine Prävalenzrate von 10% ermittelt wurde, scheint eine Berücksichtigung in Studien angebracht, in denen die Reaktion auf emotional aussagekräftige Gesichter gemessen werden soll. Ein schneller und zuverlässiger Test zur Feststellung einer Alexithymie ist die TAS-20 (Parker et al., 2003).

Resumée und Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte die eingangs formulierten Fragen bezüglich virtueller Gesichtsstimuli zufriedenstellend beantworten. Artificielle Gesichtsstimuli bieten gegenüber ihren natürlichen Pendants viele Vorteile, und die technischen Fortschritte bezüglich der Graphik und der Animation in den letzten Jahren ermöglichen ein immer menschlicheres und realistischeres Aussehen. Probanden reagieren auf die virtuellen Gesichter vergleichbar zu Photos oder Videos von Menschen, und sie schätzen sie bezüglich der meisten Parameter ähnlich ein. Entscheidend bei ihrer Generierung ist die gute Steuerbarkeit und Vielseitigkeit. Einstellungen wie die Beleuchtung, der Hintergrund oder der Blickwinkel auf die Figur können festgelegt werden, so dass die Rahmenbedingungen einem standardisierten Protokoll folgend identisch gestaltet werden können. Bei einem direkten Vergleich mit anderen Stimuli bietet es sich an, diese Rahmenbedingungen anzupassen, was in einer der untersuchten Studien erfolgreich realisiert wurde (Spencer-Smith et al., 2001). Außerdem können neben dem Ausdruck des Gesichts weitere essentielle Eigenschaften wie die Ethnizität, das Alter

oder das Geschlecht der Stimuli variiert werden. Zur Erstellung eines derartig vielseitigen Stimulussets benötigt man für Photos oder Videos eine Vielzahl an Schauspielern (Gur et al., 2002), während die Generierung entsprechender Avatare kaum zusätzlichen Aufwand verursacht (Ku et al., 2005). Studien wie die von Dyck und Kollegen (Dyck et al., 2008), die Stimuli aus anderen Studien (Gur et al., 2002) nutzen, könnten die variablen Attribute der Gesichter auch bei den Avataren implementieren. Generell sind für die Erstellung von virtuellen Gesichtern keine Schauspieler nötig, und zur Darstellung unterschiedlich intensiver Emotionen ist demnach kein aufwendiges Training erforderlich; dass die Intensität bei virtuellen Gesichtern gut gesteuert werden kann, legen zwei der hier analysierten Studien nahe (Ku et al., 2005; Spencer-Smith et al., 2001). In einem Experiment zeigte sich, dass sogar ein im FACS erfahrener Schauspieler Ärger nicht aussagekräftig darzustellen vermochte und dadurch eine signifikant schlechtere Bewertung des gesamten Stimulussets im Vergleich zu den Kontrollstimuli bewirkte (Kätsyri und Sams, 2008). Ferner besteht neben der beliebigen Modifizierbarkeit von Avataren die Möglichkeit, verschiedene Nuancen der einzelnen Emotionen oder neue Gesichtsausdrücke darzustellen, die willkürlich nur schwer zu verkörpern sind. Ein weiterer Vorteil artifizierlicher Stimuli besteht in der Möglichkeit, dynamische Gesichter zu erstellen. Das Experimentieren mit Morphotechniken zur Animation von Photos konnte gemessen am Aufwand zu ihrer Generierung kaum überzeugende Stimuli liefern, und Aufnahmen von Videos sind aus verschiedenen Gründen schwer realisierbar. Diese Punkte sprechen dafür, dass Avatarstimuli auch ökonomische Vorzüge bieten, da ihre Erstellung vergleichsweise geringe Kosten verursacht (keine Gagen für Schauspieler, keine spezielle technische Ausrüstung für Animationstechniken etc.).

Die Nachteile der Avatargesichter liegen vor allem darin begründet, dass ihre Verwendung in den Neurowissenschaften erst noch weiter vorangetrieben werden muss. Einige Parameter weisen noch Unterschiede zu photorealistischen Stimuli zu

Ungunsten der artifiziellen Gesichter auf, die jedoch in Zukunft durch weitere Optimierung der Avatare behoben werden könnten.

Eines der nächsten Ziele in der Emotionsforschung sollte der Entwurf eines Stimulussets von Avatargesichtern sein, das wie Ekman's POFA vielseitig und universell einsetzbar ist. Eine zusätzliche Herausforderung wäre die Erstellung animierter Avatare. Für Avatare gäbe es sowohl in der Erforschung als auch in der Therapie neuropsychiatrischer Erkrankungen eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten.

In dieser Arbeit konnten zahlreiche Aspekte für die Erstellung und Verwendung artifiziell generierter Gesichtsstimuli herausgestellt werden, welche für den erfolgreichen Aufbau solcher Stimulusdatenbanken relevant sein können. Die uneinheitliche Erwähnung und Dokumentation der untersuchten Faktoren in den analysierten Studien deutet darauf hin, dass die zu beachtenden Parameter teilweise nicht bekannt sind und/oder nicht berücksichtigt werden. Die vorliegende Arbeit kann daher als Grundlage einer methodischen Erstellung und Verwendung artifizieller Gesichtsstimuli dienen.

5 . Zusammenfassung

Die Erforschung der menschlichen Mimik und der darin ausgedrückten Emotionen ist ein ebenso altes wie vielseitiges Gebiet der Neurowissenschaften, das zunehmend tiefe Einblicke in elementare Funktionen des Gehirns, das menschliche Verhalten und damit assoziierte Störungen ermöglicht. Die Generierung virtueller Personen, sogenannter Avatare, ist eine technische Entwicklung, die nicht nur den Medien, sondern auch der Forschung neue Möglichkeiten eröffnet. Bis dato sind emotionale artifizielle Gesichter jedoch nur in wenigen Studien verwandt worden. In diesen Studien fallen die Angaben zu den Einzelheiten der Erstellung von Avatargesichtern, ihrer Präsentation und den Besonderheiten der Studiendesigns sehr knapp und uneinheitlich aus. Derzeit existiert keine Veröffentlichung, die sich mit diesen Aspekten detailliert auseinandersetzt.

Durch eine Literaturanalyse der Studien, in denen die Reaktion von Probanden auf Avatargesichter gemessen wurde, konnte eine Reihe von Aspekten benannt werden, die für die Ergebnisse derartiger Studien von Bedeutung sind. Dabei erzielten Avatargesichter im Vergleich zu herkömmlichem Stimulusmaterial stets solide Ergebnisse. Es zeigte sich, dass nicht nur die Modalitäten der Gesichtsstimuli wie die dargestellte Emotion und ihre Intensität oder das Geschlecht die Antwort der Probanden beeinflussen, sondern auch die verschiedenen technischen Methoden ihrer Erstellung. Neben der Hintergrundgestaltung stellen außerdem der zeitliche Ablauf und die Randomisierung der Stimuli bei der Präsentation wichtige Faktoren dar. Des Weiteren spielen das Alter, das Geschlecht, die Händigkeit sowie die psychiatrische Anamnese der Probanden eine Rolle bei der Bewertung emotionaler Gesichter.

Würde bei der Generierung von Avataren zu Forschungszwecken ein größeres Augenmerk auf die hier erarbeiteten Aspekte gerichtet, könnten in zukünftigen Studien durch eine methodischere Erstellung und Verwendung der Stimuli unter Umständen eindeutigere Ergebnisse erzielt werden. Standardisierte, reproduzierbare Stimuli wären

außerdem besser untereinander vergleichbar. Insgesamt zeichnet sich ab, dass Avatargesichter vielseitige und in verschiedener Hinsicht vorteilhafte Stimuli darstellen, die nicht nur Einsatzmöglichkeiten in der Erforschung, sondern auch in der Therapie zahlreicher neuropsychiatrischer Erkrankungen bieten.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Zweidimensionales Bewertungsmodell	27
Abb. 2 *	Weibliche und männliche Avatare	33
Abb. 3 *	Links: Implementierung von AUs. Rechts: Fröhliches Gesicht niedriger Intensität	34
	Abb. 2 und 3 aus: Spencer-Smith et al., 2001	
Abb. 4 *	Synthetische Gesichter mit der mimischen Ausprägung am Ende der Animation	37
	aus: Kätsyri und Sams, 2008	
Abb. 5 **	Weiblicher und männlicher Avatar mit ängstlichem Gesichtsausdruck	39
	aus: Dyck et al., 2008	
Abb. 6 *	Photo vs. Avatar	40
	aus: Moser et al., 2007	
Abb. 7 *	Beispiele für Avatare in Clips	42
	aus: Hurlemann et al., 2008	
Abb. 8 *	Wütendes, neutrales und fröhliches Avatargesicht	44
	aus: Weyers et al., 2006	

* Die Abbildung erfolgt mit ausdrücklicher Genehmigung des jeweiligen Verlags/Rechteinhabers; es liegt eine entsprechende Lizenz vor, die zu Druck und elektronischer Veröffentlichung im Rahmen dieser Dissertation berechtigt. Eine darüber hinausgehende Verwendung ist untersagt; die Rechte verbleiben beim jeweiligen Rechteinhaber.

** Die Quelle der Abbildung ist bei der frei zugänglichen Datenbank PLoS ONE veröffentlicht; für die Verwendung der Abbildung ist keine gesonderte Erlaubnis erforderlich.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Verwendung von AUs in FACS-orientierten Studien	49
Tab. 2	Zusammenfassung der Stimulusmerkmale I	49
Tab. 3	Zusammenfassung der Stimulusmerkmale II	50
Tab. 4	Zusammenfassung der Daten zu Stimuluspräsentation und Studiendesign	52
Tab. 5	Zusammenfassung der Probandenmerkmale	53

Literaturverzeichnis

- Abercrombie HC, Kalin NH, Thurow ME, Rosenkranz MA, Davidson RJ. Cortisol variation in humans affects memory for emotionally laden and neutral information. *Behav Neurosci* 2003; 117: 506–516
- Adolphs R. Fear, faces, and the human amygdala. *Curr Opin Neurobiol* 2008; 18: 166–172
- Adolphs R. Recognizing Emotion From Facial Expressions: Psychological and Neurological Mechanisms. *Behav Cogn Neurosci Rev* 2002a; 1: 21–62
- Adolphs R, Baron-Cohen S, Tranel D. Impaired recognition of social emotions following amygdala damage. *J Cogn Neurosci* 2002b; 14: 1264–1274
- Adolphs R, Damasio H, Tranel D, Cooper G, Damasio AR. A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping. *J Neurosci* 2000; 20: 2683–2690
- Adolphs R. Social cognition and the human brain. *Trends Cogn Sci* 1999a; 3: 469–479
- Adolphs R, Tranel D, Hamann S, Young AW, Calder AJ, Phelps EA, Anderson A, Lee GP, Damasio AR. Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia* 1999b; 37: 1111–1117
- Adolphs R, Schul R, Tranel D. Intact recognition of facial emotion in Parkinson's disease. *Neuropsychology* 1998; 12: 253–258
- Adolphs R, Cahill L, Schul R, Babinsky R. Impaired declarative memory for emotional material following bilateral amygdala damage in humans. *LearnMem* 1997; 4:291–300
- Adolphs R, Damasio H, Tranel D, Damasio AR. Cortical systems for the recognition of emotion in facial expressions. *J Neurosci* 1996; 16: 7678–7687
- Adolphs R, Tranel D, Damasio H, Damasio AR. Fear and the human amygdala. *J Neurosci* 1995; 15: 5879–5891
- Adolphs R, Tranel D, Damasio H, Damasio A. Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala. *Nature* 1994; 372: 669–672
- Aggleton JP. The functional effects of amygdala lesions in humans: a comparison with findings from monkeys. In: Aggleton JP, Hrsg. *The amygdala: neurobiological aspects of emotion, memory and mental dysfunction*. New York: Wiley-Liss, 1992: 485–503

- Aggleton JP, Mishkin M. The amygdala: sensory gateway to the emotions. In: Plutchik R and Kellerman H, Hrsg. *Emotion: Theory, Research and Experience*. Orlando: Academic Press, 1986; 3: 281–299
- Aharon I, Etcoff N, Ariely D, Chabris CF, O'Connor E, Breiter HC. Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron* 2001; 32: 537–551
- Aleman A, Swart M, van Rijn S. Brain imaging, genetics and emotion. *Biol Psychol* 2008; 79: 58–69
- Allison T, Puce A, McCarthy G. Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends Cognit Sci* 2000; 4: 267–278
- Amaral DG. The primate amygdala and the neurobiology of social behavior: implications for understanding social anxiety. *Biol Psychiatry* 2002; 51: 11–17
- Ambadar Z, Schooler JW, Cohn JF. Deciphering the enigmatic face: the importance of facial dynamics in interpreting subtle facial expressions. *Psychol Sci* 2005; 16: 403–410
- Amunts K, Kedo O, Kindler M, Pieperhoff P, Mohlberg H, Shah NJ, Habel U, Schneider F, Zilles K. Cytoarchitectonic mapping of the human amygdala, hippocampal region and entorhinal cortex: intersubject variability and probability maps. *Anat Embryol* 2005; 210: 343–352
- Anderson AK, Christoff K, Stappen I, Panitz D, Ghahremani DG, Glover G, Gabrieli JD, Sobel N. Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nat Neurosci* 2003; 6: 196–202
- Anderson AK, Phelps EA. Is the human amygdala critical for the subjective experience of emotion? Evidence of intact dispositional affect in patients with amygdala lesions. *J Cogn Neurosci* 2002; 14: 709–720
- Anderson PL, Zimand E, Hodges LF, Rothbaum BO. Cognitive behavioral therapy for public-speaking anxiety using virtual reality for exposure. *Depress Anxiety* 2005; 22: 156–158
- Andrews FM, Withey SB. *Social Indicators of Well-Being: America's Perceptions of Life Quality*. Plenum Press Anhang A 1976: 13
- Armony JL, Sergerie K. Own-sex effects in emotional memory for faces. *Neurosci Lett* 2007; 426: 1–5
- Baron-Cohen S, Ring HA, Wheelwright S, Bullmore ET, Brammer MJ, Simmons A, Williams SC. Social intelligence in the normal and autistic brain: an fMRI study. *Eur J Neurosci* 1999; 11: 1891–1898
- Baxter MG, Murray EA. The amygdala and reward. *Nat Rev Neurosci* 2002; 3: 563–573

- Berpohl F, Dalanay U, Kahnt T, Sajonz B, Heimann H, Ricken R, Stoy M, Hägele C, Schlagenhaut F, Adli M, Wrase J, Ströhle A, Heinz A, Bauer M. A preliminary study of increased amygdala activation to positive affective stimuli in mania. *Bipolar Disord* 2009; 11: 70–75
- Biocca F, Harms C, Burgoon J. Toward a more robust theory and measure of social presence. *Presence - Teleop Virt* 2003; 12: 456–480
- Biometrics Research Department New York State Psychiatric Institute, 2012: Structured Clinical Interview for DSM Disorders (SCID) <http://www.scid4.org> (Zugriffsdatum: 26.01.2012)
- Blair K, Smith B, Mitchell D, Morton J, Vythilingam M, Pessoa L, Fridberg D, Zametkin A, Sturman D, Nelson E, Drevets W, Pine D, Martin A, Blair RJ. Modulation of emotion by cognition and cognition by emotion. *NeuroImage* 2007; 35: 430–440
- Blair RJ. Facial expressions, their communicatory functions and neuro-cognitive substrates. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2003; 358: 561–571
- Blair RJ. Neuro-cognitive models of aggression, the antisocial personality disorders and psychopathy. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 2001; 71: 727–731
- Bordnick PS, Traylor A, Copp HL, Graap KM, Carter B, Ferrer M, Walton AP. Assessing reactivity to virtual reality alcohol based cues. *Addict Behav* 2008; 33: 743–756
- Borod JC. Cerebral mechanisms underlying facial, prosodic, and lexical emotional expression: a review of neuropsychological studies and methodological issues. *Neuropsychology* 1993; 7: 445–463
- Botvinick MM, Cohen JD, Carter CS. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends Cogn Sci* 2004; 8: 539–546
- Brabec J, Rulseh A, Hoyt B, Vizek M, Horinek D, Hort J, Petrovicky P. Volumetry of the human amygdala- An anatomical study. *Psychiatry Res* 2010; 182: 67–72
- Bradley MM, Lang PJ. Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 1994; 25: 49–59
- Bradley MM, Greenwald MK, Petry MC, Lang PJ. Remembering pictures: pleasure and arousal in memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 1992; 18: 379–390
- Breiter HC, Rauch SL. Functional MRI and the study of OCD: from symptom provocation to cognitive-behavioral probes of cortico-striatal systems and the amygdala. *NeuroImage* 1996a; 4: 127–138
- Breiter HC, Etcoff NL, Whalen PJ, Kennedy WA, Rauch SL, Buckner RL, Strauss MM, Hyman SE, Rosen BR. Response and Habituation of the Human Amygdala during Visual Processing of Facial Expression. *Neuron* 1996b; 17: 875–887

- Bremner JD. Traumatic stress: effects on the brain. *Dialogues Clin Neurosci* 2006; 8: 445–461
- Brierley B, Shaw P, David AS. The human amygdala: a systematic review and meta-analysis of volumetric magnetic resonance imaging. *Brain Res Brain Res Rev* 2002; 39:84–105
- Broca P. Anatomie comparée des circonvolutions cérébrales: le grand lobe limbique. *Rev Anthropol* 1878; 1: 385–498
- Brodmann K. Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde: in ihren Principien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag, 1909
- Brothers L. The social brain: a project for integrating primate behaviour and neurophysiology in a new domain. *Concepts Neurosci* 1990; 1: 27–51
- Brown S, Schafer EA. An investigation into the functions of the occipital and temporal lobes of the monkey's brain. *Phil Trans R Soc Lond B* 1888; 179: 303–327
- Bruce V, Young AW. Understanding face recognition. *Br J Psychol* 1986; 77: 305–327
- Brunswik E, Reiter L. Eindruckscharaktere schematisierter Gesichter. *Zeitschrift für Psychologie* 1937; 142: 67–134
- Cacioppo JT, Gardner WL. Emotions. *Annu Rev Psychol* 1999; 50: 191–214
- Cahill L, Alkire M. Epinephrine enhancement of human memory consolidation: interaction with arousal at encoding. *Neurobiol Learn Mem* 2003; 79: 194–198
- Cahill L, Haier RJ, White NS, Fallon J, Kilpatrick L, Lawrence C, Potkin SG, Alkire MT. Sex-related difference in amygdala activity during emotionally influenced memory storage. *Neurobiol Learn Mem* 2001; 75 : 1–9
- Cahill L, Babinsky R, Markowitsch HJ, McGaugh JL. The amygdala and emotional memory. *Nature* 1995; 377: 295–296
- Cahill L, Prins B, Weber M, McGaugh JL. β -adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature* 1994; 371: 702–704
- Calder AJ, Young AW, Rowland D, Perrett DI, Hodges JR, Ectoff NL. Facial emotion recognition after bilateral amygdala damage: differentially severe impairment of fear. *Cogn Neuropsychol* 1996; 13: 699–745
- Canli T, Sivers H, Whitfield SL, Gotlib IH, Gabrieli JDE. Amygdala Response to Happy Faces as a Function of Extraversion. *Science* 2002; 296: 2191
- Cannon WB. The James-Lange theory of emotion: A critical examination and an alternative theory. *Am J Psychol* 1927; 39: 106–124

- Carrera-Levillain P, Fernandez-Dols JM. Neutral faces in context: Their emotional meaning and their function. *J Nonverbal Behav* 1994; 18: 281–299
- Carter RM, Hofstotter C, Tsuchiya N, Koch C. Working memory and fear conditioning. *Proc Natl Acad Sci U. S. A.* 2003; 100: 1399–1404
- Colombetti, G. Appraising Valence. *J Conscious Stud* 2005; 12: 103–126
- Costafreda SG, Brammer MJ, David AS, Fu CH. Predictors of amygdala activation during the processing of emotional stimuli: a meta-analysis of 385 PET and fMRI studies. *Brain Res Rev* 2008; 58: 57–70
- Crawford JR, Henry JD. The Positive and Negative Affect Schedule (PANAS): Construct validity, measurement properties and normative data in a large non-clinical sample. *Br J Clin Psychol* 2004; 43: 245–265
- da Costa RM, de Carvalho LA. The acceptance of virtual reality devices for cognitive rehabilitation: a report of positive results with schizophrenia. *Comput Methods Programs Biomed* 2004; 73: 173–182
- Damasio AR. *The feeling of what happens: Body and emotion in the making of consciousness.* New York: Harcourt Brace, 1999
- Damasio AR. *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain.* New York: Gosset/Putnam, 1994
- Damasio AR, Tranel D, Damasio H. Somatic markers and the guidance of behaviour: theory and preliminary testing. In: Levin HS, Eisenberg HM, Benton AL, Hrsg. *Frontal lobe function and dysfunction.* New York: Oxford University Press, 1991: 217–229
- Darwin CR. *The expression of the emotions in man and animals.* London: John Murray, 1872
- Davidson RJ. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition* 1992; 20: 125–151
- Davis M, Whalen PJ. The amygdala: vigilance and emotion. *Mol Psychiatry* 2001; 6:13–34
- de Gelder B, Vroomen J, Pourtois G, Weiskrantz L. Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex. *NeuroReport* 1999; 10: 3759–3763
- de Olmos JS, Heimer L. The concepts of the ventral striatopallidal system and extended amygdala. *Ann NY Acad Sci* 1999; 877: 1–32
- Deutsch JE, Mirelman A. Virtual reality-based approaches to enable walking for people poststroke. *Top Stroke Rehabil* 2007; 14: 45–53

- Difede J, Cukor J, Jayasinghe N, Patt I, Jedel S, Spielman L, Giosan C, Hoffman HG. Virtual reality exposure therapy for the treatment of posttraumatic stress disorder following September 11, 2001. *J Clin Psychiatry* 2007; 68: 1639–1647
- Dimberg U, Lundquist LO. Gender differences in facial reactions to facial expressions. *Biol Psychol* 1990; 30: 151–159
- Dimberg U. Facial reactions to facial expressions. *Psychophysiology* 1982; 19: 643–647
- Donegan NH, Sanislow CA, Blumberg HP, Fulbright RK, Lacadie C, Skudlarski P, Gore JC, Olson IR, McGlashan TH, Wexler BE. Amygdala hyperreactivity in borderline personality disorder: implications for emotional dysregulation. *Biol Psychiatry* 2003; 54: 1284–1293
- Duchenne GB. *Mécanisme de la physionomie humaine*. Paris: Renouard, 1862
- Duclos SE, Laird JD, Schneider E. Emotion-specific effects of facial expressions and postures on emotional experience. *J Pers Soc Psychol* 1989; 57: 100–108
- Duncan J, Owen AM. Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends Neurosci* 2000; 23: 475–483
- Dunbar R. The Social Brain Hypothesis. *Evol Anthropol* 1998; 6: 178–190
- Dyck M, Winbeck M, Leiberg S, Chen Y, Gur RC, Mathiak K. Recognition Profile of Emotions in Natural and Virtual Faces. *PLoS ONE* 2008; 3(11): e3628. doi:10.1371/journal.pone.0003628 (Zugriffsdatum: 26.01.2012)
- Eickhoff SB, Heim S, Zilles K, Amunts K. Testing anatomically specified hypotheses in functional imaging using cytoarchitectonic maps. *NeuroImage* 2006; 32: 570–582
- Eickhoff SB, Stephan KE, Mohlberg H, Grefkes C, Fink GR, Amunts K, Zilles K. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *NeuroImage* 2005; 25: 1325–1335
- Ekman Dr. Paul, 2010. FACS vs. F.A.C.E.. <http://www.paulekman.com> (Zugriffsdatum: 26. 01. 201)
- Ekman P. Basic Emotions. In: Dalglish T, Power M, Hrsg. *Handbook of Cognition and Emotion*. Sussex, Großbritannien: John Wiley & Sons, 1999
- Ekman P. Facial expression and emotion. *Am Psychol* 1993; 48: 384–392
- Ekman P, Heider KG. The Universality of Contempt Expression: A Replication. *Motiv Emotion* 1988; 12: 303–308
- Ekman P, Friesen WV. *Facial action coding system: A technique for the measurement of facial movement*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, 1978

- Ekman P, Friesen WV. Pictures of facial affect. Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press, 1976
- Ekman P, Sorenson E, Friesen W. Pan-cultural elements in facial displays of emotion. *Science* 1969; 164: 86–88
- Etcoff NL, Magee JJ. Categorical perception of facial expressions. *Cognition* 1992; 44: 227–240
- Etcoff NL. Selective attention to facial identity and facial emotion. *Neuropsychologia* 1984; 22: 281–295
- Everitt BJ, Parkinson JA, Olmstead MC, Arroyo M, Robledo P, Robbins TW. Associative processes in addiction and reward. The role of amygdala-ventral striatal subsystems. *Ann N Y Acad Sci* 1999; 877: 412–438
- Fanselow MS, LeDoux JE. Why we think plasticity underlying Pavlovian fear conditioning occurs in the basolateral amygdala. *Neuron* 1999; 23: 229–232
- Franz M, Popp K, Schaefer R, Sitte W, Schneider C, Hardt J, Decker O, Braehler E. Alexithymia in the German general population. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol* 2008; 43: 54–62
- Fridlund A. Human facial expression. An evolutionary view. San Diego, CA: Academic Press, 1994
- Frith U. Mind blindness and the brain in autism. *Neuron* 2001; 32: 969–979
- Fu CHY, Morgan K, Suckling J, Williams SCR, Andrew C, Vythelingum GN, McGuire PK. A functional magnetic resonance imaging study of overt letter verbal fluency using a clustered acquisition sequence: greater anterior cingulate activation with increased task demand. *NeuroImage* 2002; 17: 871–879
- Gallagher M, Chiba A A. The amygdala and emotion. *Curr Opin Neurobiol*; 6: 221–227
- Garavan H, Pendergrass JC, Ross TJ, Stein EA, Risinger RC. Amygdala response to both positively and negatively valenced stimuli. *Neuroreport* 2001; 12: 2779–2783
- George MS, Ketter TA, Gill DS, Haxby JV, Ungerleider LG, Herscovitch P, Post RM. Brain-regions involved in recognizing facial emotion or identity: an oxygen-15 PET study. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 1993; 5: 384–394
- Gepner B, Deruelle C, Grynfeldt S. Motion and emotion: a novel approach to the study of face processing by young autistic children. *J Autism Dev Disord* 2001; 31: 37–45
- Gerardi M, Rothbaum BO, Ressler K, Heekin M, Rizzo A. Virtual reality exposure therapy using a virtual Iraq: case report. *J Trauma Stress* 2008; 21: 209–213

- Goddard GV. Amygdaloid stimulation and learning in the rat. *J Comp Physiol Psychol* 1964; 58: 23–30
- Goethe JW von. *Xenien. Großherzogin Sophie von Sachsen*, Hrsg. Weimar: Verlag Hermann Böhlaus Nachfolger, 1887-1919
- Good CD, Johnsrude I, Ashburner J, Henson RN, Friston KJ, Frackowiak RS. Cerebral asymmetry and the effects of sex and handedness on brain structure: a voxel-based morphometric analysis of 465 normal adult human brains. *NeuroImage* 2001; 14: 685–700
- Guenter B, Grimm C, Malvar H, Wood D. Making faces. In: *SIGGRAPH 98 conference proceedings*. New York: ACM Press, 1998
- Gunning-Dixon FM, Gur RC, Perkins AC, Schroeder L, Turner T, Turetsky BI, Chan RM, Loughhead JW, Alsup DC, Maldjian J, Gur RE. Age-related differences in brain activation during emotional face processing. *Neurobiol Aging* 2003; 24: 285–295
- Gur RC, Sara R, Hagendoorn M, Marom O, Hughett P, Macy L, Turner T, Bajcsy R, Posner A, Gur RE. A method for obtaining 3-dimensional facial expressions and its standardization for use in neurocognitive studies. *J Neurosci Methods* 2002; 115: 137–143
- Halgren E, Raij T, Marinkovic K, Jousmaki V, Hari R. Cognitive response profile of the human fusiform face area as determined by MEG. *Cereb Cortex* 2000; 10: 69–81
- Hamann SB, Canli T. Individual differences in emotion processing. *Curr Opin Neurobiol* 2004a; 14: 233–238
- Hamann SB, Herman RA, Nolan CL, Wallen K. Men and women differ in amygdala response to visual sexual stimuli. *Nat Neurosci* 2004b; 7: 411–416
- Hamann SB, Ely TD, Hoffmann JM, Kilts CD. Ecstasy and agony: Activation of the human amygdala in positive and negative emotion. *Psychol Sci* 2002; 13: 135–141
- Hariri AR, Mattay VS, Tessitore A, Fera F, Weinberger DR. Neocortical modulation of the amygdala response to fearful stimuli. *Biol Psychiatry* 2003; 53: 494–501
- Hariri AR, Tessitore A, Mattay VS, Fera F, Weinberger DR. The amygdala response to emotional stimuli: a comparison of faces and scenes. *NeuroImage* 2002; 17: 317–323
- Harmer CJ, Perrett DI, Cowen PJ, Goodwin GM. Administration of the beta-adrenoceptor blocker propranolol impairs the processing of facial expressions of sadness. *Psychopharmacol Berl* 2001; 154: 383–389
- Haxby JV, Hoffman EA, Gobbini MI. The distributed human neural system for face perception. *Trends Cogn Sci* 2000; 4: 223–233

- Heberlein AS, Padon AA, Gillihan SJ, Farah MJ, Fellows LK. Ventromedial frontal lobe plays a critical role in facial emotion recognition. *J Cogn Neurosci* 2008; 20: 721–733
- Hoffman EA, Haxby JV. Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nat Neurosci* 2000; 3: 80–84
- Hornak L, Bramham J, Rolls ET, Morris RG, O'Doherty J, Bullock PR, Polkey CE. Changes in emotion after circumscribed surgical lesions of the orbitofrontal and cingulate cortices. *Brain* 2003; 126: 1691–1712
- Humphrey NK. The social function of intellect. In: *Growing Points in Ethology*. Bateson PPG, Hinde RA, Hrsg. Cambridge: Cambridge University Press, 1976: 303–317
- Hurlemann R, Walter H, Rehme AK, Kukolja J, Santoro SC, Schmidt C, Schnell K, Musshoff F, Keysers C, Maier W, Kendrick KM, Onur OA. Human amygdala reactivity is diminished by the beta-noradrenergic antagonist propranolol. *Psychol Med* 2010; 27: 1–10
- Hurlemann R, Rehme AK, Diessel M, Kukolja J, Maier W, Walter H, Cohen MX. Segregating intra-amygdalar responses to dynamic facial emotion with cytoarchitectonic maximum probability maps. *J Neurosci Methods* 2008; 172 : 13–20
- Hurlemann R, Rehme AK, Diessel M, Kukolja J, Maier W, Walter H, Cohen MX. Segregating intra-amygdalar responses to dynamic facial emotion with cytoarchitectonic maximum probability maps. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neumeth.2008.04.004> (Zugriffsdatum: 26.01.2012)
- Hurlemann R, Wagner M, Hawellek B, Reich H, Pieperhoff P, Amunts K, Oros-Peusquens AM, Shah NJ, Maier W, Dolan RJ. Amygdala control of emotion-induced forgetting and remembering: evidence from Urbach-Wiethe disease. *Neuropsychologia* 2007; 45: 877–884
- Hurlemann R, Hawellek B, Matusch A, Kolsch H, Wollersen H, Madea B, Vogele K, Maier W, Dolan RJ. Noradrenergic modulation of emotion-induced forgetting and remembering. *J Neurosci* 2005; 25: 6343–6349
- Hutchison WD, Davis KD, Lozano AM, Tasker RR, Dostrovsky JO. Pain-related neurons in the human cingulate cortex. *Nat Neurosci* 1999; 2: 403–405
- Iidaka T, Okada T, Murata T, Omori M, Kosaka H, Sadato N, Yonekura Y. Age-related differences in the medial temporal lobe responses to emotional faces as revealed by fMRI. *Hippocampus* 2002; 12: 352–362
- Ishai A, Ungerleider LG, Martin A, Haxby JV. The representation of objects in the human occipital and temporal cortex. *J Cogn Neurosci* 2000; 12: 35–51
- Izard C. *The Face of Emotion*. New York: Applezon-Century-Crofts, 1971

- Jacobi F, Wittchen HU, Holting C, Höfler M, Pfister H, Müller N, Lieb R. Prevalence, comorbidity and correlates of mental disorders in the general population: results from the German Health Interview and Examination Survey (GHS). *Psychol Med* 2004; 34: 597–611
- James W. What is an emotion? *Mind* 1884; 9: 188–205
- Jones BC, DeBruine LM, Perrett DI, Little AC, Feinberg DR, Law Smith MJ. Effects of menstrual cycle phase on face preferences. *Arch Sex Behav* 2008; 37: 78–84
- Jones BC, Perrett DI, Little AC, Boothroyd L, Cornwell RE, Feinberg DR, Tiddeman BP, Whiten S, Pitman RM, Hillier SG, Burt DM, Stirrat MR, Law Smith MJ, Moore FR. Menstrual cycle, pregnancy and oral contraceptive use alter attraction to apparent health in faces. *Proc Biol Sci* 2005; 272: 347–354
- Kätsyri J, Sams M. The effect of dynamics on identifying basic emotions from synthetic and natural faces. *Int J Human-Computer Studies* 2008; 66: 233–242
- Kamachi M, Bruce V, Mukaida S, Gyoba J, Yoshikawa S, Akamatsu S. Dynamic properties influence the perception of facial expressions. *Perception* 2001; 30: 875–887
- Kanwisher N, McDermott J, Chun MM. The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J Neurosci* 1997; 17: 4302–4311
- Kapp BS, Whalen PJ, Supple WF, Pascoe JP. Amygdaloid contributions to conditioned arousal and sensory information processing. In: *The Amygdala: Neurobiological Aspects of Emotion, Memory and Mental Dysfunction*. Aggleton JP, Hrsg. New York: Wiley Liss, 1992: 229–254
- Kawasaki H, Adolphs R, Kaufman O, Damasio H, Damasio AR, Granner M, Bakken H, Hori T, Howard MA. Single-unit response to emotional visual stimuli recorded in human ventral prefrontal cortex. *Nat Neurosci* 2001; 4: 15–16
- Ketal R. Affect, mood, emotion, and feeling: semantic considerations. *Am J Psychiatry* 1975; 132:1215–1217
- Killgore WD, Yurgelun-Todd DA. Sex differences in amygdala activation during the perception of facial affect. *Neuroreport* 2001; 12: 2543–2547
- Kilts CD, Egan G, Gideon DA, Ely TD, Hoffman JM. Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions. *NeuroImage* 2003; 18: 156–168
- Kim H, Somerville LH, Johnstone T, Alexander AL, Whalen PJ. Inverse amygdala and medial prefrontal cortex responses to surprised faces. *NeuroReport* 2003; 14: 2317–2322

- Kirsh SJ, Mounts JR, Olczak PV. Violent media consumption and the recognition of dynamic facial expressions. *J Interpers Violence* 2006; 21: 571–584
- Kleinsmith LJ, Kaplan S. Paired-associate learning as a function of arousal and interpolated interval. *J Exp Psychol Sci* 1963; 65: 190–193
- Klinger E, Bouchard S, Légeron P, Roy S, Lauer F, Chemin I, Nugues P. Virtual reality therapy versus cognitive behavior therapy for social phobia: a preliminary controlled study. *Cyberpsychol Behav* 2005; 8: 76–88
- Klüver H, Bucy PC. 'Psychic Blindness' and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in rhesus monkeys. *Am J Physiol* 1937; 119: 352–353
- Kohler CG, Turner TH, Bilker WB, Brensinger CM, Siegel SJ, Kaner SJ, Gur RE, Gur RC. Facial emotion recognition in schizophrenia: intensity effects and error pattern. *Am J Psychiatry* 2003; 160: 1768–1774
- Koob GF. Brain stress systems in the amygdala and addiction. *Brain Res* 2009; 1293:61-75
- Kranz F, Ishai A. Face perception is modulated by sexual preference. *Curr Biol* 2006; 16: 63–68
- Krauss RM, Morrel-Samuels P, Colasante C. Do conversational hand gestures communicate? *J Pers Soc Psychol* 1991; 61: 743–754
- Kring AM, Gordon AH. Sex differences in emotion: expression, experience, and physiology. *J Pers Soc Psychol* 1998; 74 : 686–703
- Ku J, Jang HJ, Kim KU, Park SH, Kim JJ, Kim CH, Nam SW, Kim IY, Kim SI. Pilot study for assessing the behaviors of patients with schizophrenia towards a virtual avatar. *Cyberpsychol Behav* 2006; 9: 531–539
- Ku J, Jang HJ, Kim KU, Kim JH, Park SH, Lee JH, Kim JJ, Kim IY, Kim SI. Experimental results of affective valence and arousal to avatar's facial expressions. *Cyberpsychol Behav* 2005; 8: 493–503
- Ku J, Cho W, Kim JJ, Peled A, Wiederhold BK, Wiederhold MD, Kim IY, Lee JH, Kim SI. A virtual environment for investigating schizophrenic patients' characteristics: assessment of cognitive and navigation ability. *Cyberpsychol Behav* 2003; 6: 397–404
- Kuraoka K, Nakamura K. Responses of single neurons in monkey amygdala to facial and vocal emotions. *J Neurophysiol* 2007; 97: 1379–1387
- LaBar KS, Cabeza R. Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature* 2006; 7:54–64
- LaBar KS, Crupain MJ, Voyvodic JT, McCarthy G. Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain. *Cereb Cortex* 2003; 13: 1023–1033

- Lane RD, Sechrest L, Reidel R, Weldon V, Kaszniak A, Schwartz GE. Impaired verbal and nonverbal emotion recognition in Alexithymia. *Psychosom Med* 1996; 58: 203–210
- Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN. International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention, 1997
- Lange C. *Über Gemütsbewegungen*. Leipzig: Thomas, 1887
- LeDoux JE. The amygdala. *Curr Biol* 2007; 17: 868–874
- LeDoux JE. From anxiety to aplysia and back again. In: American Psychiatric Publishing, Inc., Hrsg. *Psychiatry, Psychoanalysis and the New Biology of Mind*. Washington, DC – London: American Psychiatric Publishing, Inc., 2005: 114–116
- LeDoux JE. *Synaptic Self: How Our Brains Become Who We Are*. New York: Viking, 2002
- LeDoux JE. *The emotional brain*. New York: Simon & Schuster, 1996
- Lehman HE. Yawning: a homeostatic reflex and its psychological significance. *Bull Meninger Clin* 1979; 43: 123–136
- Lehrl S. *Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest MWT-B*. Balingen: Spitta-Verlag, 2005
- Leslie A. Pretense and representation: the origins of 'theory of mind'. *Psychol Rev* 1987; 94: 412–426
- Likert R. A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology* 1932; 140: 1–55
- Lövblad KO, Schaller K. Surgical anatomy and functional connectivity of the limbic system. *Neurosurg Focus* 2009; 27: 1–5
- Lundqvist LO. Facial EMG reactions to facial expressions: A case of emotional contagion? *Scand J Psychol* 1995; 36: 130–141
- MacLean** PD. Some psychiatric implications of physiological studies on frontotemporal portion of limbic system (visceral brain). *Electromyogr Motor C* 1952; 4: 407–418
- Maren S. Neurobiology of Pavlovian fear conditioning. *Annu Rev Neurosci* 2001; 24: 897–931
- Marinkovic K, Trebon P, Chauvel P, Halgren E. Localised face processing by the human prefrontal cortex: face-selective intracerebral potentials and post-lesion deficits. *Cognit Neuropsychol* 2000; 17: 187–199
- Matell MS, Jacoby J. Is there an optimal number of alternatives for Likert scale items? Study I: Reliability and Validity. *Educ Psychol Meas* 1971; 31: 657–674

- Matsumoto D. Behavioral predictions based on perceptions of facial expressions of emotion. *Soc Behav Personal* 1983; 11: 97–104
- Mayer JD, Roberts RD, Barsade SG. Human abilities: emotional intelligence. *Annu Rev Psychol* 2008; 59: 507–536
- Mayer JD, Salovey P, Caruso DR, Sitarenios G. Emotional intelligence as a standard intelligence. *Emotion* 2001; 1: 232–242
- McClure KD, McClure SM, Richter MC, Richter W. The kinetics of the BOLD response depend on inter-stimulus time. *NeuroImage* 2005; 27: 817–823
- McDonald AJ. Is there an amygdala and how far does it extend? An anatomical perspective. *Ann N Y Acad Sci* 2003; 985: 1–21
- McGaugh JL. The amygdala modulates the consolidation of memories of emotionally arousing experiences. *Annu Rev Neurosci* 2004; 27: 1–28
- McGaugh JL, Roozendaal B. Role of adrenal stress hormones in forming lasting memories in the brain. *Curr Opin Neurobiol* 2002; 12: 205–210
- Meyer WU, Schützwohl A, Reisenzein R. Einführung in die Emotionspsychologie Band 1. Bern: Hans Huber, 1993
- Milner B, Corkin S, Teuber HL. Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H. M.. *Neuropsychologia* 1968; 6: 216–234
- Mitchell P, Parsons S, Leonard A. Using virtual environments for teaching social understanding to 6 adolescents with autistic spectrum disorders. *J Autism Dev Disord* 2007; 37: 589–600
- Moreno C, Borod JC, Welkowitz J, Alpert M. The perception of facial emotion across the adult life-span. *J Dev Neuropsychol* 1993; 9: 305–314
- Morris JS, Dolan RJ. Involvement of human amygdala and orbitofrontal cortex in hunger-enhanced memory for food stimuli. *J Neurosci* 2001; 21: 5304–5310
- Morris JS, Friston KJ, Büchel C, Frith CD, Young AW, Calder AJ, Dolan RJ. A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain* 1998a; 121 : 47–57
- Morris JS, Ohman A, Dolan RJ. Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature* 1998b; 393: 467–470
- Morris JS, Frith CD, Perrett DI, Rowland D, Young AW, Calder AJ, Dolan RJ. A differential response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature* 1996; 383: 812–815

- Moser E, Derntl B, Robinson S, Fink B, Gur RC, Grammer K. Amygdala activation at 3T in response to human and avatar facial expressions of emotions. *J Neurosci Methods* 2007; 161: 126–133
- Murphy SE, Norbury R, O'Sullivan U, Cowen PJ, Harmer CJ. Effect of a single dose of citalopram on amygdala response to emotional faces. *Br J Psychiatry* 2009; 194: 535–540
- Nathanson DL. *Shame and Pride: Affect, Sex, and the Birth of the Self*. New York – London: W. W. Norton & Company, 1994
- Nowak KL, Biocca F. The effect of the agency and anthropomorphism on users' sense of telepresence, copresence and social presence in virtual environments. *Presence - Teleop Virt* 2003; 12: 481–494
- O'Doherty J, Rolls ET, Francis S, Bowtell R, McGlone F. Representation of pleasant and aversive taste in the human brain. *J Neurophysiol* 2001; 85: 1315–1321
- Öhman A, Mineka S. Fears, phobias, and preparedness: toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychol Rev* 2001; 108: 483–522
- Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 1971; 9: 97–113
- Osgood CE, Suci GJ, Tannenbaum PH. *The measurement of Meaning*. Illinois: Urbana, University of Illinois, 1957
- Parker JDA, Taylor GJ, Bagby RM. The 20-Item Toronto Alexithymia Scale III. Reliability and factorial validity in a community population. *J Psychosom Res* 2003; 55: 277–283
- Parker JDA, Taylor GJ, Bagby RM. Alexithymia and the recognition of facial expression and emotion. *Psychother Psychosom* 1993; 59: 197–202
- Pelphrey KA, Morris JP, McCarthy G, LaBar KS. Perception of dynamic changes in facial affect and identity in autism. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2007; 2: 140–149
- Pelphrey KA, Singerman JD, Allison T, McCarthy G. Brain activation evoked by perception of gaze shifts: the influence of context. *Neuropsychologia* 2003; 41:156–170
- Penton-Voak IS, Perrett DI, Castles DL, Kobayashi T, Burt DM, Murray LK, Minamisawa R. Menstrual cycle alters face preference. *Nature* 1999; 399: 741–742
- Pessoa L, Ungerleider LG. Neuroimaging studies of attention and the processing of emotion-laden stimuli. *Prog Brain Res* 2004; 144: 171–182
- Pessoa L, McKenna M, Gutierrez E, Ungerleider LG. Neural processing of emotional faces requires attention. *PNAS* 2002; 99: 11458–11463

- Pezawas L, Meyer-Lindenberg A, Drabant EM, Verchinski BA, Munoz KE, Kolachana BS, Egan MF, Mattay VS, Hariri AR, Weinberger DR. 5-HTTLPR polymorphism impacts human cingulate-amygdala interactions: a genetic susceptibility mechanism for depression. *Nat Neurosci* 2005; 8: 828–834
- Phelps EA. Emotion and cognition: insights from studies of the human amygdala. *Annu Rev Psychol* 2006; 57: 27–53
- Phelps EA, LeDoux JE. Contributions of the Amygdala to Emotion Processing: From Animal Models to Human Behaviour. *Neuron* 2005; 48: 175–187
- Phelps EA, LaBar KS, Spencer DD. Memory for emotional words following unilateral temporal lobectomy. *Brain Cogn* 1997; 35: 85–109
- Pierce K, Muller RA, Ambrose J, Allen G, Courchesne E. Face processing occurs outside the fusiform 'face area' in autism: evidence from functional MRI. *Brain* 2001; 124: 2059–2073
- Pighin F, Szeliski R, Salesin D. Resynthesizing facial animation through 3D model-based tracking. *ICCV Vision & Graphics* 1999; 1: 143–150
- Pizzagalli D, Regard M, Lehmann D. Rapid emotional face processing in the human right and left brain hemispheres: an ERP study. *Neuroreport* 1999; 10: 2691–2698
- Platek SM, Critton SR, Myers TE, Gallup Jr. GG. Contagious yawning: the role of self-awareness and mental state attribution. *Cogn Brain Res* 2003; 17: 223–227
- Powers MB, Emmelkamp PM. Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: a meta-analysis. *J Anxiety Disord* 2008; 22: 561–569
- Premack D, Woodruff G. Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behav Brain Sci* 1978; 1: 515–526
- Provine RR. Faces as releasers of contagious yawning: an approach to face detection using normal human subjects. *Bull Psychon Soc* 1989; 27 : 211–214
- Rager G, Zenker W, Braak H, Braak E, Nitsch R, Asan E. Endhirn. In: Drenckhahn D, Hrsg. *Anatomie Band 2*. München: Elsevier Urban & Fischer, 2004: 455–531
- Rauch SL, Whalen PJ, Shin LM, McInerney SC, Macklin ML, Lasko NB, Orr SP, Pitman RK. Exaggerated amygdala response to masked facial stimuli in posttraumatic stress disorder: a functional MRI study. *Biol Psychiatry* 2000; 47: 769–776
- Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience* 2004; 27: 169–192
- Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cogn Brain Res* 1996; 3: 131–141

- Rodway P, Wright L, Hardie S. The valence-specific laterality effect in free viewing conditions: The influence of sex, handedness and response bias. *BrainCogn* 2003; 53: 452–463
- Rolls ET. *The Brain and Emotion*. Oxford: Oxford University Press, 1999
- Roozendaal B, Okuda S, Van der Zee EA, McGaugh JL. Glucocorticoid enhancement of memory requires arousal-induced noradrenergic activation in the basolateral amygdala. *Proc Natl Acad Sci USA* 2006; 103: 6741–6746
- Roozendaal B. Stress and memory: opposing effects of glucocorticoids on memory consolidation and memory retrieval. *Neurobiol Learn Mem* 2002; 78: 578–595
- Rothbaum BO, Hodges L, Anderson PL, Price L, Smith S. Twelve-month follow-up of virtual reality and standard exposure therapies for the fear of flying. *J Consult Clin Psychol* 2002; 70: 428–432
- Russell JA, Weiss A, Mendelsohn GA. Affect grid – A single-item scale of pleasure and arousal. *J Pers Soc Psychol* 1989; 57: 493–502
- Russell JA, Fehr B. Relativity in the perception of emotion in facial expressions. *J Exp Psychol Gen* 1987; 116: 223–237
- Russell JA. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology* 1980; 39: 1161–1178
- Russell TA, Reynaud E, Kucharska-Pietura K, Ecker C, Benson PJ, Zelaya F, Giampietro V, Brammer M, David A, Phillips ML. Neural responses to dynamic expressions of fear in schizophrenia. *Neuropsychologia* 2007; 45: 107–123
- Sato W, Kochiyama T, Yoshikawa S, Naito E, Matsumura M. Enhanced neural activity in response to dynamic facial expressions of emotion: an fMRI study. *Brain Res Cogn Brain Res* 2004; 20: 81–91
- Sato W, Fujimura T, Suzuki N. Enhanced facial EMG activity in response to dynamic facial expressions. *Int J Psychophysiol* 2008; 70: 70–74
- Schachter S, Singer J. Cognitive, Social and Physiological Determinants of Emotional State. *Psychol Rev* 1962; 69: 379–399
- Schilbach L, Wohlschlaeger AM, Kraemer NC, Newen A, Shah NJ, Fink GR, Vogeley K. Being with virtual others: Neural correlates of social interaction. *Neuropsychologia* 2006; 44: 718–730
- Schneider F, Weiss U, Kessler C, Salloum JB, Posse S, Grodd W, Müller-Gärtner HW. Differential amygdala activation in schizophrenia during sadness. *Schizophr Res* 1998; 34: 133–142

- Schroeder R (Hrsg). *The Social Life of Avatars. Presence and Interaction in Shared Virtual Environments*. London – Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 2002
- Schubert E. Measuring emotion continuously: Validity and reliability of the two-dimensional emotion-space. *Aust J Psychol* 1999; 51: 154–165
- Schwartz CE, Wright CI, Shin LM, Kagan J, Whalen PJ, McMullin KG, Rauch SL. Differential amygdalar response to novel versus newly familiar neutral faces: a functional MRI probe developed for studying inhibited temperament. *Biol Psychiatry* 2003; 53: 854–862
- Sergent J, Ohta S, MacDonald B, Zuck E. Segregated processing of identity and emotion in the human brain: a PET study. *Vis Cogn* 1994; 1: 349–369
- Sergerie K, Chochol C, Armony JL. The role of the amygdala in emotional processing: A quantitative meta- analysis of functional neuroimaging studies. *Neurosci Biobehav Rev* 2008; 32: 811–830
- Serrano JM, Iglesias J, Loeches A. Visual discrimination and recognition of facial expressions of anger, fear and surprise in 4- to 6-month-old infants. *Dev Psychobiol* 1992; 25: 411–425
- Sheline YI, Barch DM, Donnelly JM, Ollinger JM, Snyder AZ, Mintun MA. Increased Amygdala Response to Masked Emotional Faces in Depressed Subjects Resolves with Antidepressant Treatment: An fMRI Study. *Biol Psychiatry* 2001; 50: 651–658
- Siebert M, Markowitsch HJ, Bartel P. Amygdala, affect and cognition: evidence from 10 patients with Urbach-Wiethe disease. *Brain* 2003; 126: 2627–2637
- Simon D, Craig KD, Miltner WH, Rainville P. Brain responses to dynamic facial expressions of pain. *Pain* 2006; 126: 309–318
- Simon D, Craig KD, Gosselin F, Belin P, Rainville P. Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and emotions. *Pain* 2008; 135: 55–64
- Southwick S, Davis M, Horner B, Cahill L, Morgan CA 3rd, Gold PE, Bremner JD, Charney DC. Relationship of enhanced norepinephrine activity during memory consolidation to enhanced long-term memory in humans. *Am J Psychiatry* 2002; 159: 1420–1422
- Spencer-Smith J, Wild H, Innes-Ker ÅH, Townsend J, Duffy C, Edwards C, Ervin K, Merritt N, Paik JW. Making faces: Creating three-dimensional parameterized models of facial expression. *Behav Res Methods Instrum Comput* 2001; 33: 115–123
- Sprengelmeyer R, Young AW, Pundt I, Sprengelmeyer A, Calder AJ, Berrios G, Winkel R, Vollmoeller M, Kuhn W, Sartory G, Przuntek H. Disgust implicated in obsessive-compulsive disorder. *Proc Biol Sci* 1997; 264: 1767–1773

- Sprengelmeyer R, Young AW, Calder AJ, Karnat A, Lange H, Hoemberg V, Perrett DI, Rowland D. Loss of disgust. Perception of faces and emotions in Huntington's disease. *Brain* 1996; 119: 1647–1666
- Stark CE, Squire LR. When zero is not zero: the problem of ambiguous baseline conditions in fMRI. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001; 98: 12760–12766
- Statistisches Bundesamt Deutschland, 2010: Krankheitskosten.
<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Gesundheit/Krankheitskosten/Krankheitskosten.psml> (Zugriffsdatum: 26. 01. 2012)
- Steele J. Cerebral asymmetry, cognitive laterality and human evolution. *Cahiers Psychol Cogn Curr Psychol Cogn* 1998; 17: 1202–1214
- Suslow T, Ohrmann P, Bauer J, Rauch AV, Schwindt W, Arolt V, Heindel W, Kugel H. Amygdala activation during masked presentation of emotional faces predicts conscious detection of threat-related faces. *Brain Cogn* 2006; 61: 243–248
- Suzuki A, Hoshino T, Shigemasa K, Kawamura M. Disgust-specific impairment of facial expression recognition in Parkinson's disease. *Brain* 2006; 129: 707–717
- Swanson LW, Petrovich GD. What is the amygdala? *Trends Neurosci* 1998; 21: 323–331
- Szabo CA, Xiong J, Lancaster JL, Rainey L, Fox P. Amygdalar and hippocampal volumetry in control participants: differences regarding handedness. *Am J Neuroradiol* 2001; 22: 1342–1345
- Talairach J, Tournoux P. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Stuttgart: Thieme Medical, 1988
- Tapscott D. Growing up digital: The rise of the net generation. New York: McGraw-Hill Companies, 1998
- Taylor SF, Phan KL, Britton JC, Liberzon I. Neural response to emotional salience in schizophrenia. *Neuropsychopharmacol* 2005; 30: 984–995
- Thomas KM, Drevets WC, Whalen PJ, Eccard CH, Dahl RE, Ryan ND, Casey BJ. Amygdala response to facial expressions in children and adults. *Biol Psychiatry* 2001; 49: 309–316
- Tranel D, Damasio AR, Damasio H. Intact recognition of facial expression, gender and age in patients with impaired recognition of face identity. *Neurology* 1988; 38:690–696
- Trautmann SA, Fehr T, Herrmann M. Emotions in motion: dynamic compared to static facial expressions of disgust and happiness reveal more widespread emotion-specific activations. *Brain Res* 2009; 1284: 100–115

- Traylor AC, Bordnick PS, Carter BL. Assessing craving in young adult smokers using virtual reality. *Am J Addict* 2008; 17: 436–440
- Tsuchiya N, Moradi F, Felsen C, Yamazaki M, Adolphs R. Intact rapid detection of fearful faces in the absence of the amygdala. *Nat Neurosci* 2009; 12: 1224–1225
- van der Gaag C, Minderaa RB, Keysers C. The BOLD signal in the amygdala does not differentiate between dynamic facial expressions. *Soc Cogn Affect Neurosci* 2007; 2: 93–103
- van der Gaag C, Minderaa RB, Keysers C. Facial expressions: what the mirror neuron system can and cannot tell us. *Soc Neurosci* 2007; 2: 179–222
- van Stegeren AH. The role of the noradrenergic system in emotional memory. *Acta Psychologica* 2008; 127: 532–541
- van Stegeren AH, Wolf OT, Everaerd W, Scheltens P, Barkhof F, Rombouts SA. Endogenous cortisol level interacts with noradrenergic activation in the human amygdala. *Neurobiol Learn Mem* 2007; 87: 57–66
- Veit R, Flor H, Erb M, Hermann C, Lotze M, Grodd W, Birbaumer N. Brain circuits involved in emotional learning in antisocial behavior and social phobia in humans. *Neurosci Lett* 2002; 328: 233–236
- Völlm BA, Taylor AN, Richardson P, Corcoran R, Stirling J, McKie S, Deakin JF, Elliott R. Neuronal correlates of theory of mind and empathy: a functional magnetic resonance imaging study in a nonverbal task. *NeuroImage* 2006; 29: 90–98
- Vogel JJ, Bowers CA, Vogel DS. Cerebral lateralization of spatial abilities: A meta-analysis. *Brain and Cognition* 2003; 52: 197–204
- Vuilleumier P, Armony JL, Driver J, Dolan RJ. Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: An event-related fMRI study. *Neuron* 2001; 30:829–841
- Wager TD, Phan KL, Liberzon I, Taylor SF. Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging. *Neuro Image* 2003; 19: 513–531
- Wang L, McCarthy G, Song AW, Labar KS. Amygdala activation to sad pictures during high-field (4 tesla) functional magnetic resonance imaging. *Emotion* 2005; 5: 12–22
- Watson D, Clark LA. Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative Affect: The PANAS Scales. *Journal of Personality and Social Psychology* 1988; 54: 1063–1070
- Weiskrantz L. Behavioral changes associated with ablation of the amygdaloid complex in monkeys. *J Comp Physiol Psychol* 1956; 49: 381–391

- Weyers P, Mühlberger A, Hefele C, Pauli P. Electromyographic responses to static and avatar emotional facial expressions. *Psychophysiology* 2006; 43: 450–453
- Whalen PJ, Rauch SL, Etcoff NL, McInerney SC, Lee MB, Jenike MA. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J Neurosci* 1998; 18: 411–418
- Winston JS, O'Doherty J, Kilner JM, Perrett DI, Dolan RJ. Brain systems for assessing facial attractiveness. *Neuropsychologia* 2007; 45: 195–206
- Winston JS, Henson RNA, Fine-Goulden MR, Dolan RJ. fMRI-adaptation reveals dissociable neural representations of identity and expression in face perception. *J Neurophysiol* 2004; 92: 1830–1839
- Winston JS, O'Doherty J, Dolan RJ. Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *NeuroImage* 2003; 20: 84–97
- Wright CI, Martis B, Shin LM, Fischer H, Rauch SL. Enhanced amygdala responses to emotional versus neutral schematic facial expressions. *Neuroreport* 2002; 13: 785–790
- Yang TT, Menon V, Reid AJ, Gotlib IH, Reiss AL. Amygdalar activation associated with happy facial expressions in adolescents: a 3-T functional MRI study. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2003; 42: 979–985
- Yang TT, Menon V, Eliez S, Blasey C, White CD, Reid AJ, Gotlib IH, Reiss AL. Amygdalar activation associated with positive and negative facial expressions. *NeuroReport* 2002; 13: 1737–1741
- Young AW, Newcombe F, de Haan EHF, Small M, Hay DC. Face perception after brain injury: selective impairments affecting identity and expression. *Brain* 1993; 116: 941–959
- Yurgelun-Todd DA, Gruber SA, Kanayama G, Killgore WD, Baird AA, Young AD. fMRI during affect discrimination in bipolar affective disorder. *Bipolar Disord* 2000; 2: 237–248
- Zald DH. The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain Res Rev* 2003; 41: 88–123
- Zald DH, Pardo JV. The neural correlates of aversive auditory stimulation. *NeuroImage* 2002; 16: 746–753
- Zald DH, Pardo JV. Emotion, olfaction, and the human amygdala: Amygdala activation during aversive olfactory stimulation. *Proc Natl Acad Sci USA* 1997; 94: 4119–4124

- Zalla T, Koechlin E, Pietrini P, Basso G, Aquino P, Sirigu A, Grafman J. Differential amygdala responses to winning and losing: a functional magnetic resonance imaging study in humans. *Eur J Neurosci* 2000; 12: 1764–1770
- Zangara A, Blair RJ, Curran HV. A comparison of the effects of a beta-adrenergic blocker and a benzodiazepine upon the recognition of human facial expressions. *Psychopharmacol Berl* 2002; 163: 36–41