

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. V. Arolt

Arbeitsgedächtnis und Emotion

–

Darstellung der cerebralen Aktivität mittels funktioneller Magnetresonanztomographie

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doctor medicinae
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Röttger, Christian
aus Gütersloh

2015

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt
2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. phil. Udo Dannlowski

Tag der mündlichen Prüfung: 12.03.2015

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Direktor: Univ.-Prof. Dr. V. Arolt

Referent: Univ.-Prof. Dr. V. Arolt

Co-Referent: Univ.-Prof. Dr. Dr. U. Dannlowski

Zusammenfassung

Arbeitsgedächtnis und Emotion – Darstellung der cerebralen Aktivität mittels funktioneller Magnetresonanztomographie

Röttger, Christian

Bisher sind in zahlreichen Studien emotionale Verarbeitungsnetzwerke oder Arbeitsgedächtnisnetzwerke jeweils isoliert betrachtet worden. Welche Areale allerdings zuständig sind, um Arbeitsgedächtnisaufgaben auch unter emotionaler Beeinflussung erfolgreich zu bearbeiten, ist bislang nicht untersucht worden.

Es stellten sich 31 gesunde Probandinnen und Probanden zur Verfügung, denen eine Arbeitsgedächtnisaufgabe im „n-back“-Design präsentiert wurde. Es gab drei Schwierigkeitsstufen (0-back, 1-back und 2-back). Um eine emotionale Beeinflussung zu erreichen, wurden dem International Affective Picture System (IAPS) Bilder mit negativer und neutraler Valenz entnommen und als entsprechende Stimuli verwendet.

Während die Probanden die Arbeitsgedächtnisaufgabe bearbeiteten, wurden neben der Reaktionszeit die Gehirnaktivitäten im fMRT indirekt über den BOLD-Effekt gemessen. Bei steigender Schwierigkeitsstufe waren bei negativen im Vergleich zu neutralen Bildern vor allem anteriorer Gyrus Cinguli (ACC) sowie Inselcortex neben Arealen der Selbstwahrnehmung und Orientierung im Raum, Handlungsplanung und -durchführung aktiv.

Das anteriore Cingulum scheint durch Interaktion seiner Divisionen und in Zusammenspiel mit der Inselrinde eine effektive Aufgabenbearbeitung durch Modulation der emotionalen Einflüsse und Aufmerksamkeitslenkung möglich zu machen. Über Verbindungen zu Arealen der Handlungsplanung und -durchführung ist schließlich eine Beantwortung der Aufgabe durch Drücken der entsprechenden Taste möglich.

In der Zukunft wird eine Gegenüberstellung der erzielten Erkenntnisse bei gesunden Probanden mit Ergebnissen bei psychisch kranken Patienten, wie zum Beispiel Depressiven, interessant werden, um eventuell neue Behandlungsstrategien entwickeln zu können, die sich die Modulation von negativer Emotion durch ACC und Inselrinde zunutze machen.

Tag der mündlichen Prüfung: 12.03.2015

Erklärung

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:
Emotion und Arbeitsgedächtnis – Darstellung der cerebralen Aktivität mittels funktioneller Magnetresonanztomographie

in der

**Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
des Universitätsklinikums Münster**

unter Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. Dr. Udo Dannlowski

1. selbstständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades vorgelegt habe.

Münster, den 05.09.2013

Christian Röttger

Meinen Eltern in großer Dankbarkeit gewidmet.

Inhalt

1.	Einleitung	1
1.1.	Die Intention der Arbeit.....	1
1.2.	fMRT-Bildgebung und BOLD-Effekt.....	2
1.3.	Gedächtnismodelle.....	2
1.3.1.	Das Modell von Atkinson und Shiffrin.....	3
1.3.2.	Das Gedächtnismodell nach Baddeley.....	5
1.4.	Emotionale Beeinflussung des Menschen.....	7
1.4.1.	Emotion nach LeDoux.....	7
1.4.2.	Emotion nach Damasio.....	8
1.5.	Anatomische Einordnung.....	10
1.5.1.	Anatomische Strukturen des Arbeitsgedächtnisses.....	11
1.5.1.1.	Der präfrontale Cortex.....	11
1.5.1.2.	Der parietale Cortex.....	13
1.5.2.	Aufmerksamkeitslenkung und Arbeitsgedächtnis.....	14
1.5.3.	Orte der emotionalen Verarbeitung von Informationen.....	15
1.5.3.1.	Amygdala.....	15
1.5.3.2.	Hippocampus und Gyrus fusiformis.....	17
1.5.3.3.	Anteriorer Gyrus Cinguli.....	18
1.5.4.	Die Inselrinde.....	20
1.5.5.	Emotionale Verarbeitung von Stimuli.....	22
1.6.	Arbeitshypothesen.....	23

2.	Methoden	25
2.1.	Probanden	25
2.2.	Das Paradigma	26
2.3.	Datenaquisition	31
2.3.1.	Reaktionszeiten	31
2.3.1.1.	Messprozedur	31
2.3.1.2.	Datenanalyse.....	31
2.3.2.	fMRT-Daten	32
2.3.2.1.	Messprozedur im Versuchsablauf.....	32
2.3.2.2.	Datenanalyse.....	33
3.	Ergebnisse	36
3.1.	Verhaltensdaten	36
3.2.	fMRT-Daten	39
3.2.1.	Aktivitätszunahme von 0-back auf 2-back-Bedingung	39
3.2.2.	Aktivitätsmuster in Bezug auf emotionale Valenz der Bilder.....	40
3.2.3.	Interaktion von Load und Emotion.....	43
4.	Diskussion	46
4.1.	Effektive Bearbeitung durch das Arbeitsgedächtnis.....	46
4.2.	Reaktion auf emotionale Stimuli.....	47
4.3.	Beeinflussung der Emotion und Aufgabenbewältigung	49
4.4.	Fazit	50
5.	Literaturverzeichnis.....	52

6.	Danksagung.....	62
-----------	------------------------	-----------

Anhang	I
---------------------	----------

A.	Bilder des IAPS.....	I
-----------	-----------------------------	----------

1.)	Neutrale Bilder	I
-----	-----------------------	---

2.)	Negative Bilder	II
-----	-----------------------	----

B.	Presentation-Script.....	III
-----------	---------------------------------	------------

1.)	Teilexperiment 1	III
-----	------------------------	-----

2.)	Teilexperiment 2	XI
-----	------------------------	----

C.	Wertetabellen Verhaltensdaten	XXI
-----------	--	------------

1. Einleitung

1.1. Die Intention der Arbeit

Täglich sind wir zahlreichen Informationseinflüssen der Umwelt ausgesetzt. Zur Bewältigung alltäglicher Aufgaben ist es daher unerlässlich, dass wir diese filtern und bearbeiten, bevor sie in unser Bewusstsein gelangen. Diverse Arbeiten haben sich bereits mit den dabei ablaufenden Vorgängen befasst. Dabei konnte noch nicht endgültig geklärt werden, inwieweit emotionale Stimuli die Bearbeitung von Arbeitsgedächtnisaufgaben beeinflussen. Die vorliegende Arbeit setzt an diesem Punkt an und möchte die Prozesse und Verarbeitungsmechanismen ebendieser Beeinflussung beleuchten. Welche Ressourcen müssen genutzt werden, um eine Arbeitsgedächtnisaufgabe unter gleichzeitiger emotionaler Beeinflussung adäquat bearbeiten zu können?

Der Fortschritt in der MRT-, PET- und EEG-Diagnostik eröffnet seit ca. 20 Jahren eine immer detailliertere Darstellbarkeit cerebraler Prozesse in vivo. Dadurch ist es möglich, die Aktivität von Gehirnarealen am Menschen ohne invasive Maßnahmen und in relativ exakter zeitlicher Korrelation zu beobachten.

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Darstellung der cerebralen Prozesse bei oben beschriebener Fragestellung mittels fMRT-Bildgebung (funktionelle Magnetresonanztomographie, siehe Kapitel 1.2). Es soll ein Paradigma entwickelt und etabliert werden, das es erlaubt, zunächst an gesunden Probanden die entsprechenden Areale darzustellen, um schließlich in weiteren Studien Vergleiche mit psychisch kranken, zum Beispiel depressiven, Patienten herstellen zu können.

1.2. fMRT-Bildgebung und BOLD-Effekt

In den letzten 20 Jahren hat die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) die Neurowissenschaft revolutioniert. Es ist heute möglich, die Gehirnaktivität indirekt über den sogenannten BOLD-Effekt (Blood-Oxygen-Level-Dependent) im Verlauf der Zeit in vivo darstellen zu können.

Ogawa et al. fanden heraus, dass desoxygeniertes Hämoglobin gegenüber oxygeniertem in starken Magnetfeldern paramagnetisch ist. Diese Eigenschaft kann man sich in der fMRT-Methode zunutze machen, um so indirekt aktive Gehirnareale darzustellen, da bei gesteigerter Zellenaktivität mit vermehrtem Umsatz auch der Blutfluss proportional zur Aktivität zunimmt und so eine Veränderung der Signalantwort im magnetischen Feld messbar wird. Für eine Übersicht der physikalischen Grundlagen siehe Huettel S (2004), Ogawa et al. (1990), Vazquez et al. (2006) (51,77-79,100).

1.3. Gedächtnismodelle

Für das Lernen, Denken und Handeln des Menschen ist insbesondere die kurzfristige Bearbeitung und Sortierung der Informationsinhalte der vielen verschiedenen Sinneswahrnehmungen notwendig, bevor sie in das Bewusstsein gelangen. Hierzu wurden Modelle entwickelt, welche diese Prozesse näher darstellen sollen. Als allgemein akzeptierte Darstellungen dieser Gedächtnisleistungen können die Modelle von Atkinson und Shiffrin (6) sowie von Baddeley (8,11) angesehen werden. Diesen ist gemeinsam, dass sie von einem Instrument ausgehen, das fähig ist, Informationen zu

bewerten und zur Bearbeitung kurzzeitig zu speichern. Wird die Aufmerksamkeit auf die Informationen gelegt beziehungsweise werden diese lange genug durch Wiederholung und Einübung im Kurzzeitspeicher gehalten, kann die Information in das Langzeitgedächtnis überführt und damit der längerfristigen Speicherung zugeführt werden.

1.3.1. Das Modell von Atkinson und Shiffrin

1968 entwickelten Atkinson und Shiffrin ein modales Gedächtnismodell (6), um sich eine Vorstellung von Gedächtnisleistungen und der Organisation des Gedächtnisses machen zu können. Dieses geht davon aus, dass eintreffende Informationsinhalte zunächst von einer ersten Instanz, dem sogenannten Sensorischen Register, parallel in auditorischen, haptischen, visuellen etc. Registern verarbeitet und für einige tausendstel Sekunden aufrechterhalten werden. Die wichtigsten Inhalte werden dann in den Kurzzeitspeicher (sogenannten „short-term store“) übertragen, wo sie weitere Verarbeitung erfahren und schließlich durch ständige Wiederholung („rehearsal“) in das Langzeitgedächtnis übergehen können (Abbildung 1.1). Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Information in das Langzeitgedächtnis übertragen wird, erhöht sich mit der Zeit der Wiederholung im Kurzzeitspeicher. Zudem können Gedächtnisinhalte, die bereits abgespeichert wurden, in den Kurzzeitspeicher geladen werden und somit zur Bearbeitung neuer Eindrücke und Informationen verwendet werden. In seltenen Fällen ist auch eine direkte Übertragung vom sensorischen Register in das Langzeitgedächtnis möglich.

Dem Kurzzeitspeicher kommt eine bedeutende Rolle im Hinblick auf die Speicherung der Information nach dem Durchlaufen verschiedener Kontrollprozesse zu. Von den Autoren wird dieser Kurzzeitspeicher bereits „working memory“ genannt. Informationen, die nicht weiter durch Wiederholung im Speicher gehalten werden, werden durch neu eintreffende Informationen überschrieben.

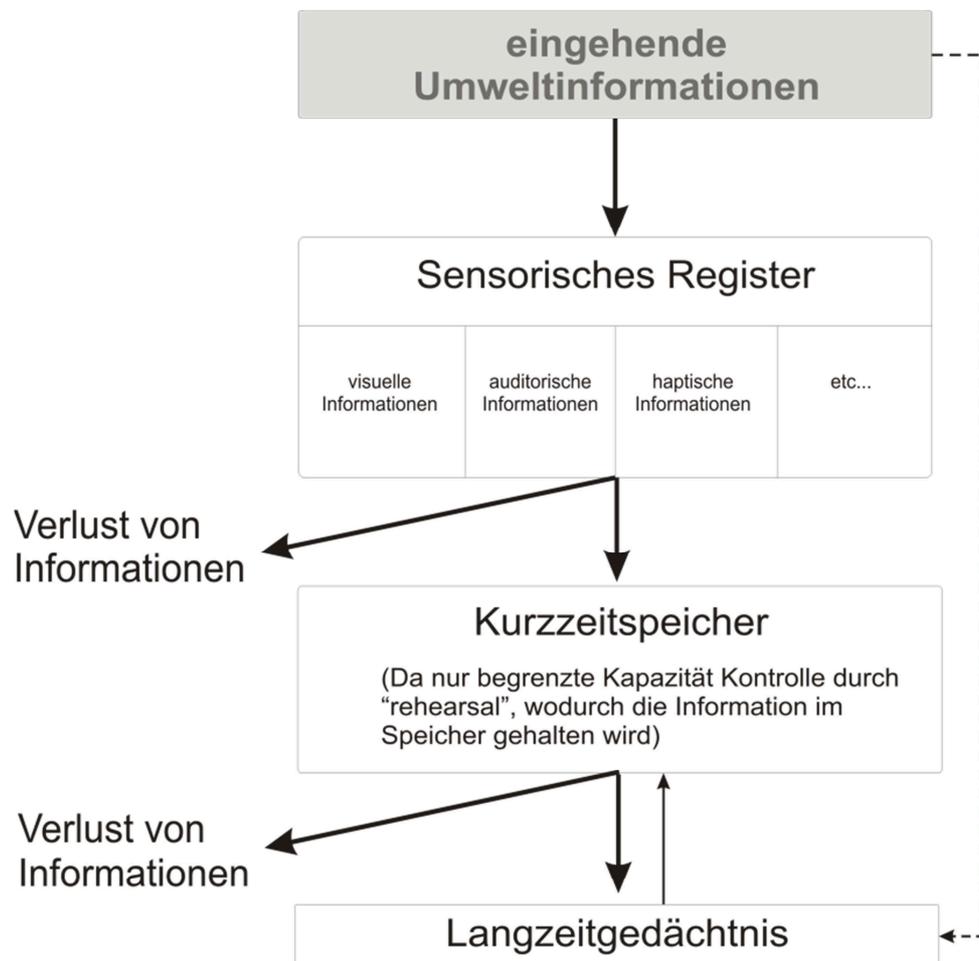


Abbildung 1.1: Modales Gedächtnismodell nach Atkinson und Shiffrin (modifiziert nach Atkinson und Shiffrin (6))

1.3.2. Das Gedächtnismodell nach Baddeley

Ein weiteres, in der psychologischen und psychiatrischen Forschung weit verbreitetes Gedächtnismodell, ist das Modell von Baddeley aus dem Jahr 1974 (8), das er 2000 überarbeitet hat (11) (Abbildung 1.2).

Baddeley geht im Gegensatz zu Atkinson und Shiffrin von einer zentralen Exekutiven aus, welche einzig und allein die Aufgabe des „Vermittelns“ zwischen den verschiedenen Untersystemen hat. Das Aufnehmen und kurzzeitige Verarbeiten übernehmen zwei Untersysteme (vom Autor „slave systems“ genannt): Die „phonologische Schleife“ („phonological loop“) und der „visuell-räumliche Zeichenblock“ („visuo-spatial scratch pad“). Diese beiden Systeme agieren in Zusammenspiel mit der zentralen Exekutiven und vermitteln die Verarbeitung von sprachlichen beziehungsweise räumlich-visuellen Informationsinhalten. Über diese Systeme werden die Informationen in das Langzeitgedächtnis übertragen. Da einige Effekte mit diesem Modell nicht bis zuletzt begründet werden konnten, fügte Badde-

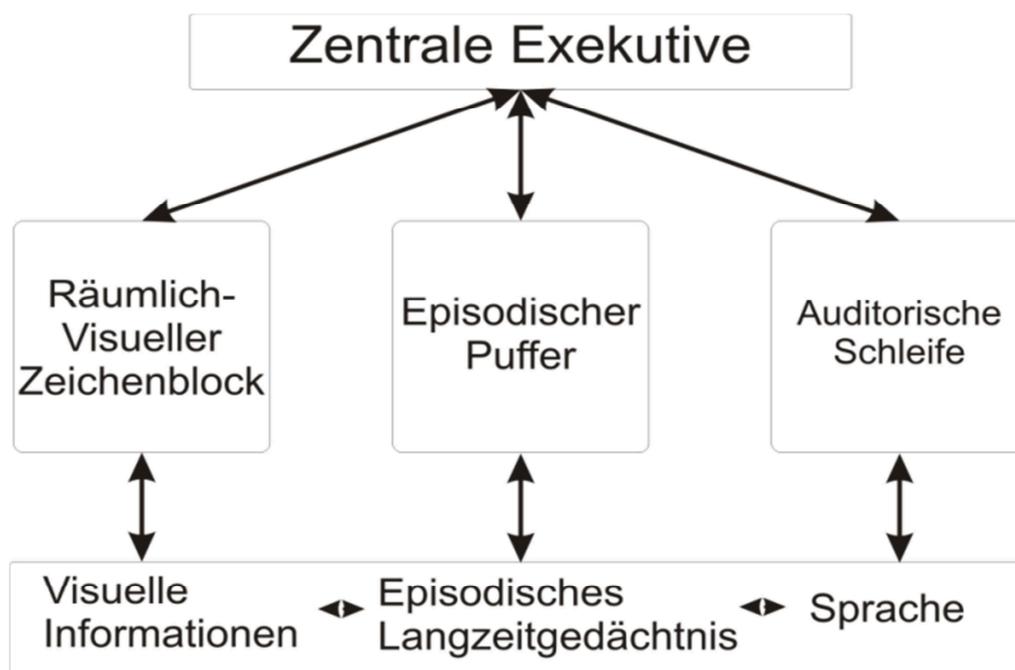


Abbildung 1.2: Gedächtnismodell nach Baddeley (modifiziert nach Baddeley (8, 10, 11))

ley im Jahr 2000 den episodischen Puffer hinzu, der als eine Art Speicherreserve dient.

Der visuell-räumliche Zeichenblock dient nur zur Speicherung komplexer visuell-räumlicher Inhalte, nicht aber zur Reproduktion von Informationen. Letzteres ist Aufgabe der phonologischen Schleife, in welcher auditorisch-sprachliche Inhalte durch Repetition bearbeitet und schließlich gespeichert werden können.

Trotz einer experimentellen Blockade der phonologischen Schleife konnte dennoch eine entsprechende Aufgabe – wenn auch mit Einschränkungen – absolviert werden. Üblicherweise ist davon auszugehen, dass die Blockierung der phonologischen Schleife Auswirkung auf die Bewältigung der Aufgabe hat. Bei einer üblichen auditorischen „Spanne“ von 7 sogenannten „digits“ (69), zum Beispiel verschiedene Ziffern, war unter Blockierung der phonologischen Schleife lediglich eine Reduktion auf 5 „digits“, die behalten werden konnten, zu verzeichnen (die Probanden sollten ein zusammenhangloses Wort wie „the“ ständig wiederholen und sich dabei eine Zahlenreihe merken, die ihnen auf einem Monitor dargeboten wurde) (9). Außerdem konnte gezeigt werden, dass Patienten mit einer beschädigten phonologischen Schleife, die lediglich 1 „digit“ behalten konnten, bei visueller Präsentation bis zu 4 „digits“ behalten konnten (10).

Es stellte sich für Baddeley nun die Frage, wo diese Inhalte gespeichert werden, wenn die entsprechende Gedächtnisstation besetzt oder von vornherein defekt ist. Die zentrale Exekutive konnte nicht in Betracht kommen, da diese in dem Modell keinen eigenen Speicher besitzt, sondern nur der „Moderation“ dient. Also wurde die vierte Komponente, der „episodische Puffer“ von Baddeley hinzugefügt.

1.4. Emotionale Beeinflussung des Menschen

Das menschliche Gehirn kann Emotionen bewusst fühlen, erleben und artikulieren. Sie beeinflussen menschliches Denken und Handeln. Der Begriff „Emotion“ ist durch alltäglichen Sprachgebrauch mit vielen verschiedenen Konnotationen behaftet. Ein emotionales Erlebnis ist für jeden eine individuelle Erfahrung. Das macht es schwierig, ihn exakt zu erfassen. Wer „emotional“ handelt, lässt sich von seinem sogenannten Bauchgefühl leiten. Der Begriff der „emotionalen Reaktion“ wird im alltäglichen Sprachgebrauch oft als Gegensatz zu „rational überlegter Reaktion“ gesehen. Der Rahmen dieser Arbeit erlaubt keine philosophische Darstellung des Begriffs „Emotion“. Ich möchte mich vielmehr auf die Frage beschränken, welche Aufgabe Emotion im Rahmen unseres täglichen Handelns hat und welche anatomischen Strukturen hierfür verantwortlich sind. Ferner beschränke ich mich auf die Darstellung und Wirkung von negativer im Vergleich mit neutraler Emotion. Dazu stütze ich mich auf Definitionen und Versuchsergebnisse von LeDoux sowie von Damasio et al., die ich im Folgenden kurz darstellen möchte.

1.4.1. Emotion nach LeDoux

Nach LeDoux verhilft Emotion dazu, negative Einflüsse auf den Organismus durch entsprechende Verhaltensänderung zu vermeiden (24,63,64). In seiner Arbeit konzentriert sich LeDoux insbesondere auf die Emotion „Angst“. Er konnte in Konditionierungsversuchen zeigen, dass die Darbietung eines emotionsauslösenden Reizes auch ohne Bewusstsein des-

selben zu einer entsprechenden Fluchtreaktion führt. Dem Menschen ist im Gegensatz zu Tieren die bewusste Wahrnehmung von Emotion durch entsprechende Assoziation möglich. Dabei wertet LeDoux Emotion als Bewusstwerden der Körperreaktion auf einen auslösenden Stimulus, so dass es uns möglich wird, das Handeln effektiver zu planen und durchzuführen und nach einem entsprechenden Lernvorgang in Zukunft ähnliche Situationen zu meiden.

Als maßgebliche anatomische Struktur wurden zwei Bahnen beschrieben: Die Reizinformationen gelangen vom Auge zunächst in den visuellen Thalamus und von dort ohne Assoziation mit weiteren Informationen direkt in den lateralen Amygdalakern, von wo aus eine schnelle Weiterverarbeitung und Übermittlung der Information „mögliche Gefahr“ an den Körper erfolgt. Gleichzeitig gelangen die Reizinformationen über den Thalamus in den visuellen Cortex, werden dort weiter verarbeitet und mit weiteren Informationen assoziiert. Nach dem Bewusstwerden der Situation und nach weiterer Verarbeitung wird dann über Bahnen vom visuellen Cortex zur Amygdala je nach Bestätigung oder Verneinung der Gefahr entweder eine Triggerung der Fluchtreaktion oder der Abbruch derselben initiiert.

1.4.2. Emotion nach Damasio

Damasio et al. erforschten emotionale Verhaltensmuster an menschlichen Probanden. Insbesondere der Fall des Phineas Gage gab den Anstoß für ihre Arbeiten. 1848 schoss dem damals 25-jährigen Bahnarbeiter Gage eine 1m lange, 3cm breite Metallstange bei einem Sprengstoffunfall durch

den Schädel (47). Der Eintrittspunkt lag im Bereich der linken Wange. Das Geschoss trat aus dem Kopf mit hoher Geschwindigkeit wieder aus. Es kam zu einer Schädigung des präfrontalen – vor allem des ventromedialen präfrontalen und orbitofrontalen – Cortex. Der Patient war nach kurzzeitiger Bewusstlosigkeit und zweimonatigem Krankenhausaufenthalt als geheilt entlassen worden. Geistig und intellektuell bestanden keine Defizite. Gage reagierte allerdings anders auf Umweltreize als vorher. Er war respektlos gegenüber Mitarbeitern, war ungeduldig und starrsinnig, unberechenbar und emotional schwankend. Er fasste viele Pläne, die er jedoch sogleich wieder aufgab, um neue zu entwickeln, die er für sinnvoller erachtete (30). Gage verlor die Fähigkeit, sozial zu handeln, vorausschauend zu denken und sinnvolle Pläne in die Tat umzusetzen.

Auf dieser Grundlage stellten Damasio et al. infolge weiterer Studien die Hypothese auf, dass im gesunden Gehirn sogenannte „somatische Marker“ existieren (15,29), die eine subjektive Bewertung von Entscheidungen mithilfe zuvor gemachter Erlebnisse und damit in Verbindung stehender Emotionen ermöglichen, indem eine „so-als-ob“-Schleife aus dem somatosensorischen Cortex dem Individuum die möglichen emotionalen Folgen virtuell „vorspielt“ und dadurch eine Entscheidungsfindung möglich wird. Für diesen Prozess ist nach Damasio et al. der medioventrale präfrontale Cortex von besonderer Bedeutung. Wie an dem oben genannten Beispiel des Phineas Gage dargestellt, können die Patienten mit Schädigungen in diesem Bereich keine gesteuerten emotionalen Handlungen nachvollziehen und haben entscheidende Probleme bei der Entscheidungsfindung und Handlungsplanung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zuvor gemachte Erfahrungen mit ihren jeweiligen emotionalen Färbungen eine große Bedeutung für nachfolgende Entscheidungen haben. Emotion steuert also unser Handeln so, dass wir lernen, Ziele zu erreichen und unangenehmen und schädlichen Einflüssen aus dem Weg zu gehen.

1.5. Anatomische Einordnung

Auch wenn eine starre Einteilung in streng begrenzte Areale schwierig erscheint, so kann doch eine grobe Zuordnung von Gehirnleistungen zu bestimmten Arealen auf Grund von Ergebnissen bisheriger Studien erfolgen. Zunächst werde ich auf die Areale eingehen, die mit der Bearbeitung von Arbeitsgedächtnisaufgaben in Verbindung stehen, um daran anschließend auf die emotionalen Verarbeitungszentren zu sprechen zu kommen.

Eine zentrale Rolle spielt der präfrontale Cortex., der nach Peter Thier „der menschlichste Teil des Gehirns“ ist, da er die größte relative Ausdehnung beim Menschen erreicht (vgl. (52), Seite 472) und zudem für die menschlichsten aller Gehirnleistungen, dem bewussten Denken und Bewerten von Handlungen, nötig ist. Hier befinden sich größtenteils die Zentren für die Handlungsplanung und -durchführung. Es bestehen zahlreiche Verbindungen zu sämtlichen Arealen des Gehirns.

1.5.1. Anatomische Strukturen des Arbeitsgedächtnisses

1.5.1.1. *Der präfrontale Cortex*

Der Frontallappen des Menschen ist der Teil des Gehirns, welcher frontal des Sulcus centralis liegt. Er kann in weitere Areale unterteilt werden. Im hinteren Bereich des Frontallappens liegen der primäre motorische Cortex (Brodmann Area (BA) 4, zur Einteilung der BA siehe (20)) und der prämotorische Cortex (BA 6, 8, 8A). In der Entwicklungsgeschichte hat sich beim Menschen das laterale prämotorische Areal zum Broca-Zentrum (BA 44) entwickelt (vgl. (52), Seite 472), das der motorischen Sprachproduktion dient.

Weiter frontal findet sich der sogenannte präfrontale Cortex, welcher vor allem dadurch gekennzeichnet ist, dass er neben Projektionen aus allen Teilen des Neocortex und des Hirnstamms auch Bahnen aus dem Nucleus dorsalis medialis thalami erhält. Da dieser Nucleus ausschließlich in den präfrontalen Cortex projiziert, kann dies als zytoarchitektonisches Merkmal dieser Region genommen werden (88).

Der präfrontale Cortex lässt sich weiter unterteilen in einen dorsolateralen präfrontalen Cortex (DLPFC, BA 9 und 46), von einigen Autoren auch einfach nur als dorsolateraler frontaler Cortex (DLFC) bezeichnet, der über dem Sulcus frontalis inferior liegt, einen unter dem Sulcus frontalis inferior liegenden ventrolateralen (prä)frontalen Cortex (VLPFC oder VLFC, BA 44, 45, 47) und einen anterioren (prä)frontalen Cortex (APFC oder AFC, BA 10), welcher vor einer vertikalen Linie am Ende des Sulcus frontalis inferior liegt (36). Ein kleiner Teil des inferioren Cortex' um BA 11 wird teilweise

aufgrund seiner Beziehung zur Orbita des Auges auch orbitofrontaler Cortex (OFC) genannt.

Den präfrontalen Cortex als alleinigen Ort bestimmter Gehirnleistungen zu bezeichnen, würde der Komplexität der beteiligten Strukturen nicht gerecht. Fuster et al. fanden weitreichende Überschneidungen (40-42) und postulierten, dass es keine festen Zentren, sondern eine Vielzahl von Netzwerken, sogenannte „cognits“ über den gesamten Cortex verteilt gibt. Für die Bewertung, Bearbeitung und Modulierung von Sinneseindrücken erscheint der präfrontale Cortex jedoch hauptsächlich Ort dieses Netzwerkes zu sein.

Dem präfrontalen Cortex kommen im Zusammenspiel mit verschiedenen anderen Strukturen weitere zentrale Rollen in Bezug auf die Steuerung und Planung von Handlungen und deren Folgen zu. So ist er wichtig für die Bearbeitung von Arbeitsgedächtnisaufgaben (19), involviert in der Entscheidungsfindung (15), in der Verarbeitung und Bewertung von negativen Emotionen (44) und schließlich beteiligt an der Verarbeitung von Belohnung und Bestrafung (57). Hierbei scheint es eine räumliche Trennung von Arealen zu geben, die bestimmte Funktionen erfüllen. Die detaillierte Darstellung aller Funktionen kann die vorliegende Arbeit nicht leisten. Es soll jedoch auf die in Zusammenhang mit der Aufgabenstellung interessanten Eigenschaften eingegangen werden. In der emotionalen Verarbeitung ist vor allem der orbitofrontale Cortex beteiligt (107) während in Bezug auf „exekutive“ kognitive Funktionen vor allem der dorsolaterale Präfrontalcortex (41) maßgeblich ist.

Durch enge Verbindungen des orbitofrontalen Cortex' mit der Amygdala kann eine direkte Verarbeitung von emotionalen Informationsinhalten erfolgen. Außerdem kann über entsprechende korrespondierende reziproke Bahnen eine Regulation der Reaktionsmuster des Körpers erfolgen. Über direkte Verbindungen vom orbitofrontalen Cortex zum Hypothalamus und Hirnstamm und indirekte Projektionen über die Amygdala zum Hypothalamus und dem Hirnstamm kann Einfluss auf das vegetative System des Körpers genommen und so das subjektive Erleben der Emotion beeinflusst werden (87).

1.5.1.2. Der parietale Cortex

Der Lobus parietalis ist das Cortexareal, welches rostral vom Sulcus centralis und dorsal vom Sulcus parietooccipitalis begrenzt wird (vgl. (3), Seite 964). Die genaue Funktion des parietalen Cortex' im Rahmen der Arbeitsgedächtnis-Verarbeitung konnte bislang nicht eindeutig geklärt werden. Dass aber eine Relevanz für das Arbeitsgedächtnis besteht, zeigen zahlreiche Studien, die eine entsprechende Aktivierung in diesem Bereich festgestellt haben. Einige Autoren konnten zeigen, dass eine Aktivierung im Bereich des parietalen Cortex mit der Aufmerksamkeitslenkung und gleichzeitig erfolgreichen Bearbeitung einer Arbeitsgedächtnisaufgabe zusammenhängt (17,18,58,72).

Todd et al. postulierten, dass vor allem der posteriore parietale Cortex Ort der vorübergehenden Speicherung im Rahmen der Arbeitsgedächtnisleistung ist, dessen Kapazität beschränkt und von Individuum zu Individuum

unterschiedlich ist (96,97). Nach Todd et al. könnte hier ein neuroanatomisches Korrelat für Baddeleys „Episodischen Puffer“ und die „zentrale Exekutive“ gesehen werden.

Der Lobulus parietalis superior scheint nach Olson et al. und Wager et al. an der räumlichen Arbeitsgedächtnisleistung beteiligt zu sein (80,101), wohingegen Regionen um den infraparietalen Sulcus und den mehr inferioren Anteilen des posterioren Parietalcortex vor allem in der rechten Hemisphäre eine Rolle bei der Objekt-Wiedererkennung haben. Entsprechend könnte hier das anatomische Korrelat zum visuell-räumlichen Zeichenblock nach Baddeley gesehen werden.

1.5.2. Aufmerksamkeitslenkung und Arbeitsgedächtnis

Die Unterdrückung von unangebrachten Handlungen ist eine für den Alltag maßgebliche Eigenschaft. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit hatten die Probanden die Aufgabe, durch Tastendruck anzuzeigen, wenn sie erkannt hatten, dass sich ein Bild wiederholt. Dazu ist eine entsprechende Handlungsplanung und -überwachung nötig. Sie mussten den Impuls „Taste drücken“ bei entsprechenden „falschen“ Bildern unterdrücken und sich auf die der Aufgabe nach „richtigen“ Bilder konzentrieren, um erfolgreich zu sein. Gleichzeitig mussten sie die betrachteten Bilder verarbeiten und im Kurzzeitgedächtnis halten.

Studien konnten bisher zeigen, dass vor allem dorsolateraler Präfrontalcortex, ventrolateraler Präfrontalcortex, anteriorer Gyrus cinguli (von diesem besonders die dorsale Division), Lobulus parietalis inferior und supe-

rior und Inselcortex bei der bewussten Unterdrückung einer Handlung beteiligt sind (73,81). Ferner ist das entsprechende Areal des Prämotorischen Cortex von Bedeutung (102). Der laterale präfrontale Cortex ist neben der Unterdrückung von Reaktionen auch für die Bearbeitung von Arbeitsgedächtnisaufgaben verantwortlich, was die enge Verknüpfung dieser beiden Gehirnleistungen verdeutlicht (99).

Es wurden außerdem im Zusammenhang mit Arbeitsgedächtnisaufgaben Aktivierungen im Kleinhirn gezeigt (81). So ist also ein großes Netzwerk von Gehirnarealen notwendig, um die entsprechenden Ressourcen zur Bearbeitung einer Arbeitsgedächtnis-Aufgabe zur Verfügung zu stellen. Die schon beschriebene Vernetzung verschiedener Gehirnleistungen in größeren Einheiten, wie sie von Fuster et al. in Bezug auf den präfrontalen Cortex als sogenannte „cognits“ beschrieben wird (vgl. Kapitel 1.5.1.1) wird in diesem Zusammenhang deutlich.

1.5.3. Orte der emotionalen Verarbeitung von Informationen

1.5.3.1. *Amygdala*

Wie bereits beschrieben, soll Emotion dazu verhelfen, die Handlungen eines Individuums dahin zu lenken, erfolgreich zu sein und bedrohliche Situationen zu meiden. Beim Erkennen und Verarbeiten von vor allem mit negativen Emotionen verbundenen Reizen spielt die Amygdala eine zentrale Rolle (31). Diese liegt caudal der Seitenventrikel im ventralen Teil des Lobus temporalis direkt vor dem Schwanz des Nucleus caudatus. Einige Studien haben sich besonders mit der Reaktion auf emotionale Gesichtsaus-

drücke auseinander gesetzt, die einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf menschliche Handlungen haben. So konnte gezeigt werden, dass bei beidseitiger Beschädigung der Amygdala das Erkennen von negativen Gesichtsausdrücken nicht möglich, beziehungsweise eingeschränkt ist. (1,2,4,43)

Die Amygdala ist zudem für die Verarbeitung von allgemeinen negativen Stimuli und Vermittlung von Fluchtreflexen zuständig. Klüver et al. konnten zeigen, dass Affen nach der Entfernung des parietalen Lobus mit der Amygdala die Fähigkeit verlieren, auf gefährliche Stimuli mit Angst zu reagieren, sie waren sogar darauf angewiesen, bedrohliche Stimuli wie Schlangen durch Anfassen zu erkennen. (55).

Einer Patientin mit dem Pseudonym S. M., die an einer beidseitigen Amygdalaläsion leidet, ist es nicht möglich, Angst zu empfinden, weil ihr die Vermittlung eines entsprechenden Status durch die Amygdala fehlt (35). Feinstein et al. postulierten hieraus, dass ein Angstepfinden ohne funktionierende Amygdala wegen der fehlenden Emotionsinitiierung unmöglich ist. Das korrekte Benennen von Angst oder anderen negativen Emotionen wie Ekel oder Trauer ist S. M. möglich. Das Erleben jedoch scheint gestört. Die zahlreichen Verbindungen der Amygdala mit umgebenden Strukturen wie dem Thalamus, dem Hypothalamus und dem frontalen Cortex lassen die emotionalen Erlebnisse erst in körperliche Reaktionen münden (32).

1.5.3.2. *Hippocampus und Gyrus fusiformis*

Der Hippocampus, beziehungsweise die Hippocampusformation besteht aus Gyrus dentatus, Cornu ammonis und Subiculum. Einige Autoren rechnen auch die Area entorhinalis (BA 28) des Gyrus parahippocampalis zur Hippocampusformation. Diese liegt medial im Lobus temporalis. Das Ammonshorn erstreckt sich entlang des lateralen Ventrikels. Auf der medialen Seite des Cornu ammonis befindet sich der Gyrus dentatus. Die Area entorhinalis des Gyrus parahippocampalis steht über das Subiculum im engen Kontakt zum Hippocampus und bildet die anatomische Schaltstelle sämtlicher sensorischer Informationen zum Hippocampus (vgl. (3), Seite 1105-1109)

Als Teil des limbischen Systems ist der Hippocampus vor allem an der Gedächtnisbildung beteiligt (14). Durch die Verarbeitung von emotionalen Informationsinhalten hat er unter anderem Einfluss auf das implizite Gedächtnis. Dies ist der Teil des Gedächtnisses, der mit individuell erlernten, jedoch meist unbewusst ablaufenden Fertigkeiten wie Radfahren oder mit erlernten Reaktionsmustern auf Ereignisse zusammenhängt. Hierunter fallen auch erlernte Reaktionsmuster auf unbewusst wahrgenommene Inhalte – sogenanntes „Priming“ (21). Daneben ist der Hippocampus für die räumliche Orientierung und „Navigation“ verantwortlich und wichtig für die Erinnerung an bekannte Objekte und Umgebungen (28,95).

Brooks et al. konnten in ihrem Review belegen, dass eine Verarbeitung negativer Gesichtsausdrücke unbewusst abläuft. Sie erklären dies damit, dass es entwicklungsgeschichtlich für die persönliche Reaktion auf Gesichtsausdrücke von enormen Vorteil ist, wenn man gemachte Erlebnisse

mit dem aktuellen Gesichtsausdruck des Gegenübers verbinden kann und so eventuell schlechte Erfahrungen durch Anpassen der eigenen Handlung vermeidet oder der Person direkt aus dem Weg geht (21).

Als weitere Struktur der Verarbeitung von negativen Emotionen ist der Gyrus fusiformis zu nennen. Dieser liegt im Lobus temporalis und wird basal-lateral vom Gyrus temporalis inferior und medial von der Fissura occipitotemporalis medialis begrenzt. Als Teil des visuellen Systems ist er vor allem bei der Verarbeitung von Gesichtern und zur Wiedererkennung von Objekten aktiv. So konnten Said et al. beim Erkennen negativer Gesichtsausdrücke eine Beteiligung dieser Struktur nachweisen (89). Aber auch die generelle Objekterkennung und Erinnerung an bereits abgespeicherte Objekte gehört zu den Aufgaben des Gyrus fusiformis (92,105).

1.5.3.3. Anteriorer Gyrus Cinguli

Das anteriore Cingulum (ACC), beziehungsweise der anteriore Gyrus cinguli, ist eine Cortexstruktur, die antero-medial um das Corpus callosum zieht. Aufgrund der engen Beziehungen zum Motokortex sowie der Amygdala und autonomen Kerngebieten wird er auch als „anteriorer exekutiver Cortex“ bezeichnet (33).

Untersuchungen haben gezeigt, dass eine räumliche Unterteilung in eine affektive und eine kognitive Division besteht (22,23,33,103). Der rostral-ventrale Teil des anterioren Gyrus cinguli (bestehend aus BA 25, 33 und den rostralen Anteilen der BA 24) wird als „affektive Division“ bezeichnet,

wohingegen die dorsalen Anteile (bestehend aus den kaudalen Areae 24 und 32) „kognitive Division“ genannt werden.

Das anteriore mittlere Cingulum wird von einigen Autoren synonym zum dorsalen anterioren Cingulum verwendet. So sprechen Schackmann et al. von einem überlappenden System des dorsalen Cingulums, das zur Verarbeitung von negativem Affekt, Schmerz und kognitiver Kontrolle aktiv ist (91), während Kolling et al. diese Eigenschaft dem dorsalen anterioren Cingulum zuschreiben (56).

Die Verbindungsbahnen der kognitiven Division ziehen zu lateralem Präfrontalcortex, parietalem Cortex, prämotorischem und supplementär motorischem Cortex, wohingegen die meisten Bahnen der affektiven Division zu entsprechenden Arealen der affektiven Reizverarbeitung wie unter anderem Amygdala, anteriorem Inselortex, Hippocampus, Hypothalamus und orbitofrontalem Cortex ziehen. Eine direkte Reizantwort kann durch die Efferenzen der anterioren Division des anterioren Cingulums zu den autonomen und endokrinen Körpersystemen ausgelöst werden (22,23).

Im Zusammenspiel beider Divisionen erfolgt eine Aufmerksamkeitslenkung auf emotionale Stimuli mit Beurteilung der jeweiligen Relevanz und Regulation der Reizantwort (22,27,33). Über enge Verbindungen zu Teilen des fronto-parietalen Netzwerks besteht eine entsprechende Rolle in der kognitiven Verarbeitung von Arbeitsgedächtnisaufgaben.

1.5.4. Die Inselrinde

Der Inselcortex wird von Frontal-, Parietal- und Temporalcortex mit sogenannten „Opercula“ überlagert. Auf der Innenseite des Operculum temporale liegen, von außen unsichtbar, die Heschl-Querwindungen (vgl. (3), Seite 962-963).

Schon 1982 fanden Mesulam und Mufson in der Inselrinde des Affen topographisch angeordnete Efferenzen und Afferenzen zu und von zahlreichen Cortexarealen. Hierbei stellte sich heraus, dass eine topographische Unterteilung in anteriore und posteriore Inselrinde existiert. Während die anteriore Inselrinde für die Vermittlung von sensorischen, somatischen und skeletomotorischen Funktionen verantwortlich ist, ist die posteriore Inselrinde für die Vermittlung von gustatorischen, olfaktorischen und viszeralen Reizen verantwortlich. Über die Verbindung der Inselrinde mit der Amygdala können so sensorische wie auditorische, gustatorische, olfaktorische und viszerale Reize dem limbischen System zugeführt werden und zu Lernprozessen führen (68).

Weitere Forschungen stellten die Inselrinde als Verbindungsort von sensorischen, somatischen, interozeptiven, kognitiven und emotionalen Prozessen heraus. Neben engen Verbindungen innerhalb der Inselrinde selbst begünstigt die anatomische Lage dieses Organs zu mehreren neuronalen Bahnen die Projektion in nahezu alle Assoziationscortices. Vor allem sind Projektionen zu der Amygdala und den Basalganglien, Lobus parietalis, Lobus frontalis mit orbitofrontalem Cortex, frontalem Operculum, lateralem prämotorischen Cortex, sekundäre somatosensorische Areale, Lobus temporalis und eine Vielzahl von Verbindungen zum Gyrus cinguli gefun-

den worden. Aufgrund der engen Verbindungen wird die Inselrinde auch als „limbischer Integrationscortex“ bezeichnet (7,54). Durch Vermittlung der eigenen Körperwahrnehmung und durch Inputs aus senso- und somatosensorischen Arealen kann ein Bild der Umwelt und der Wirkung auf den eigenen Körper geformt und transportiert werden.

Daneben bildet die Inselrinde eine wichtige Schnittstelle, um durch Zusammenführung der Sinnesinformationen auch Emotionen anderer Personen wahrnehmen zu können. Sie ist damit (vor allem der anteriore Teil) wichtiges Zentrum für die Bildung von sozialem Verhalten, indem durch Bewusstwerden des emotionalen Status eines Anderen das eigene Handeln hieran ausgerichtet werden kann (59,93,104).

Eine weitere wichtige Aufgabe der Inselrinde ist die Koordination und Evaluation von Lösungsstrategien für Aufgaben mit bestimmten Vorgaben, sowie die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Stimuli. Entsprechende Verbindungen mit lateralem Präfrontalcortex und anteriorem Gyrus cinguli unterstreichen diese kognitive Funktion der Inselrinde (34,74).

Nach Menon und Uddin hat die Inselrinde vier „Hauptaufgaben“: 1. Detektion von besonders wichtigen Stimuli, 2. Vermitteln und Verschalten zwischen größeren Gehirnnetzwerken, um Aufmerksamkeits- und Working-Memory-Ressourcen zu aktivieren, wenn ein entsprechender Stimulus ausgemacht wurde, 3. Interaktion von anteriorer und posteriorer Inselrinde zur Modulation von autonomen Reaktionen auf den detektierten Stimulus und schließlich 4. Erleichterung der motorischen Antwort durch enge Verbindung zum anterioren Gyrus cinguli (67).

Der Inselcortex ist also neben der Verarbeitung von gustatorischen, olfaktorischen und auditiven Reizen maßgeblich an emotionalem Lernen und Reagieren wie auch an der Entwicklung von Lösungsansätzen beteiligt und unterhält enge Verbindungen zu entsprechenden Cortexarealen.

1.5.5. Emotionale Verarbeitung von Stimuli

Die Amygdala als zentrales Steuerungselement des emotionalen Erlebens ist von anderen Strukturen des Gehirns beeinflusst und somit abhängig von eingehenden Informationen und regulierenden Impulsen. Sie ist in der Lage, die bewusste und unbewusste Reaktion auf Umweltreize zu vermitteln.

Besonders die Ergebnisse von Studien, die sich mit dem Vergleich von depressiven Patienten im Vergleich mit gesunden Kontrollprobanden beschäftigen, zeigen eine vermehrte Amygdalaaktivität bei depressiven Patienten. Dies wird von Mayberg et al. darauf zurückgeführt, dass eine wesentliche Steuerung der emotionalen Wahrnehmung und Vermittlung von Strategien zur Unterdrückung von Emotion durch kortikale Regionen – vor allem dem dorsolateralen Präfrontalcortex und dem dorsalen anterioren Gyrus cinguli – bei depressiven Patienten ineffektiv verlaufen. Während die Aktivität von limbischen Regionen wie Amygdala, Inselcortex und Hippocampus steigt, fanden Mayberg et al. eine Abnahme der Aktivität von dorsolateralem Präfrontalcortex und anteriorem Gyrus cinguli (66). Ein gesunder Mensch versucht Strategien zu entwickeln, mit denen die negative Emotion objektiviert und das Subjekt sich durch Neubewertung der

Emotion von dieser distanzieren kann (49,50). Durch diese kognitive Beeinflussung der Emotion gelingt es dem Subjekt, die emotionale Reaktion des Körpers zu minimieren.

1.6. Arbeitshypothesen

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Studien und ihrer Erkenntnisse, lassen sich drei Arbeitshypothesen entwickeln:

1.) Wie in vorherigen Studien mehrfach gezeigt werden konnte, ist auch in der vorliegenden Arbeit eine Aktivierung des typischen Netzwerks aus fronto-parietalen Arealen als Ausdruck der Aktivierungsmuster im Rahmen von Arbeitsgedächtnisaufgaben zu erwarten (81,90).

2.) Ferner ist als Reaktion auf die gezeigten negativen Bilder eine Aktivierung der Gehirnstrukturen wahrscheinlich, welche an der Wahrnehmung und Verarbeitung von emotionalen Informationen und der Regulation von körperlichen Reaktionen beteiligt sind, vornehmlich also Amygdala, Hippocampus, Gyrus fusiformis, Anteriorer Gyrus cinguli, Inselcortex, medialer Präfrontalcortex mit orbitofrontalem Cortex und temporaler Cortex (12,13,38,82,83).

3.) Da bereits gezeigt wurde, dass die kognitive Beeinflussung von emotionalen Stimuli durch Areale des präfrontalen und limbischen Systems (von Mayberg als „limbisch-kortikale Regulation“ bezeichnet (66)) erfolgt, ist davon auszugehen, dass vor allem diese Regionen in ihrer Aktivität gesteigert sind. Es ist für die erfolgreiche Bearbeitung der Arbeitsgedächtnisauf-

gabe eine Unterdrückung beziehungsweise Modulation von emotionaler Reaktion erforderlich. Dies wird insbesondere durch den Inselcortex geleistet (7,54,67). Mit steigendem Schwierigkeitsgrad ist eine zunehmende Rekrutierung dieser Areale notwendig, um auch weiterhin erfolgreich zu sein. Neben einer Aktivierung des Inselcortex ist zu erwarten, dass anteriorer Gyrus cinguli, temporaler Cortex, Prämotorcortex, Motocortex und Lobus parietalis aktiviert werden (22,27,33,53,73,102).

2. Methoden

2.1. Probanden

Um an der Studie teilnehmen zu können, mussten die Probanden folgende Kriterien erfüllen, die vor Einschluss in die Studie von geschulten Mitarbeitern der IZKF-Gruppe erfragt wurden:

- Rechtshändigkeit
- MRT-Tauglichkeit
- Keine psychiatrischen Vorerkrankungen in der Anamnese des Probanden und dessen direkter Familie
- Körperliche Gesundheit und freie Suchtanamnese
- Alter zwischen 18 und 65 Jahren
- Ausreichende Sprachkenntnisse
- Normaler Visus beziehungsweise korrigierter Visus bei Fehlsichtigkeit

Für die Messungen stellten sich insgesamt 31 gesunde, rechtshändige Probanden zur Verfügung, davon 15 weibliche und 16 männliche Personen mit einem Durchschnittsalter von 30,5 Jahren (22 bis 64 Jahre). Akquiriert wurden die genannten Personen über Anzeigen in örtlichen Zeitschriften und über persönliche Einladungen auf dem Uni-Campus sowie im Freundeskreis. Alle Probanden wurden durch psychiatrische Tests (Hamilton Depression Scale (45), Hamilton Anxiety Scale (46), Young Mania Rating Scale (106), Beck Depression Inventory (16), Snaith-Hamilton-Pleasure-Scale (39), State-Trait Anxiety Inventory (94) und Montgomery-Asberg-Depression-Rating-Scale (70)) auf ihre psychische Gesundheit untersucht. Die Rechtshändigkeit wurde mit dem Handness Questionnaire von Racz-

kowski et al. (86) überprüft. Eine Sucht- und körperliche Eigenanamnese wurde ebenfalls durchgeführt.

2.2. Das Paradigma

Lang et al. haben mit dem International Affective Picture System (IAPS) (60) eine einheitliche Sammlung an emotionalen Bildern für die Erforschung von Emotion und Aufmerksamkeit erarbeitet. In drei „emotionalen Dimensionen“ wurden die Bilder von Probanden bewertet. Neben den beiden primären Dimensionen der „affective valence“ genannten affektiven Wertigkeit (von angenehm bis unangenehm) und der „arousal“ genannten von den Bildern ausgelösten inneren Erregung (von ruhig bis aufgeregt) wurde eine weitere Dimension „dominance“ genannt. Mit letzterer Dimension wurde gemessen, ob die Probanden sich von dem dargebotenen Bild dominiert oder sich überlegen fühlten.

Die Skalen der genannten Dimensionen reichen von 1 bis 9, wobei 1 für geringe Bewertung der jeweiligen Dimension (unangenehm, geringe Erregung und geringe Dominanz) und 9 für entsprechend hohe Bewertung (sehr angenehm, hohe Erregung und hohe Dominanz des Bildes) stehen.

Dem IAPS wurden verschiedene Bilder (Gesichter, Gegenstände, Situationen, Naturaufnahmen) entnommen (siehe Anhang A). Bei der Auswahl der Bilder wurde sich auf negative Bilder mit niedrigem Valence-Wert (dieser betrug im Durchschnitt $V_{\text{negativ}} = 2,63$) und neutralen Bildern mit entsprechend neutralem Valence-Wert (im Durchschnitt $V_{\text{neutral}} = 5,25$) beschränkt. Da negative Bilder von sich aus eine höhere Erregung verursa-

chen, war es nicht möglich die Variable der Arousal-Werte (A) für beide Bedingungen absolut einheitlich zu wählen. So liegen die Arousal-Werte für negative Bilder durchschnittlich bei $A_{\text{negativ}}=5,36$ und für neutrale Bilder bei $A_{\text{neutral}}=3,42$.

Das vorliegende Paradigma wurde als „n-back“-task im Blockdesign konstruiert und enthält pseudorandomisiert insgesamt zwölf Blöcke mit je zwölf Bildern. Sechs Blöcke enthalten ausschließlich Bilder negativer, sechs weitere Blöcke ausschließlich Bilder neutraler Valenz. Weiterhin sind je zwei Blöcke pro negativer beziehungsweise neutraler Valenz einer Schwierigkeitsstufe zugeordnet (0-back, 1-back, 2-back). Der Einfachheit halber wurden die Blöcke mit Kürzeln beschriftet (siehe Tabelle 2.1). Die pseudorandomisierte Zusammenstellung des Versuchsablaufes ist Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2 zu entnehmen.

Tabelle 2.1 Beschriftung der Messeinheiten/Blöcke

Beschriftung	Bedeutung
0-back-1-neu	0-back-task, 1. Block, neutrale Bilder
0-back-2-neu	0-back-task, 2. Block, neutrale Bilder
0-back-1-neg	0-back-task, 1. Block, negative Bilder
0-back-2-neg	0-back-task, 2. Block, negative Bilder
1-back-1-neu	1-back-task, 1. Block, neutrale Bilder
1-back-2-neu	1-back-task, 2. Block, neutrale Bilder
1-back-1-neg	1-back-task, 1. Block, negative Bilder
1-back-2-neg	1-back-task, 2. Block, negative Bilder
2-back-1-neu	2-back-task, 1. Block, neutrale Bilder
2-back-2-neu	2-back-task, 2. Block, neutrale Bilder
2-back-1-neg	2-back-task, 1. Block, negative Bilder
2-back-2-neg	2-back-task, 2. Block, negative Bilder

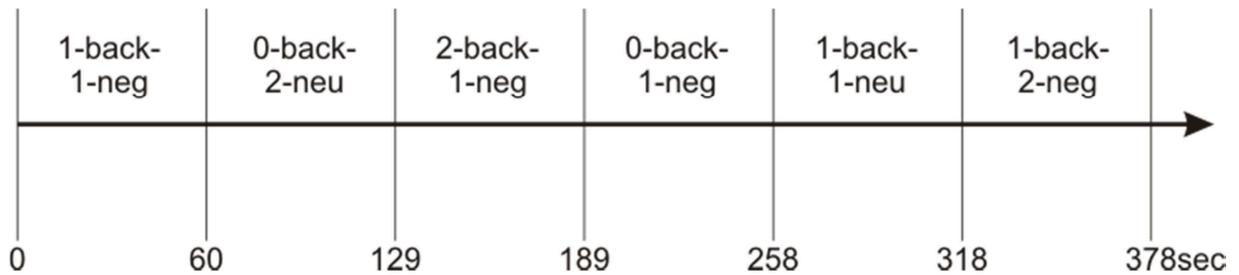


Abbildung 2.1 Anordnung der Aufgabenblöcke der 1. Messreihe



Abbildung 2.2 Anordnung der Aufgabenblöcke der 2. Messreihe

Die Probanden sollten entscheiden, ob sich das gezeigte Bild gemäß der jeweiligen Vorgabe wiederholt oder nicht. Zu diesem Zweck wurde ihnen eine MRT-taugliche Responsebox in die rechte Hand gegeben.

Für die Bedingung „0-back“ wurde ein Bild zu Beginn gezeigt. Die Aufgabe bestand darin, bei Bildern, die nicht dem zuvor gezeigten glichen, die rechte Taste zu betätigen. Die linke Taste der Responsebox war zu drücken, wenn genau dieses Bild innerhalb der gezeigten zwölf Bilder dargeboten wurde (Abbildung 2.3). Für die Bedingung „1-back“ sollten die Probanden bewerten, ob das gezeigte Bild dasselbe ist, wie das zuvor präsentierte Bild (Abbildung 2.4). In der „2-back“-Bedingung lautete die Aufgabe entsprechend, zu entscheiden, ob das gezeigte Bild zwei Bilder zuvor bereits dargeboten wurde (Abbildung 2.5).

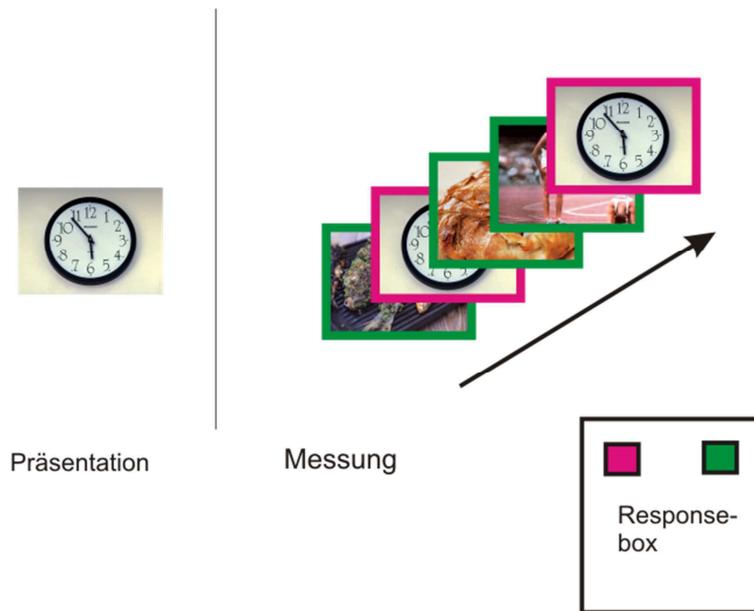


Abbildung 2.3: 0-back-Task. Ein zuvor gezeigtes Bild sollte in der Folge der zwölf danach gezeigten Bilder wieder erkannt werden. Bei Demonstration des zuvor gezeigten Bildes war die linke, ansonsten die rechte Taste der Responsebox zu drücken.

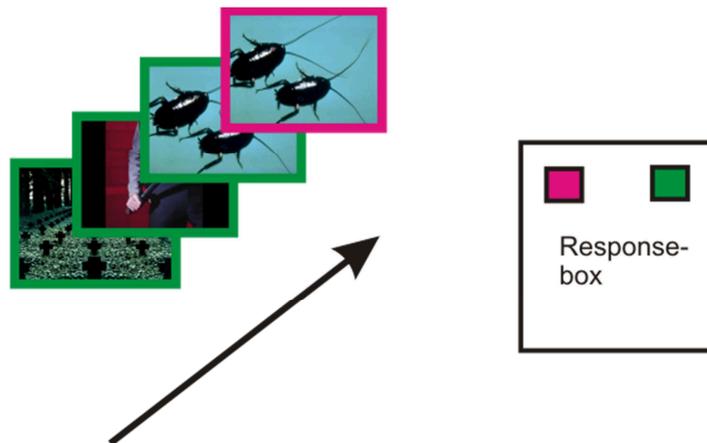


Abbildung 2.4: 1-back-Task. Auf jedes neue Bild sollte die rechte Taste der Responsebox gedrückt werden. Bei Bildwiederholungen war die linke Taste zu drücken.

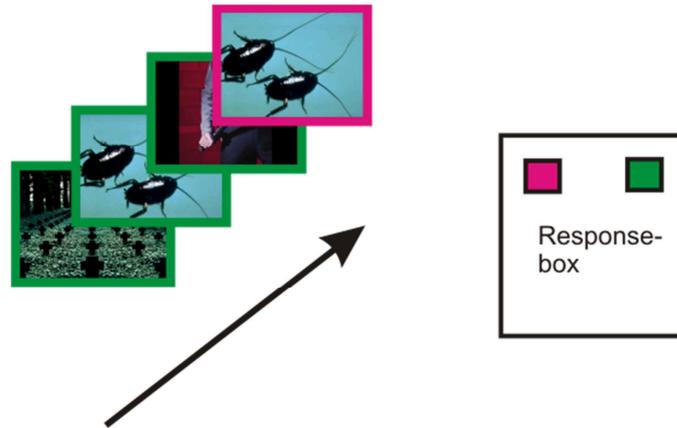


Abbildung 2.5: 2-back-task. Bei jedem Bild, das bereits zwei Bilder zuvor gezeigt wurde, sollte die linke Taste der Responsebox, andernfalls die rechte gedrückt werden.

Die Bilder wurden mithilfe des Programms Presentation® (Neurobehavioral Systems, Inc.; Albany, CA, USA) über einen spiegelnden Bildschirm am Kopfteil der MRT-Spule präsentiert. Um die Konzentration und Compliance des Probanden zu erhalten, wurden die Messungen in zwei voneinander getrennten Einheiten mit je sechs Blöcken durchgeführt.

Vor den eigentlichen Messungen wurde ein Probedurchlauf mit nicht im Versuch vorkommenden Bildern durchgeführt, damit sichergestellt werden konnte, dass die Aufgabe von den Probanden sicher verstanden wurde.

2.3. Datenaquisition

2.3.1. Reaktionszeiten

2.3.1.1. Messprozedur

Mittels einer MRT-tauglichen Responsebox, welche dem Probanden in die rechte Hand gegeben wurde, sollte – dem Paradigma entsprechend – so schnell wie möglich bewertet werden, ob es sich bei dem jeweils gezeigten Bild um eine Wiederholung handelt oder nicht. Mittels des Projektionsprogramms Presentation® wurden parallel auch die Reaktionszeiten sowie die gegebenen Antworten der Probanden gemessen und in Logfiles im *.txt-Format abgespeichert.

2.3.1.2. Datenanalyse

Die Daten der Logfiles wurden mithilfe des Statistikprogramms SPSS 20.0 (IBM®-Corporation, Software Group, Somers, NY, USA) ausgewertet. Aufgrund von technischen Problemen waren acht logfile-daten nicht auswertbar. Demnach erfolgte diese Auswertung mit 23 Datensätzen.

Die Ergebnisse wurden in Bezug auf die verschiedenen Schwierigkeitsstufen der N-back-Aufgabe im Hinblick auf unterschiedliche Reaktionszeiten zueinander in Kontrast gesetzt. Gleichzeitig wurde Augenmerk auf die Abhängigkeit von Schwierigkeitsgrad und Anzahl der „falschen“ Antworten gelegt.

2.3.2. fMRT-Daten

2.3.2.1. Messprozedur im Versuchsablauf

Für die Erhebung der funktionalen Bilddaten wurde ein Ganzkörper-3-Tesla-Magnet-Resonanz-Tomograph (MRT) (Philips Intra T3.0, Best, NL) mit Gradientenstärke nominal 30 mT/m und einer maximalen slew rate von 150 mT/ms verwendet. Zur Spin-Erregung und Signalerfassung wurde eine zirkulär polarisierte Kopfspule verwendet, an deren kranialen Ende ein spiegelnder Bildschirm zur Paradigmenpräsentation angebracht war.

Die Datenakquisition gliederte sich in vier Teile, die mit Ankündigung initiiert wurden:

- 1.) „Prescan“: Mit einer kurzen einleitenden EPI-Sequenz von 30 Sekunden wurde bei geringer Bildauflösung die Ausrichtung des Kopfes im Scanner festgelegt, kontrolliert und anhand der Lokalisation die weitere Schnittführung für den funktionellen Scan geplant.
- 2.) N-back Paradigma 1 (siehe Anhang B.1): Die Probanden bearbeiteten je 2 Blöcke der 3 unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade (Load) des bereits vorgestellten Paradigmas. Zuvor wurden über einen Kopfhörer vor Beginn der Messung den Probanden erneut die auszuführenden Aufgaben erläutert. Die funktionellen Daten wurden mithilfe einer T2-gewichteten single shot echo planar (EPI) Sequenz aufgenommen. Das gesamte Gehirn ist erfasst worden. Die Echozeit (TE) wurde auf 38 ms, die Repetitionszeit (TR) auf 3000 ms festgelegt. Der Flipwinkel („flip angle“) lag bei 90°. Die Schichtdicke der so er-

fassten Schnitte betrug 3,6 mm, die Matrix wurde auf 64 x 64 festgelegt. Das Sichtfeld (FOV) betrug 230 mm, die Auflösung in der Ebene lag bei 3,6 x 3,6. Es wurden 36 transversale Schnitte in antero-kranialer / postero-kranialer (AC-PC) Ausrichtung rekonstruiert.

- 3.) N-back Paradigma 2 (siehe Anhang B.2): Nach wenigen Sekunden Pause wurde ein zweites N-back Paradigma gestartet, welches ebenfalls je 2 Blöcke der 3 unterschiedlichen Schwierigkeitsgrade (Load) beinhaltete. Die Aufgabe an den Probanden sowie die Scanparameter blieben unverändert.
- 4.) Anatomiescan: Im Anschluss wurde ein T1-gewichteter Scan der cerebralen Anatomie durchgeführt. Während der 11-minütigen Messung wurden die Probanden zuvor angehalten, noch einmal ruhig liegen zu bleiben und die Augen, je nach Belieben offen oder geschlossen zu halten. Im multi-shot mode wurden linear in sagittaler Schnittausrichtung 320 Schnitte bei einer Voxelkantenlänge von 0,5 mm erzeugt. Das Sichtfeld (FOV) lag bei 256 x 205 x 160mm³ mit einer Auflösung von 0,5 x 0,5 x 0,5mm³. Der Flipwinkel lag bei 9°, die Echozeit (TE) wurde auf 3,4ms, die Repetitionszeit (TR) auf 7,4ms festgelegt.

2.3.2.2. Datenanalyse

Die Analyse der funktionalen MRT-Daten wurde mithilfe der SPM5-Software realisiert (Wellcome Department of Cognitive Neurology, Uni-

versity College London, UK, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software>, 21.12.2012). Die jeweils zehn ersten Bildaufnahmen (30s pre-stimulus interval) wurden ausgeschlossen, um die Saturierungsphase unberücksichtigt zu lassen. Die übrigen Bilder wurden mittels einer 6-parametrischen rigid body Transformation auf das erste Bild ausgerichtet (Bewegungskorrektur), dann auf ein MNI (Montreal Neurological Institute) – Template normalisiert, geglättet (Gaussian kernel, 8mm) und auf ein Voxelvolumen von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ rekonstruiert. Um auf Clusterebene einen korrigierten alpha-Wert von $p < .05$ zu erreichen, wurde ein unkorrigierter p-Wert von $p = .001$ gesetzt und die notwendige Clustergrösse mittels Monte-Carlo Simulation empirisch ermittelt (N=1000 Iterationen). Dies wurde mithilfe der AlphaSim Prozedur durchgeführt (37), implementiert in der REST-toolbox (<http://forum.restfmri.net/rest>, 21.12.2012). Die ermittelte Clusterschwelle betrug bei einer Voxelgrösse von $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}$ und einem smoothing kernel von 8mm $k=65$ voxel.

Für die ROI-Analysen der Amygdala und des ACC wurde eine unkorrigierte Schwelle von $p=0.05$ gesetzt. Die ermittelten Clustergrössen betragen $k=33$ Voxel für die bilaterale Amygdala und $k=160$ Voxel für das bilaterale ACC.

In einem ersten Schritt wurde die hämodynamische Antwort der n-back-Aufgabe auf individueller Basis (first level analysis) für jede der drei Schwierigkeitsstufen sowie für jeden Probanden dargestellt. Ergänzend wurde ein parametrischer Kontrast (2-back vs. 0-back) für jeden Probanden berechnet. Die individuellen Aktivitätsmuster wurden dann in einer second level random-effects Analyse mithilfe eines t-Tests auf Gruppenebene berechnet. In einem weiteren Schritt wurden mithilfe gepaarter t-

Tests explizite gruppenspezifische Unterschiede für alle drei Schwierigkeitsstufen sowie als parametrischer Kontrast 2-back vs. 0-back, Negative vs. Neutrale Bilder und das Aktivierungsmuster in Abhängigkeit von Schwierigkeitsstufe und emotionaler Valenz dargestellt.

3. Ergebnisse

3.1. Verhaltensdaten

Die Reaktionszeiten (siehe Anhang C) weisen schon für die Vergleichsbedingung „0-back“ Unterschiede für neutrale und negative Bilder auf. Sie betragen im Mittel 582,37msec für die neutralen Bilder und 585,92msec für negative Bilder (siehe Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Gemittelte Reaktionszeiten der Probanden für die entsprechenden Aufgabenblöcke.

	Mittelwert (msec)	Standardabweichung (msec)
negativ 0-back	585,92	185,74
neutral 0-back	582,37	187,12
negativ 1-back	648,60	185,48
neutral 1-back	588,76	182,69
negativ 2-back	701,61	181,42
neutral 2-back	680,18	195,33

Für die Aufgabe „1-back“ steigen die mittleren Reaktionszeiten an. Sie betragen für neutrale Bilder 588,76msec und für negative Bilder 648,60msec. Auch zur weiteren Stufe ist ein Anstieg der Reaktionszeiten zu verzeichnen. Hier beträgt der Durchschnittswert für neutrale Bilder 680,18msec und für negative Bilder 701,61msec. Zur Verdeutlichung sei auf Diagramm 3.1 verwiesen. Es besteht eine signifikante Beeinflussung der Reaktionszeit durch den ansteigenden Schwierigkeitsgrad „Load“ ($F=19,16$; $p=0,0001$) und die emotionale Beschaffenheit des Bildes ($F=5,98$; $p=0,023$). Die Interaktion von Load und Emotion bedingt ebenfalls eine signifikante Zunahme der Reaktionszeiten ($F=3,96$; $p=0,035$). Diagramm 3.1 zeigt diese Zusammenhänge graphisch.

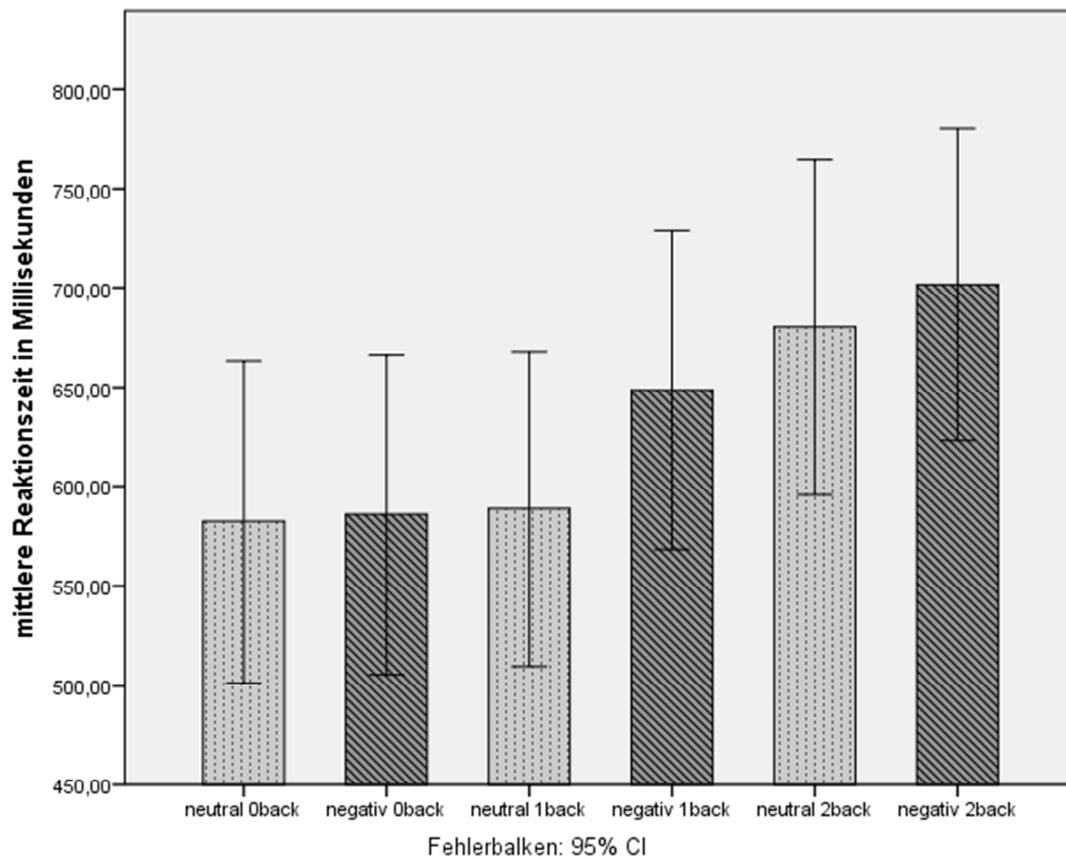


Diagramm 3.1: Gemittelte Reaktionszeiten der Probanden für die entsprechenden Aufgabenblöcke.

Auch bei der Genauigkeit der Aufgabenbearbeitung (siehe Anhang IV.C) finden sich entsprechende Ergebnisse, wie Tabelle 3.2 und Diagramm 3.2 verdeutlichen. Für die Vergleichsbedingung 0-back wurden im Durchschnitt bei neutralen Bildern 0,57 und bei negativen Bildern 1,17 falsche Antworten gegeben. Für die Bedingung 1-back waren dies 0,39 für neutrale und 1,22 für negative Bilder. In der Schwierigkeitsstufe 2-back wurden im Durchschnitt 1,22 falsche Antworten für neutrale und 1,65 für negative Bilder gegeben. Betrachtet man die Anzahl der falschen Antworten, so fällt auf, dass bei negativen Bildern signifikant mehr Fehler gemacht wurden ($F=16,59$, $p=0,001$). Auch auf die Schwierigkeitsstufe („Load“) bezogen ist

eine signifikante Abnahme der Antwortgenauigkeit zu erkennen ($F=5,024$; $p=0,016$). Die Interaktion von Emotion und Load zeigt keine signifikante Beeinflussung der Antwortgenauigkeit ($F=0,23$; $p=0,798$).

Tabelle 3.2: Gemittelte Anzahl fehlerhafter Antworten für die entsprechenden Aufgabenblöcke.

	Mittelwert (Anzahl)	Standardabweichung
neutral 0-back	0,57	1,38
negativ 0-back	1,17	1,85
neutral 1-back	0,39	0,78
negativ 1-back	1,22	1,68
neutral 2-back	1,22	1,62
negativ 2-back	1,65	1,50

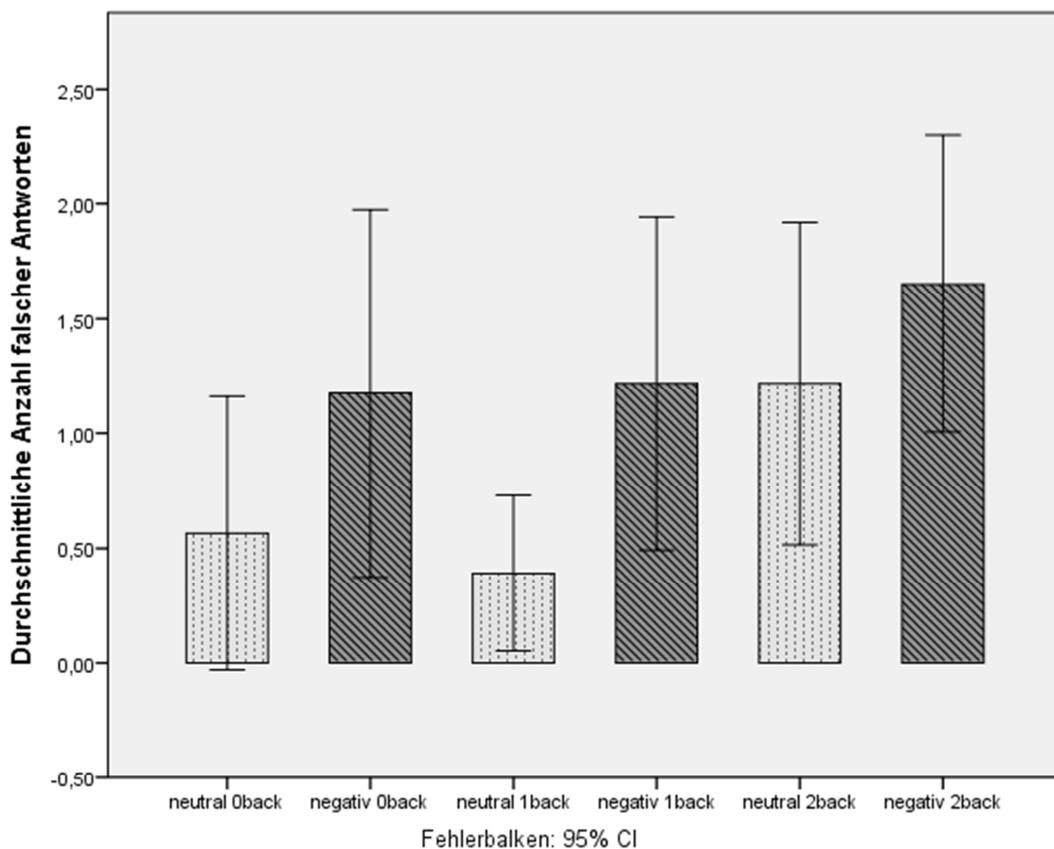


Diagramm 3.2: Gemittelte Anzahl der fehlerhaften Antworten für die entsprechenden Aufgabenblöcke.

3.2. fMRT-Daten

Während die Probanden die jeweiligen Aufgaben bearbeiteten, wurden wie bereits unter Kapitel 2.3.2 beschrieben mittels fMRT-Messungen die Hirnaktivierungsmuster indirekt über den BOLD-Effekt (siehe Kapitel 1.2) erfasst und konnten entsprechend ausgewertet werden.

3.2.1. Aktivitätszunahme von 0-back auf 2-back-Bedingung

Bei zunehmender Schwierigkeitsstufe „Load“ ist eine Aktivitätszunahme in folgenden Arealen zu verzeichnen: inferiorer, mittlerer und superiorer frontaler Cortex (hier vor allem dorsolateraler und ventrolateraler präfrontaler Cortex (DLPFC und VLPFD) und orbitofrontaler Cortex (OFC)) mit

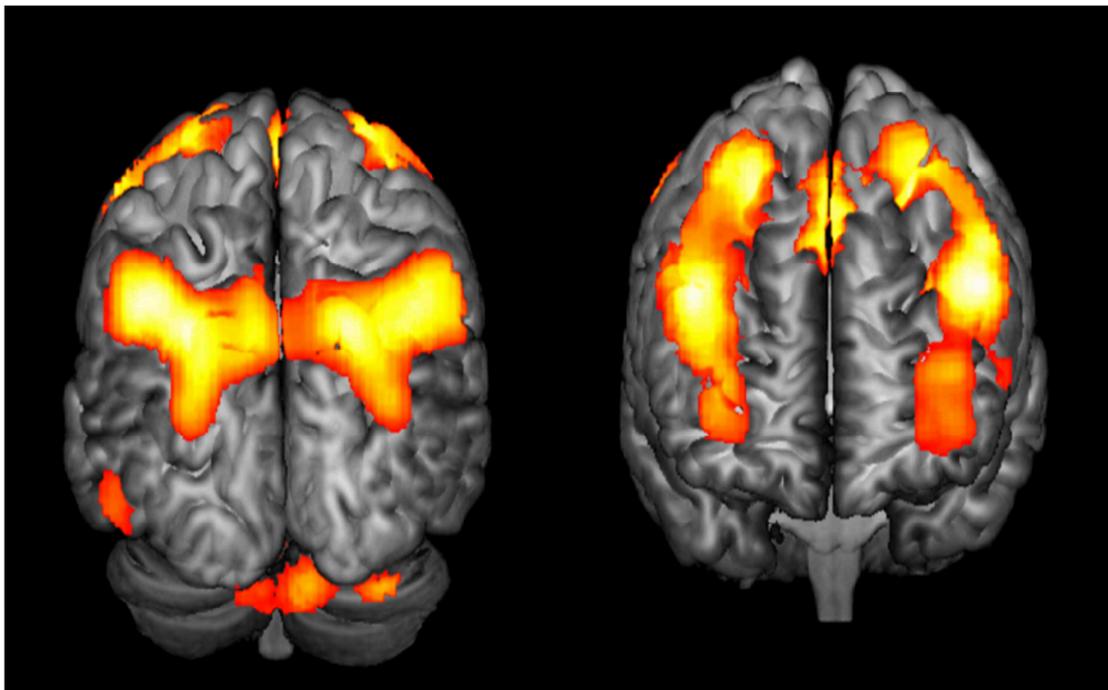


Abbildung 3.1: Rück- und Frontansicht der Aktivitätsverteilung bei zunehmendem Schwierigkeitslevel „Load“ ($p < 0,001$).

dorsomedialen frontalen Cortex (DMFC). Außerdem fanden sich Aktivitätssteigerungen in Inselcortex, supplementärem Motorcortex, Lobus temporalis und ganz besonders im superioren und inferioren Lobus parietalis sowie Precuneus, Cuneus, Gyrus angularis, Gyrus supramarginalis bis zum mittleren und superioren occipitalen Cortex. Auch das Cerebellum ist im Rahmen dieses Teilaspekts aktiv (Tabelle 3.3 und Abbildung 3.1)

Tabelle 3.3 Regionen mit Aktivitätsanstieg bei steigendem Schwierigkeitslevel („2-back“-Bedingung gegenüber „0-back“-Bedingung). Abkürzungen: DLPFC: Dorsolateraler Präfrontalcortex; VLPFC: Ventrolateraler Präfrontalcortex; OFC: Orbitofrontaler Cortex; MPFC: medialer Präfrontalcortex; DMFC: Dorsomedialer Frontalcortex

Anatomische Region	Seite	Clustergröße (Voxel)	x	y	z	Z-Wert	p-Wert
DLPFC, VLPFC, OFC, DMFC, Gyrus praecentralis, supplementärer Motorcortex, Inselcortex	Beidseitig	15.354	-48	28	34	7,65	< 0,0001
Parietaler Cortex, Occipitaler Cortex, Precuneus, Cuneus, Gyrus supramarginalis, Gyrus angularis	Beidseitig	9.752	-32	-60	40	7,59	< 0,0001
Cerebellum	Beidseitig	409	34	-66	-36	5,58	< 0,0001
Cerebellum	Beidseitig	783	10	-78	-28	5,20	< 0,0001

3.2.2. Aktivitätsmuster in Bezug auf emotionale Valenz der Bilder

Durch negative Bilder werden vor allem Regionen der emotionalen Verarbeitung aktiviert. Dies sind Amygdala und medialer Präfrontalcortex inklusive anteriorem Gyrus cinguli und Gyrus fusiformis. Weitere aktive Regionen sind posteriorer und mittlerer Gyrus cinguli, Gyrus parahippocampalis,

Hippocampus, Gyrus lingualis Temporalcortex, Thalamus, Occipitalcortex mit Precuneus und Cuneus.

Die genauen anatomischen Strukturen sind der Tabelle 3.4 zu entnehmen. Exemplarisch wurde der Kontrast für die ROI-Analyse der Amygdala graphisch aufbereitet und ist Abbildung 3.2 zu entnehmen.

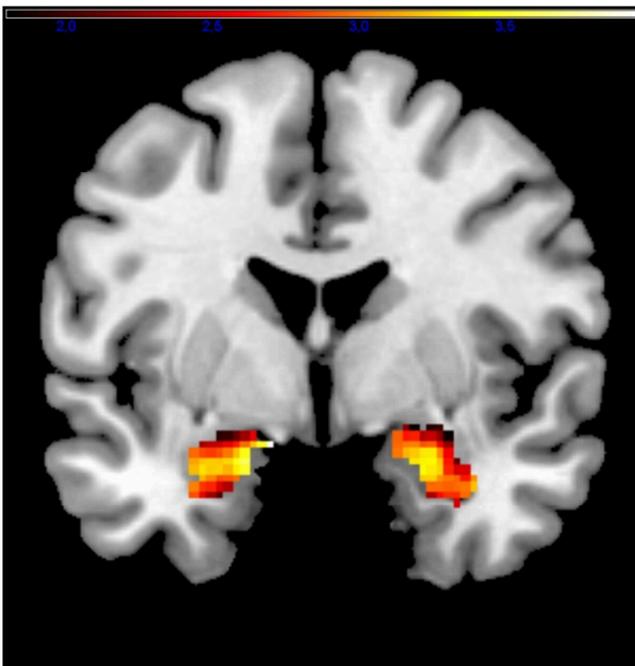


Abbildung 3.2: Mehraktivität im Bereich der Amygdala beidseits beim Betrachten negativer Bilder im Kontrast zu neutralen Bildern (ROI-Analyse ($p < 0,05$, $k > 38$)).

Tabelle 3.4: Regionen mit Aktivitätsanstieg beim Betrachten negativer Bilder im Vergleich zu neutralen Bildern.

Anatomische Region	Seite	Clustergröße (Voxel)	x	y	Z	Z-Wert	p-Wert
Frontaler Cortex, Amygdala, Temporaler Pol	Rechts	326	42	16	-38	5,42	< 0,0001
Frontaler Cortex, anteriores Cingulum	Beidseits	2557	-6	56	42	5,24	< 0,0001
Temporaler Cortex, inferiorer Occipitalcortex, Cerebellum, Gyrus fusiformis	Links	860	-40	-52	-34	5,07	< 0,0001
Frontaler Cortex, Temporaler Pol	Links	534	-48	24	-16	4,91	< 0,0001
Occipitalcortex, Gyrus fusiformis	Rechts	964	28	-86	-8	4,87	< 0,0001
Gyrus parahippocampalis, Hippocampus, Amygdala	Links	835	-24	-22	-22	4,53	< 0,0001
Gyrus parahippocampalis, Hippocampus	Rechts	122	26	-26	-18	3,87	< 0,0001
Gyrus praecentralis, suppl. Motocortex	Rechts	87	16	-22	62	3,87	< 0,0001
Gyrus praecentralis, frontaler Cortex	Links	210	-50	14	20	3,87	< 0,0001
Thalamus	Beidseitig	101	-6	-16	18	3,85	< 0,0001
Posteriores Cingulum, mittleres Cingulum, Precuneus, Cuneus	Links	109	-12	-58	32	3,73	< 0,0001
Gyrus lingualis, Gyrus parahippocampalis, Hippocampus, Cerebellum	Rechts	109	8	-34	-6	3,71	< 0,0001
Posteriors Cingulum, Gyrus lingualis, Precuneus	Links	74	-6	-40	12	3,59	< 0,0001

3.2.3. Interaktion von Load und Emotion

Betrachtet man die interagierenden Aktivitätsmuster von steigendem Arbeitsgedächtnis-Load und emotionaler Beeinflussung durch die entsprechenden negativen Bilder, so fallen insbesondere Aktivierungen im ACC und Inselcortex auf. Außerdem finden sich Aktivitätsanstiege in Gyrus präcentralis, supplementärem Motorcortex, Gyrus postcentralis, Lobulus paracentralis, Gyrus supramarginalis, Lobulus parietalis superior, Precuneus und Gyrus temporalis superior.

In den genannten Arealen führte in der Bedingung negativer Bilder ein zunehmender Arbeitsgedächtnisload zu signifikant stärkerer Aktivierung, als unter der Bedingung neutraler Bilder. Es konnte kein einziges Gehirnareal mit einem umgekehrten Muster einer loadbedingten Aktivitätszunahme in der Neutralbedingung verglichen mit der Negativbedingung gefunden werden.

In Abbildung 3.3 ist die ROI-Analyse des anterioren Gyrus cinguli exemplarisch dargestellt. Die weiteren Regionen sind der Tabelle 3.5 zu entnehmen.



Abbildung 3.3: Aktivitätsanstieg im Bereich des anterioren Gyrius cinguli bei der Bearbeitung der Arbeitsgedächtnisaufgabe bei Betrachten negativer Bilder im Vergleich zu neutralen (ROI-Analyse ($p < 0,05$, $k > 160$)).

Tabelle 3.5: Regionen mit erhöhter Aktivität bei der Bearbeitung der Arbeitsgedächtnisaufgaben für die Bedingung negativer Bilder (Fortsetzung auf der folgenden Seite!)

Anatomische Region	Seite	Clustergröße (Voxel)	x	y	Z	Z-Wert	p-Wert
Anteriorer Gyrius Cinguli (ROI-Analyse)	Beidseits	973	4	38	22	3,05	0,001
Gyrius postcentralis, Gyrius supramarginalis	Links	974	-58	-14	16	4,72	< 0,001
Inselcortex, Putamen, Lobus temporalis superior	rechts	273	34	4	8	4,51	< 0,001
Supplementärer Motorcortex, Lobuli paracentralis, praecentralis et postcentralis	Rechts	146	12	-30	74	4,06	< 0,001
Gyrius postcentralis und Lobulus parietalis superior, Precuneus	Rechts	162	20	-44	64	3,95	< 0,001
Inselcortex, Lobus temporalis superior	Links	100	-42	2	12	3,82	< 0,001

Lobus temporalis superior, Gyrus postcentralis	Rechts	110	64	-6	6	3,81	< 0,001
Lobus temporalis superior, Gyrus supramarginalis	Rechts	102	58	-32	16	3,78	< 0,001
Mittleres Cingulum, supplementärer Motorcortex	Bds.	141	0	-18	46	3,68	< 0,001

4. Diskussion

4.1. Effektive Bearbeitung durch das Arbeitsgedächtnis

Wie erwartet, konnte durch die Arbeitsgedächtnisaufgabe im n-back-Design in Übereinstimmung mit anderen Studien das typische frontoparietale Netzwerk aktiviert werden (81,90,101). Auch Aktivierungen des Occipitalcortex, der Inselrinde und des Cerebellums sowie des supplementären Motocortex und temporale Anteile wie Gyrus angularis und Gyrus supramarginalis bis Precuneus und Cuneus konnten in den genannten Studien bereits im Zusammenhang mit Arbeitsgedächtnisaufgaben nachgewiesen werden.

Mit zunehmender Anforderung an das Arbeitsgedächtnis ist außerdem eine signifikante Zunahme der Reaktionszeiten festzustellen. Für die Bearbeitung der zunehmenden Schwierigkeitsstufe ist eine weitere Rekrutierung von Arealen für die Informationsverarbeitung und kurzfristigen Speicherung notwendig, was diese Reaktionszeitzunahme begründet. Ferner erhöht sich die Fehlerquote signifikant, was durch die Ressourcenbindung und limitierte Aufnahmefähigkeit des Kurzzeitgedächtnisses zu erklären ist.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Aufgaben durch die Probanden effektiv bearbeitet worden sind, und die äußeren Bedingungen für das Experiment stimmten. Die erste Arbeitshypothese konnte damit bestätigt werden.

4.2. Reaktion auf emotionale Stimuli

Es fand sich im Kontrast der emotionalen Valenz der Bilder eine Aktivierung von emotionsverarbeitenden Arealen bestehend aus Amygdala, Hippocampus, anteriorem Gyrus cinguli, Gyrus parahippocampalis und frontalem Cortex.

Die dargestellten Aktivitätsanstiege bei negativen gegenüber neutralen Bildern in visuellen Arealen des Gehirns, wie Occipitalcortex, Gyrus fusiformis, Precuneus, Cuneus Temporallappen und Thalamus können als Ausdruck einer vermehrten Ressourcenrekrutierung und einer erhöhten Aufmerksamkeit bei negativen Bildern gewertet werden. Phan et al. kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Sie zeigten eine proportional ansteigende Aktivität in Occipitalcortex, Amygdala, dorsolateralem Präfrontalcortex und ventrolateralem Präfrontalcortex mit steigender Intensität der negativen Emotion (83). Offenbar wird die emotionale Information der negativen Bilder von den Probanden in ähnlicher Art und Weise bearbeitet, beziehungsweise in Form durch Anwenden entsprechender Strategien zur Emotionsregulation beeinflusst.

Die bewusste oder unbewusste kognitive Beeinflussung der Emotion äußert sich auch in einer vermehrten Aktivierung des von Banks et al. als limbisch-frontalem Netzwerk bezeichneten Zusammenspiels von präfrontalen Arealen und Amygdala mit anteriorem Gyrus cinguli (12). Banks et al. beschreiben, dass für eine effektive Kontrolle negativer Emotionen eine Neubewertung des Stimulus erfolgen muss. Eine Beziehung zwischen der Aktivität des frontalen Cortex (vor allem dorsolateralen, dorsomedialen, orbitofrontalen Cortex und anteriorem Gyrus cinguli) und der Amygda-

laaktivität konnte von Banks et al. gefunden werden und wurde als Ausdruck dieser Kontrollstrategie gewertet.

Auch der Steuerungsmechanismus des Thalamus, wie ihn LeDoux beschreibt, scheint in Bezug auf negative Emotionen bestätigt werden zu können ((62-64), siehe auch Kap.1.4.1). Durch die primäre und eventuell zu Beginn noch unbewusste Information „negative Emotion im Bild“ wird vom Thalamus auf dem kurzen Weg ein entsprechender Impuls an die Amygdala gegeben und gleichzeitig die detaillierten Bildinformationen an den occipitalen Cortex weitergeleitet.

Im weiteren Verlauf wird das gesamte Bild mit den begleitenden emotionalen Reaktionsmechanismen ins Bewusstsein geladen. In der Folge ist es für den Probanden wichtig, seine emotionalen Gefühle und die resultierenden Reaktionen zu unterdrücken, die durch die genannten Bilder in ihm hervorgerufen werden. (65,75,76). Hierzu ist wieder eine entsprechende bewusste Bewältigungsstrategie notwendig, welche unter anderem in der Aktivität von präfrontalen Strukturen zum Ausdruck kommt.

Eine entsprechende Auswirkung dieser erweiterten Verarbeitung von eingehenden Informationen kann auch an den Verhaltensdaten der Probanden bestätigt werden: Die Bearbeitung von negativen Bildern hat eine signifikant verlängerte Reaktionszeit zur Folge. Von der bloßen Wahrnehmung über die Bearbeitung mit entsprechender Unterdrückung von emotionalen Reaktionsmustern bis hin zur korrekten Bearbeitung der Aufgabe mit motorischer Antwort (Drücken der richtigen Taste) auf den entsprechenden Stimulus vergeht deutlich mehr Zeit bei negativen im Vergleich

zu neutralen Bildern. Gleichzeitig steigt die Fehlerquote signifikant an, was eine entsprechende Ressourcenbindung bestätigt.

Die zweite Arbeitshypothese kann damit ebenfalls bestätigt werden.

4.3. Beeinflussung der Emotion und Aufgabenbewältigung

Um die Aufgabe effektiv bewältigen zu können, ist die Beeinflussung der Emotion durch den Probanden notwendig. Diese Steuerung und Beeinflussung der Emotion geschieht im besonderen Maß durch Interaktion von Fehleridentifikationszentren wie dem anterioren Cingulum (5,22,84) und Steuerungscentren der emotionalen Antwort wie der Inselrinde, welche bereits ausführlich in den Kapiteln 1.5.3.3 und 1.5.4 dargestellt wurden. Durch das ventrale anteriore Cingulum kann im Zusammenspiel mit den anterioren Anteilen des mittleren Cingulums (beziehungsweise dorsalen anterioren Cingulums) eine effektive Beeinflussung der emotionalen Reizinformationen erfolgen, um die erfolgreiche Bearbeitung der Arbeitsgedächtnisaufgabe möglich machen zu können. Durch Interaktion mit dem Inselcortex wird die Aufmerksamkeit auf den Stimulus und die Modulation der emotionalen Einflüsse und autonomen Reaktionen gelenkt, wie sie von Menon und Uddin beschrieben werden (67).

Weiterhin werden Areale der körperlichen Selbstwahrnehmung und Orientierung wie Gyrus supramarginalis als Teil des inferioren Lobulus parietalis und superiorer parietaler Lobulus (26,48) zusätzlich akquiriert, die gleichzeitig auch der Objektwiedererkennung dienen (80,101). Neben der Wiedererkennung der Stimuli muss der Proband sich in der Messsituation

räumlich orientieren und die entsprechende Antwortreaktion (Drücken einer Taste) vorbereiten. Die Aktivitätsanstiege im primären Motocortex und supplementären Motocortex zeigen schließlich die motorische Antwortreaktion auf den Stimulus an.

Eine zusätzliche Aktivitätssteigerung des Putamens ist unter den vorgeannten Bedingungen als Aufmerksamkeitsverstärkung zu deuten. Langer et al. konnten nachweisen, dass das Putamen als Teil eines Aufmerksamkeitsnetzwerks fungiert und mit der anterioren Inselrinde in Verbindung steht (61).

Es kann also auch die dritte Arbeitshypothese bestätigt und um die Erkenntnis erweitert werden, dass mit Aktivität des Putamens eine zusätzliche Aufmerksamkeitsverstärkung stattgefunden hat.

4.4. Fazit

Die zu Beginn aufgestellten Arbeitshypothesen konnten bestätigt werden. Für die Bearbeitung von Arbeitsgedächtnisaufgaben im Zusammenhang mit negativ emotionalen Bildern ist eine Bearbeitung der Informationsinhalte durch anterioren beziehungsweise anterioren mittleren Gyrus cinguli und Inselcortex und die resultierende intensive Modulierung der motorischen Antwort durch entsprechende Zentren von entscheidender Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit hat sich auf gesunde Probanden beschränkt. Mögliche Fehlerquellen sind zum einen die eventuell fehlerhafte Bearbeitung

durch die Probanden, zum anderen kann keine vergleichbare Arbeit zur Überprüfung der gemachten Erkenntnisse gefunden werden.

Ferner muss kritisch angemerkt werden, dass die gemachten Erkenntnisse nicht hundertprozentig auf die Differenzierung von negativen und neutralen Gefühlen, sondern auch zu einem gewissen Teil auf unterschiedlichen Erregungszuständen beruhen. Der Bewertungstabelle des IAPS-Handbuchs ist zu entnehmen, dass die verwendeten IAPS-Bilder im Durchschnitt in der neutralen Bedingung weniger Erregung (niedrigere Arousal-Werte) als die negativen (höhere Arousal-Werte) erzeugen. Eventuell folgende Studien müssen versuchen, durch Auswahl anderer Stimuli diese Fehlerquelle zu minimieren.

Eine spannende Frage ist, wie sich die genannten aktiven Areale bei psychisch kranken Patienten verhalten und ob aus solchen Erkenntnissen Rückschlüsse auf Therapieoptionen zu schließen sind. Gerade in Bezug auf die bereits untersuchten Unterschiede bei Arbeitsgedächtnisaufgaben zwischen Depressiven und Gesunden könnte eine entsprechende Erweiterung der vorliegenden Arbeit interessante Punkte beleuchten und eventuell neue Therapieansätze eröffnen.

5. Literaturverzeichnis

- (1) Adolphs R, Tranel D, Damasio H, Damasio A (1994) Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala. *Nature* 372 (6507): 669-672
- (2) Adolphs R, Tranel D, Hamann S, Young AW, Calder AJ, Phelps EA, et al. (1999) Recognition of facial emotion in nine individuals with bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia* 37 (10): 1111-1117
- (3) Anderhuber F, Pera F, Streicher J [Hrsg] (2012) *Waldeyer - Anatomie des Menschen : Lehrbuch und Atlas in einem Band*. De Gruyter, Berlin, 19. Aufl.
- (4) Anderson AK, Phelps EA (2000) Expression without recognition: contributions of the human amygdala to emotional communication. *Psychol.Sci.* 11 (2): 106-111
- (5) Aouizerate B, Rotge JY, Bioulac B, Tignol J (2007) Present contribution of neurosciences to a new clinical reading of obsessive-compulsive disorder. *Encephale* 33 (2): 203-210
- (6) Atkinson R, Shiffrin R (1968) Human Memory: A Proposed System. *The Psychology of Learning and Motivation* 2 (1): 89-195
- (7) Augustine JR (1996) Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans. *Brain Res.Brain Res.Rev.* 22 (3): 229-244
- (8) Baddeley A, Hitch G (1974) Working memory. *The Psychology of Learning and Motivation* 8: 47-89
- (9) Baddeley A (1984) Exploring the articulatory loop. *Q.J.Exp.Psychol.* 36 (2): 233
- (10) Baddeley A (1987) Sentence comprehension and phonological memory. *Attention and Performance* 12: 509-529
- (11) Baddeley A (2000) The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn.Sci.* 4 (11): 417-423
- (12) Banks SJ, Eddy KT, Angstadt M, Nathan PJ, Phan KL (2007) Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation. *Soc.Cogn.Affect.Neurosci.* 2 (4): 303-312
- (13) Barbas H (2007) Flow of information for emotions through temporal and orbito-frontal pathways. *J.Anat.* 211 (2): 237-249

- (14) Battaglia FP, Benchenane K, Sirota A, Pennartz CM, Wiener SI (2011) The hippocampus: hub of brain network communication for memory. *Trends Cogn.Sci.* 15 (7): 310-318
- (15) Bechara A (2004) The role of emotion in decision-making: evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain Cogn.* 55 (1): 30-40
- (16) Beck A (1987) Beck Depression Inventory. Psychological Corp., San Antonio, TX
- (17) Berryhill ME, Wencil EB, Branch Coslett H, Olson IR (2010) A selective working memory impairment after transcranial direct current stimulation to the right parietal lobe. *Neurosci.Lett.* 479 (3): 312-316
- (18) Berryhill ME, Chein J, Olson IR (2011) At the intersection of attention and memory: The mechanistic role of the posterior parietal lobe in working memory. *Neuropsychologia* 49 (5): 1306-1315
- (19) Braver TS, Cohen JD, Nystrom LE, Jonides J, Smith EE, Noll DC (1997) A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage* 5 (1): 49-62
- (20) Brodmann K (1909) *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde.* Verlag von Johann Amrosius Barth, Leipzig
- (21) Brooks SJ, Savov V, Allzen E, Benedict C, Fredriksson R, Schioth HB (2012) Exposure to subliminal arousing stimuli induces robust activation in the amygdala, hippocampus, anterior cingulate, insular cortex and primary visual cortex: a systematic meta-analysis of fMRI studies. *Neuroimage* 59 (3): 2962-2973
- (22) Bush G, Luu P, Posner MI (2000) Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn.Sci.* 4 (6): 215-222
- (23) Bush G, Whalen PJ, Rosen BR, Jenike MA, McInerney SC, Rauch SL (1998) The counting Stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging? Validation study with functional MRI. *Hum.Brain Mapp.* 6 (4): 270-282
- (24) Butler T, Pan H, Tuescher O, Engelen A, Goldstein M, Epstein J, et al. (2007) Human fear-related motor neurocircuitry. *Neuroscience* 150 (1): 1-7
- (25) Byrd KE, Romito LM, Dziedzic M, Wong D, Talavage TM (2009) fMRI study of brain activity elicited by oral parafunctional movements. *J.Oral Rehabil.* 36 (5): 346-361
- (26) Cabeza R, Nyberg L (2000) Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J.Cogn.Neurosci.* 12 (1): 1-47

- (27) Carlson JM, Beacher F, Reinke KS, Habib R, Harmon-Jones E, Mujica-Parodi LR, et al. (2011) Nonconscious attention bias to threat is correlated with anterior cingulate cortex gray matter volume: A voxel-based morphometry result and replication. *Neuroimage*
- (28) Cowell RA, Bussey TJ, Saksida LM (2010) Components of recognition memory: dissociable cognitive processes or just differences in representational complexity? *Hippocampus* 20 (11): 1245-1262
- (29) Damasio AR (1996) The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philos.Trans.R.Soc.Lond.B.Biol.Sci.* 351 (1346): 1413-1420
- (30) Damasio H, Grabowski T, Frank R, Galaburda AM, Damasio AR (1994) The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science* 264 (5162): 1102-1105
- (31) Dannlowski U, Ohrmann P, Bauer J, Kugel H, Arolt V, Heindel W, et al. (2007) Amygdala reactivity predicts automatic negative evaluations for facial emotions. *Psychiatry Res.* 154 (1): 13-20
- (32) Davis M, Whalen PJ (2001) The amygdala: vigilance and emotion. *Mol.Psychiatry* 6 (1): 13-34
- (33) Devinsky O, Morrell MJ, Vogt BA (1995) Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain* 118 (Pt 1) (Pt 1): 279-306
- (34) Eckert MA, Menon V, Walczak A, Ahlstrom J, Denslow S, Horwitz A, et al. (2009) At the heart of the ventral attention system: the right anterior insula. *Hum.Brain Mapp.* 30 (8): 2530-2541
- (35) Feinstein JS, Adolphs R, Damasio A, Tranel D (2011) The human amygdala and the induction and experience of fear. *Curr.Biol.* 21 (1): 34-38
- (36) Fletcher PC, Henson RN (2001) Frontal lobes and human memory: insights from functional neuroimaging. *Brain* 124 (Pt 5): 849-881
- (37) Forman SD, Cohen JD, Fitzgerald M, Eddy WF, Mintun MA, Noll DC (1995) Improved assessment of significant activation in functional magnetic resonance imaging (fMRI): use of a cluster-size threshold. *Magn.Reson.Med.* 33 (5): 636-647
- (38) Fossati P (2012) Neural correlates of emotion processing: From emotional to social brain. *Eur.Neuropsychopharmacol.* 22 Suppl 3: S487-91
- (39) Franz M, Lemke MR, Meyer T, Ulferts J, Puhl P, Snaith RP (1998) German version of the Snaith-Hamilton-Pleasure Scale (SHAPS-D). Anhedonia in schizophrenic and depressive patients. *Fortschr Neurol.Psychiatr.* 66 (9): 407-413

- (40) Fuster JM (1998) Distributed memory for both short and long term. *Neurobiol.Learn.Mem.* 70 (1-2): 268-274
- (41) Fuster JM (2000) Prefrontal neurons in networks of executive memory. *Brain Res.Bull.* 52 (5): 331-336
- (42) Fuster JM (2006) The cognit: a network model of cortical representation. *Int.J.Psychophysiol.* 60 (2): 125-132
- (43) Gallagher M, Chiba AA (1996) The amygdala and emotion. *Curr.Opin.Neurobiol.* 6 (2): 221-227
- (44) Goldin PR, McRae K, Ramel W, Gross JJ (2008) The neural bases of emotion regulation: reappraisal and suppression of negative emotion. *Biol.Psychiatry* 63 (6): 577-586
- (45) Hamilton M (1967) Development of a rating scale for primary depressive illness. *Br.J.Soc.Clin.Psychol.* 6 (4): 278-296
- (46) Hamilton M (1967) HAMA. Hamilton Anxiety Scale. In: Guy W (Hrsg) *ECDEU Assessment Manual for Psychopharmacology*. Rockville, Maryland, Rev. Ed. Aufl., S. 193-198
- (47) Harlow JM (1999) Passage of an iron rod through the head. 1848. *J.Neuropsychiatry Clin.Neurosci.* 11 (2): 281-283
- (48) Heim S, Amunts K, Hensel T, Grande M, Huber W, Binkofski F, et al. (2012) The Role of Human Parietal Area 7A as a Link between Sequencing in Hand Actions and in Overt Speech Production. *Front.Psychol.* 3: 534
- (49) Herwig U, Abler B, Walter H, Erk S (2007) Expecting unpleasant stimuli--an fMRI study. *Psychiatry Res.* 154 (1): 1-12
- (50) Herwig U, Baumgartner T, Kaffenberger T, Bruhl A, Kottlow M, Schreiter-Gasser U, et al. (2007) Modulation of anticipatory emotion and perception processing by cognitive control. *Neuroimage* 37 (2): 652-662
- (51) Huettel S (2004) Non-linearities in the blood-oxygenation-level dependent (BOLD) response measured by functional magnetic resonance imaging (fMRI). *Conf.Proc.IEEE Eng.Med.Biol.Soc.* 6: 4413-4416
- (52) Karnath, Karnath H, Thier P (2006) *Neuropsychologie*. Springer-Verlag
- (53) Keightley ML, Winocur G, Graham SJ, Mayberg HS, Hevenor SJ, Grady CL (2003) An fMRI study investigating cognitive modulation of brain regions associated with emotional processing of visual stimuli. *Neuropsychologia* 41 (5): 585-596

- (54) Kelly C, Toro R, Di Martino A, Cox CL, Bellec P, Castellanos FX, et al. (2012) A convergent functional architecture of the insula emerges across imaging modalities. *Neuroimage* 61 (4): 1129-1142
- (55) Kluver H, Bucy PC (1997) Preliminary analysis of functions of the temporal lobes in monkeys. 1939. *J.Neuropsychiatry Clin.Neurosci.* 9 (4): 606-620
- (56) Kolling N, Behrens TE, Mars RB, Rushworth MF (2012) Neural mechanisms of foraging. *Science* 336 (6077): 95-98
- (57) Kringelbach ML, Rolls ET (2004) The functional neuroanatomy of the human orbitofrontal cortex: evidence from neuroimaging and neuropsychology. *Prog.Neurobiol.* 72 (5): 341-372
- (58) LaBar KS, Gitelman DR, Parrish TB, Mesulam M (1999) Neuroanatomic overlap of working memory and spatial attention networks: a functional MRI comparison within subjects. *Neuroimage* 10 (6): 695-704
- (59) Lamm C, Singer T (2010) The role of anterior insular cortex in social emotions. *Brain Struct.Funct.* 214 (5-6): 579-591
- (60) Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN (2005) International affective picture system (IAPS): Digitized photographs, instruction manual and affective ratings. Technical
Report A-6.
- (61) Langner R, Eickhoff SB (2012) Sustaining Attention to Simple Tasks: A Meta-Analytic Review of the Neural Mechanisms of Vigilant Attention. *Psychol.Bull.*
- (62) LeDoux,Joseph (2003) The Emotional Brain, Fear, and the Amygdala. *Cell.Mol.Neurobiol.* (4): 727-738
- (63) LeDoux JE (1994) Emotion, memory and the brain. *Sci.Am.* 270 (6): 50-57
- (64) LeDoux JE (2000) Emotion circuits in the brain. *Annu.Rev.Neurosci.* 23: 155-184
- (65) Levesque J, Eugene F, Joannette Y, Paquette V, Mensour B, Beaudoin G, et al. (2003) Neural circuitry underlying voluntary suppression of sadness. *Biol.Psychiatry* 53 (6): 502-510
- (66) Mayberg HS (1997) Limbic-cortical dysregulation: a proposed model of depression. *J.Neuropsychiatry Clin.Neurosci.* 9 (3): 471-481
- (67) Menon V, Uddin LQ (2010) Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Struct.Funct.* 214 (5-6): 655-667

- (68) Mesulam M, Mufson EJ (1982) Insula of the old world monkey. III: Efferent cortical output and comments on function. *J.Comp.Neurol.* 212 (1): 38-52
- (69) Miller GA (1956) The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol.Rev.* 63 (2): 81-97
- (70) Montgomery SA, Asberg M (1979) A new depression scale designed to be sensitive to change. *Br.J.Psychiatry* 134: 382-389
- (71) Mosso A Ueber den Kreislauf des Blutes im menschlichen Gehirn.
- (72) Naghavi HR, Nyberg L (2005) Common fronto-parietal activity in attention, memory, and consciousness: shared demands on integration? *Conscious.Cogn.* 14 (2): 390-425
- (73) Nakata H, Sakamoto K, Ferretti A, Gianni Perrucci M, Del Gratta C, Kakigi R, et al. (2008) Somato-motor inhibitory processing in humans: an event-related functional MRI study. *Neuroimage* 39 (4): 1858-1866
- (74) Nelson SM, Dosenbach NU, Cohen AL, Wheeler ME, Schlaggar BL, Petersen SE (2010) Role of the anterior insula in task-level control and focal attention. *Brain Struct.Funct.* 214 (5-6): 669-680
- (75) Ochsner KN, Bunge SA, Gross JJ, Gabrieli JD (2002) Rethinking feelings: an FMRI study of the cognitive regulation of emotion. *J.Cogn.Neurosci.* 14 (8): 1215-1229
- (76) Ochsner KN, Ray RD, Cooper JC, Robertson ER, Chopra S, Gabrieli JD, et al. (2004) For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *Neuroimage* 23 (2): 483-499
- (77) Ogawa S, Lee TM (1990) Magnetic resonance imaging of blood vessels at high fields: in vivo and in vitro measurements and image simulation. *Magn.Reson.Med.* 16 (1): 9-18
- (78) Ogawa S, Lee TM, Kay AR, Tank DW (1990) Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.* 87 (24): 9868-9872
- (79) Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, Glynn P (1990) Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magn.Reson.Med.* 14 (1): 68-78
- (80) Olson IR, Berryhill M (2009) Some surprising findings on the involvement of the parietal lobe in human memory. *Neurobiol.Learn.Mem.* 91 (2): 155-165

- (81) Owen AM, McMillan KM, Laird AR, Bullmore E (2005) N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Hum. Brain Mapp.* 25 (1): 46-59
- (82) Phan KL, Wager T, Taylor SF, Liberzon I (2002) Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage* 16 (2): 331-348
- (83) Phan KL, Fitzgerald DA, Nathan PJ, Moore GJ, Uhde TW, Tancer ME (2005) Neural substrates for voluntary suppression of negative affect: A functional magnetic resonance imaging study. *Biol. Psychiatry* 57 (3): 210-219
- (84) Posner MI, Rothbart MK, Sheese BE, Tang Y (2007) The anterior cingulate gyrus and the mechanism of self-regulation. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 7 (4): 391-395
- (85) Ptok M (2006) Stottern – Pathogenese und Therapie. *Dtsch Arztebl International*: A-1216
- (86) Raczkowski D, Kalat JW, Nebes R (1974) Reliability and validity of some handedness questionnaire items. *Neuropsychologia* 12 (1): 43-47
- (87) Ray RD, Zald DH (2012) Anatomical insights into the interaction of emotion and cognition in the prefrontal cortex. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 36 (1): 479-501
- (88) Rose JE, Woolsey CN (1948) The orbitofrontal cortex and its connections with the mediodorsal nucleus in rabbit, sheep and cat. *Res. Publ. Assoc. Res. Nerv. Ment. Dis.* 27 (1 vol.) (1 vol.): 210-232
- (89) Said CP, Haxby JV, Todorov A (2011) Brain systems for assessing the affective value of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366 (1571): 1660-1670
- (90) Schoning S, Zwitserlood P, Engelen A, Behnken A, Kugel H, Schiffbauer H, et al. (2009) Working-memory fMRI reveals cingulate hyperactivation in euthymic major depression. *Hum. Brain Mapp.* 30 (9): 2746-2756
- (91) Shackman AJ, Salomons TV, Slagter HA, Fox AS, Winter JJ, Davidson RJ (2011) The integration of negative affect, pain and cognitive control in the cingulate cortex. *Nat. Rev. Neurosci.* 12 (3): 154-167
- (92) Simons JS, Koutstaal W, Prince S, Wagner AD, Schacter DL (2003) Neural mechanisms of visual object priming: evidence for perceptual and semantic distinctions in fusiform cortex. *Neuroimage* 19 (3): 613-626
- (93) Singer T, Critchley HD, Preuschoff K (2009) A common role of insula in feelings, empathy and uncertainty. *Trends Cogn. Sci.* 13 (8): 334-340

- (94) Spielberger C (1983) Manual for the Strait-Trait-Anxiaty-Inventory., Menlo Park, CA
- (95) Squire LR, Wixted JT (2011) The cognitive neuroscience of human memory since H.M. *Annu.Rev.Neurosci.* 34: 259-288
- (96) Todd JJ, Marois R (2004) Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature* 428 (6984): 751-754
- (97) Todd JJ, Marois R (2005) Posterior parietal cortex activity predicts individual differences in visual short-term memory capacity. *Cogn.Affect.Behav.Neurosci.* 5 (2): 144-155
- (98) Trepel M (2012) *Neuroanatomie - Struktur und Funktion.* Urban & Fischer, München, 5. Auflage. Aufl.
- (99) Tsujimoto S, Kuwajima M, Sawaguchi T (2007) Developmental fractionation of working memory and response inhibition during childhood. *Exp.Psychol.* 54 (1): 30-37
- (100) Vazquez AL, Cohen ER, Gulani V, Hernandez-Garcia L, Zheng Y, Lee GR, et al. (2006) Vascular dynamics and BOLD fMRI: CBF level effects and analysis considerations. *Neuroimage* 32 (4): 1642-1655
- (101) Wager TD, Smith EE (2003) Neuroimaging studies of working memory: a meta-analysis. *Cogn.Affect.Behav.Neurosci.* 3 (4): 255-274
- (102) Watanabe J, Sugiura M, Sato K, Sato Y, Maeda Y, Matsue Y, et al. (2002) The human prefrontal and parietal association cortices are involved in NO-GO performances: an event-related fMRI study. *Neuroimage* 17 (3): 1207-1216
- (103) Whalen PJ, Bush G, McNally RJ, Wilhelm S, McInerney SC, Jenike MA, et al. (1998) The emotional counting Stroop paradigm: a functional magnetic resonance imaging probe of the anterior cingulate affective division. *Biol.Psychiatry* 44 (12): 1219-1228
- (104) Wicker B, Keysers C, Plailly J, Royet JP, Gallese V, Rizzolatti G (2003) Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron* 40 (3): 655-664
- (105) Wierenga CE, Perlstein WM, Benjamin M, Leonard CM, Rothi LG, Conway T, et al. (2009) Neural substrates of object identification: Functional magnetic resonance imaging evidence that category and visual attribute contribute to semantic knowledge. *J.Int.Neuropsychol.Soc.* 15 (2): 169-181
- (106) Young RC, Biggs JT, Ziegler VE, Meyer DA (1978) A rating scale for mania: reliability, validity and sensitivity. *Br.J.Psychiatry* 133: 429-435

(107) Zald DH, Kim SW (1996) Anatomy and function of the orbital frontal cortex, II: Function and relevance to obsessive-compulsive disorder. *J.Neuropsychiatry Clin.Neurosci.* 8 (3): 249-261

6. Danksagung

Ich möchte herzlich allen danken, die mir bei der Fertigstellung dieser Arbeit unterstützend zur Seite gestanden sind.

Mein besonderer Dank gilt

Herrn Univ.-Prof. Dr. Volker Arolt als Direktor der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie der Westfälischen Wilhelmsuniversität Münster für die freundliche Überlassung des Themas,

Herrn Univ.-Prof. Dr. Carsten Konrad und Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. Udo Dannlowski für die fachliche Betreuung, die unermüdliche Förderung und unkomplizierte Unterstützung bei der Fertigstellung der Arbeit,

Herrn Dipl.-Ing. Sebastian Schäfer für die technische Unterstützung und Datenvorbereitung sowie Unterstützung in EDV-Fragen,

allen übrigen Mitgliedern der IZKF-Gruppe 4, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen, für interessante und konstruktive Gespräche und eine schöne Zeit,

allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Hauses Rosenbach, insbesondere Herrn Dr. Harald Kugel und Herrn Dr. Hagen Schiffbauer für die nette und unkomplizierte Zusammenarbeit,

meiner Frau Sarah und meiner Familie, für die Motivation und liebevolle Unterstützung – nicht nur in der Zeit dieses Projekts.

Anhang

A. Bilder des IAPS

1.) Neutrale Bilder

Bilder mit den folgenden Nummern wurden für die „Neutralbedingung“ gewählt:

1450	2191	2393	2575	5531	7052	7224	7546
2037	2221	2396	2579	5551	7090	7242	7550
2102	2235	2441	2594	7002	7100	7484	7595
2104	2372	2445	5390	7036	7190	7493	
2190	2383	2495	5471	7037	7221	7500	

Tabelle A.1: neutrale Bilder

Als Beispiele sollen die folgenden Bilder dienen:



img_1450.jpg



img_2191.jpg



img_2441.jpg



img7190.jpg

2.) Negative Bilder

Folgende mit negativer Emotion assoziierte Bilder wurden gewählt:

2053	2683	2717	3230	6311	9342	9620	9911
2095	2688	2753	3301	6821	9440	9622	9920
2100	2692	2799	6020	9000	9470	9810	9925
2205	2703	2800	6241	9050	9520	9830	
2399	2710	2900	6242	9340	9600	9902	

Tabelle A.2: negative Bilder

Beispielhaft seien folgende Bilder dargestellt:



img_2100.jpg



img_6242.jpg



lmg_9600.jpg



img_9810.jpg

B. Presentation-Script

1.) Teilexperiment 1

```
#####
scenario = "Affective Working Memory 1. Teil";#####
#####

response_matching = simple_matching;
response_logging = log_active;
active_buttons = 2;
button_codes = 1, 2;

begin;
# Definitionen #####

    picture {bitmap { filename = "black.jpg"; preload = true;}};
x = 0; y = 0;} blank;
    picture {bitmap { filename = "blank_fk.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} fk;
    $presentation = 500;
    $pause = 2500;
    $tr_duration = '$presentation + $pause' ;
    $pause_lang = 24000;

## Bilderdefinitionen #####

##### NEGATIV #####
    picture {bitmap { filename = "negativ/2053.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2053;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2095.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2095;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9440.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_9440;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2205.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2205;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2683.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2683;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2688.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2688;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2692.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2692;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2703.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2703;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2710.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2710;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2717.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2717;
```

```
    picture {bitmap { filename = "negativ/2399.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2399;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2753.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2753;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2799.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2799;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2800.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2800;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2900.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2900;
    picture {bitmap { filename = "negativ/3230.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_3230;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2100.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2100;
    picture {bitmap { filename = "negativ/3301.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_3301;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6241.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6241;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6020.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6020;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6242.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6242;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6311.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6311;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6821.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6821;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9000.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9000;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9050.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9050;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9340.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9340;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9342.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9342;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9470.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9470;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9520.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9520;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9600.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9600;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9620.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9620;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9622.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9622;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9810.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9810;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9830.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9830;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9902.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9902;
```

```
    picture {bitmap { filename = "negativ/9911.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9911;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9920.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9920;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9925.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9925;
```

NEUTRAL

```
    picture {bitmap { filename = "neutral/2102.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2102;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2104.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2104;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2190.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2190;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2191.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2191;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2221.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2221;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2235.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2235;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2372.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2372;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2383.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2383;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2393.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2393;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2396.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2396;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2441.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2441;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2445.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2445;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2495.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2495;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2575.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2575;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2579.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2579;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2594.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2594;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5390.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5390;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5471.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5471;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5531.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5531;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5551.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5551;
```

```

    picture {bitmap { filename = "neutral/7002.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7002;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7036.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7036;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7037.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7037;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7052.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7052;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7090.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7090;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7100.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7100;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7190.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7190;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7211.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7211;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7224.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7224;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7242.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7242;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7484.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7484;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7493.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7493;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7500.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7500;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7546.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7546;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7550.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7550;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2037.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2037;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7595.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7595;
    picture {bitmap { filename = "neutral/1450.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_1450;

```

```

#####
#[1-back-1-neg]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "1 zurück";
  };
#####
#####
# 1-back, Block 1, negativ

```

```

TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Bild
  image      button  identifier ;
  img_2800   2       "neg 1 neg1-1-1" ;
  img_2800   1       "neg 1 neg1-1-2" ;
  img_9050   2       "neg 1 neg1-1-3" ;
  img_6311   2       "neg 1 neg1-1-4" ;
  img_6311   1       "neg 1 neg1-1-5" ;
  img_2100   2       "neg 1 neg1-1-6" ;
  img_9810   2       "neg 1 neg1-1-7" ;
  img_9810   1       "neg 1 neg1-1-8" ;
  img_9050   2       "neg 1 neg1-1-9" ;
  img_9920   2       "neg 1 neg1-1-10" ;
  img_9920   1       "neg 1 neg1-1-11" ;
  img_2100   2       "neg 1 neg1-1-12" ;
};

#####
#[0-back-2-neu]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "0 zurück";
  };

#### 0-back-2-neu: Hinweis auf das zu merkende Bild
trial {
  trial_type = fixed;
  trial_duration = 3000;
  picture {
    text { caption = "Bei folgendem Bild \n\ bitte links
drücken..."; font = "Geneva"; font_size = 50; };
    x=0;y=0;
  };
  time = 0;
};

#### 0-back-2-neu: Praesentation des zu merkenden Bildes
trial {
  trial_duration = 3000;
  picture img_7493;
};

#### Pause zwischen Targetpresentation und erstem Bild des
Blocks

```

```
TEMPLATE "PauseII.tem";
```

```
#####  
#####  
# 0-back, Block 2, neutral  
  TEMPLATE "nback.tem" {  
# image = Anzuzeigendes Bild  
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match  
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.  
Block. 1. Buchstabe  
image          button    identifier ;  
  img_7493      1        "neu 0 neu0-2-1" ;  
  img_2037      2        "neu 0 neu0-2-2" ;  
  img_7190      2        "neu 0 neu0-2-3" ;  
  img_2190      2        "neu 0 neu0-2-4" ;  
  img_5531      2        "neu 0 neu0-2-5" ;  
  img_7493      1        "neu 0 neu0-2-6" ;  
  img_5551      2        "neu 0 neu0-2-7" ;  
  img_7493      1        "neu 0 neu0-2-8" ;  
  img_1450      2        "neu 0 neu0-2-9" ;  
  img_2190      2        "neu 0 neu0-2-10" ;  
  img_7493      1        "neu 0 neu0-2-11" ;  
  img_7190      2        "neu 0 neu0-2-12" ;  
};
```

```
#####  
#[2-back-1-neg]####  
#####  
#####  
# Pause mit Anweisung  
  TEMPLATE "Pause.tem" {  
  
    Text;  
    "2 zurück";  
  };  
#####  
#####  
# 2-back, Block 1, negativ  
  TEMPLATE "nback.tem" {  
# image = Anzuzeigendes Bild  
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match  
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.  
Block. 1. Bild  
image          button    identifier ;  
  img_2053      2        "neg 2 neg2-1-1" ;  
  img_2205      2        "neg 2 neg2-1-2" ;
```

```

img_9340      2      "neg 2 neg2-1-3"      ;
img_2205      1      "neg 2 neg2-1-4"      ;
img_9340      1      "neg 2 neg2-1-5"      ;
img_9622      2      "neg 2 neg2-1-6"      ;
img_9620      2      "neg 2 neg2-1-7"      ;
img_9622      1      "neg 2 neg2-1-8"      ;
img_2053      2      "neg 2 neg2-1-9"      ;
img_2399      2      "neg 2 neg2-1-10"     ;
img_9620      2      "neg 2 neg2-1-11"     ;
img_2399      1      "neg 2 neg2-1-12"     ;
};

```

```

#####
#[0-back-1-neg]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "0 zurück";
  };

```

```

#####
#####
##### 0-back-1-neg: Hinweis auf das zu merkende Bild
trial {
  trial_type = fixed;
  trial_duration = 3000;
  picture {
    text { caption = "Bei folgendem Bild \n\ bitte links
drücken..."; font = "Geneva"; font_size = 50; };
    x=0;y=0;
  };
  time = 0;
};

```

```

##### 0-back-1-neg: Praesentation des zu merkenden Bildes
trial {
  trial_duration = 3000;
  picture img_2900;
};
#### Pause zwischen Targetpresentation und erstem Bild des
Blocks
  TEMPLATE "PauseII.tem";

```

```
#####
#####
# 0-back, Block 1, negativ
  TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Buchstabe
image          button  identifier  ;
  img_2900      1      "neg 0 neg0-1-1"  ;
  img_9902      2      "neg 0 neg0-1-2"  ;
  img_2753      2      "neg 0 neg0-1-3"  ;
  img_9902      2      "neg 0 neg0-1-4"  ;
  img_2900      1      "neg 0 neg0-1-5"  ;
  img_9342      2      "neg 0 neg0-1-6"  ;
  img_3301      2      "neg 0 neg0-1-7"  ;
  img_2900      1      "neg 0 neg0-1-8"  ;
  img_6020      2      "neg 0 neg0-1-9"  ;
  img_9830      2      "neg 0 neg0-1-10" ;
  img_6020      2      "neg 0 neg0-1-11" ;
  img_2900      1      "neg 0 neg0-1-12" ;
};
```

```
#####
#[1-back-1-neu]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "1 zurück";
  };
```

```
#####
#####
# 1-back, Block 1, neutral
  TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Bild
image          button  identifier  ;
  img_2221      2      "neu 1 neu1-1-1"  ;
  img_2221      1      "neu 1 neu1-1-2"  ;
  img_2575      2      "neu 1 neu1-1-3"  ;
  img_5471      2      "neu 1 neu1-1-4"  ;
  img_5471      1      "neu 1 neu1-1-5"  ;
  img_2575      2      "neu 1 neu1-1-6"  ;
  img_2396      2      "neu 1 neu1-1-7"  ;
  img_2396      1      "neu 1 neu1-1-8"  ;
```

```

img_2383      2      "neu 1 neu1-1-9"      ;
img_2191      2      "neu 1 neu1-1-10"     ;
img_2191      1      "neu 1 neu1-1-11"     ;
img_2396      2      "neu 1 neu1-1-12"     ;
};

#####
#[2-back-2-neg]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "2 zurück";
  };
#####
#####
# 2-back, Block 2, negativ
  TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Buchstabe
image      button      identifier      ;
img_2799   2      "neg 2 neg2-2-1"      ;
img_3230   2      "neg 2 neg2-2-2"      ;
img_2799   1      "neg 2 neg2-2-3"      ;
img_2717   2      "neg 2 neg2-2-4"      ;
img_2692   2      "neg 2 neg2-2-5"      ;
img_2717   1      "neg 2 neg2-2-6"      ;
img_2688   2      "neg 2 neg2-2-7"      ;
img_9600   2      "neg 2 neg2-2-8"      ;
img_2688   1      "neg 2 neg2-2-9"      ;
img_9600   1      "neg 2 neg2-2-10"     ;
img_3230   2      "neg 2 neg2-2-11"     ;
img_2692   2      "neg 2 neg2-2-12"     ;
};

```

2.) Telexperiment 2

```

#####
scenario = "Affective Working Memory 2. Teil";#####
#####

response_matching = simple_matching;
response_logging = log_active;
active_buttons = 2;
button_codes = 1, 2;

```

```

begin;
# Definitionen #####

    picture {bitmap { filename = "black.jpg"; preload = true;}};
x = 0; y = 0;} blank;
    picture {bitmap { filename = "blank_fk.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} fk;
    $presentation = 500;
    $pause = 2500;
    $tr_duration = '$presentation + $pause' ;
    $pause_lang = 24000;

## Bilderdefinitionen #####

##### NEGATIV #####
    picture {bitmap { filename = "negativ/2053.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2053;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2095.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2095;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9440.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_9440;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2205.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2205;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2683.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2683;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2688.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2688;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2692.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2692;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2703.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2703;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2710.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2710;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2717.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2717;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2399.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2399;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2753.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2753;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2799.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2799;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2800.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2800;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2900.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2900;
    picture {bitmap { filename = "negativ/3230.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_3230;
    picture {bitmap { filename = "negativ/2100.jpg"; preload =
true;}}; x = 0; y = 0;} img_2100;

```

```

    picture {bitmap { filename = "negativ/3301.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_3301;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6241.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6241;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6020.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6020;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6242.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6242;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6311.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6311;
    picture {bitmap { filename = "negativ/6821.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_6821;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9000.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9000;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9050.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9050;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9340.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9340;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9342.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9342;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9470.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9470;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9520.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9520;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9600.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9600;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9620.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9620;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9622.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9622;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9810.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9810;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9830.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9830;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9902.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9902;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9911.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9911;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9920.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9920;
    picture {bitmap { filename = "negativ/9925.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_9925;

```

NEUTRAL

```

    picture {bitmap { filename = "neutral/2102.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2102;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2104.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2104;

```

```
    picture {bitmap { filename = "neutral/2190.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2190;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2191.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2191;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2221.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2221;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2235.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2235;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2372.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2372;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2383.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2383;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2393.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2393;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2396.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2396;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2441.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2441;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2445.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2445;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2495.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2495;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2575.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2575;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2579.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2579;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2594.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2594;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5390.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5390;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5471.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5471;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5531.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5531;
    picture {bitmap { filename = "neutral/5551.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_5551;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7002.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7002;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7036.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7036;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7037.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7037;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7052.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7052;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7090.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7090;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7100.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7100;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7190.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7190;
```

```

    picture {bitmap { filename = "neutral/7211.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7211;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7224.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7224;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7242.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7242;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7484.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7484;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7493.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7493;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7500.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7500;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7546.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7546;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7550.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7550;
    picture {bitmap { filename = "neutral/2037.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_2037;
    picture {bitmap { filename = "neutral/7595.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_7595;
    picture {bitmap { filename = "neutral/1450.jpg"; preload =
true;}; x = 0; y = 0;} img_1450;

```

```

#####
#[0-back-1-neu]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "0 zurück";
  };

```

```

#### 0-Back-1-neu: Hinweis auf das zu merkende Bild
trial {
    trial_type = fixed;
    trial_duration = 3000;
    picture {
        text { caption = "Bei folgendem Bild \n\ bitte links
drücken..."; font = "Geneva"; font_size = 50; };
        x=0;y=0;
    };
    time = 0;
};

```

```

#### 0-Back-1-neu: Praesentation des zu merkenden Bildes

```

```

trial {
    trial_duration = 3000;
    picture img_2594;
};
#### Pause zwischen Targetpresentation und erstem Bild des
Blocks

TEMPLATE "PauseII.tem";

#####
#####
# 0-back, Block 1, neutral
TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Buchstabe
image          button  identifier ;
    img_7224      2      "neu 0 neu0-1-1"    ;
    img_7211      2      "neu 0 neu0-1-2"    ;
    img_2594      1      "neu 0 neu0-1-3"    ;
    img_2579      2      "neu 0 neu0-1-4"    ;
    img_7484      2      "neu 0 neu0-1-5"    ;
    img_2594      1      "neu 0 neu0-1-6"    ;
    img_7484      2      "neu 0 neu0-1-7"    ;
    img_7500      2      "neu 0 neu0-1-8"    ;
    img_2594      1      "neu 0 neu0-1-9"    ;
    img_7500      2      "neu 0 neu0-1-10"   ;
    img_2594      1      "neu 0 neu0-1-11"   ;
    img_7100      2      "neu 0 neu0-1-12"   ;
};

#####
#[1-back-2-neg]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
TEMPLATE "Pause.tem" {
    Text;
    "1 zurück";
};

#####
#####
# 1-back, Block 2, negativ
TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild

```

```
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Bild
```

```
image          button  identifier ;
img_2683       2      "neg 1 neg1-2-1" ;
img_9911       2      "neg 1 neg1-2-2" ;
img_9911       1      "neg 1 neg1-2-3" ;
img_2710       2      "neg 1 neg1-2-4" ;
img_2710       1      "neg 1 neg1-2-5" ;
img_2095       2      "neg 1 neg1-2-6" ;
img_2683       2      "neg 1 neg1-2-7" ;
img_2095       2      "neg 1 neg1-2-8" ;
img_9440       2      "neg 1 neg1-2-9" ;
img_9440       1      "neg 1 neg1-2-10" ;
img_9925       2      "neg 1 neg1-2-11" ;
img_9925       1      "neg 1 neg1-2-12" ;
};
```

```
#####
#[2-back-1-neu]####
#####
#####
```

```
# Pause mit Anweisung
TEMPLATE "Pause.tem" {
```

```
    Text;
    "2 zurück";
```

```
};
```

```
#####
#####
```

```
# 2-back, Block 1, neutral
TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Buchstabe
```

```
image          button  identifier ;
img_7595       2      "neu 2 neu2-1-1" ;
img_2393       2      "neu 2 neu2-1-2" ;
img_2102       2      "neu 2 neu2-1-3" ;
img_2393       1      "neu 2 neu2-1-4" ;
img_2102       1      "neu 2 neu2-1-5" ;
img_5390       2      "neu 2 neu2-1-6" ;
img_7595       2      "neu 2 neu2-1-7" ;
img_2445       2      "neu 2 neu2-1-8" ;
img_7550       2      "neu 2 neu2-1-9" ;
img_2445       1      "neu 2 neu2-1-10" ;
img_7550       1      "neu 2 neu2-1-11" ;
img_5390       2      "neu 2 neu2-1-12" ;
```

```

};

#####
#[0-back-2-neg]####

#####
#####
# Pause mit Anweisung
TEMPLATE "Pause.tem" {
    Text;
    "0 zurück";
};

#####
#####
#### 0-back-2-neg: Hinweis auf das zu merkende Bild
trial {
    trial_type = fixed;
    trial_duration = 3000;
    picture {
        text { caption = "Bei folgendem Bild \n\ bitte links
drücken..."; font = "Geneva"; font_size = 50; };
        x=0;y=0;
    };
    time = 0;
};
#### 0-back-2-neg: Praesentation des zu merkenden Bildes
trial {
    trial_duration = 3000;
    picture img_2703;
};
#### Pause zwischen Targetpresentation und erstem Bild des
Blocks

TEMPLATE "PauseII.tem";

#####
#####
# 0-back, Block 2, negativ
TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Bild
image          button  identifier  ;

```

```

img_9520      2      "neg 0 neg0-2-1"      ;
img_6821      2      "neg 0 neg0-2-2"      ;
img_6821      2      "neg 0 neg0-2-3"      ;
img_2703      1      "neg 0 neg0-2-4"      ;
img_9470      2      "neg 0 neg0-2-5"      ;
img_2703      1      "neg 0 neg0-2-6"      ;
img_6241      2      "neg 0 neg0-2-7"      ;
img_6242      2      "neg 0 neg0-2-8"      ;
img_2703      1      "neg 0 neg0-2-9"      ;
img_9000      2      "neg 0 neg0-2-10"     ;
img_2703      1      "neg 0 neg0-2-11"     ;
img_6241      2      "neg 0 neg0-2-12"     ;
};

```

```

#####
#[1-back-2-neu]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {
    Text;
    "1 zurück";
  };

```

```

#####
#####
# 1-back, Block 2, neutral
  TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Bild
image      button      identifier      ;
img_7037   2      "neu 1 neu1-2-1"      ;
img_7002   2      "neu 1 neu1-2-2"      ;
img_7002   1      "neu 1 neu1-2-3"      ;
img_2495   2      "neu 1 neu1-2-4"      ;
img_2495   1      "neu 1 neu1-2-5"      ;
img_2372   2      "neu 1 neu1-2-6"      ;
img_2372   1      "neu 1 neu1-2-7"      ;
img_7052   2      "neu 1 neu1-2-8"      ;
img_2104   2      "neu 1 neu1-2-9"      ;
img_2104   1      "neu 1 neu1-2-10"     ;
img_7052   2      "neu 1 neu1-2-11"     ;
img_7037   2      "neu 1 neu1-2-12"     ;
};

```

```
#####
#[2-back-2-neu]####
#####
#####
# Pause mit Anweisung
  TEMPLATE "Pause.tem" {

    Text;
    "2 zurück";
  };
#####
#####
# 2-Back, Block 2, neutral
  TEMPLATE "nback.tem" {
# image = Anzuzeigendes Bild
# button = korrekter Response-Button: 1 = match; 2 = no match
# identifier = Anzeige im Logfile. z.B. 1-1-1 = 1-Back, 1.
Block. 1. Bild
image      button  identifier ;
  img_7036      2      "neu 2 neu2-2-1"      ;
  img_7090      2      "neu 2 neu2-2-2"      ;
  img_2441      2      "neu 2 neu2-2-3"      ;
  img_7090      1      "neu 2 neu2-2-4"      ;
  img_2441      1      "neu 2 neu2-2-5"      ;
  img_7546      2      "neu 2 neu2-2-6"      ;
  img_7242      2      "neu 2 neu2-2-7"      ;
  img_7546      1      "neu 2 neu2-2-8"      ;
  img_2235      2      "neu 2 neu2-2-9"      ;
  img_7036      2      "neu 2 neu2-2-10"     ;
  img_2235      1      "neu 2 neu2-2-11"     ;
  img_7242      2      "neu 2 neu2-2-12"     ;
};
```

C. Wertetabellen Verhaltensdaten

Tabelle IV.C.1: Reaktionszeiten. Die Spaltenbezeichnungen beziehen sich auf die unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen und Emotionen: neg_0: negative Bilder, 0-back-Kondition, neg_1: negative Bilder, 1-back-Kondition, neg_2: negative Bilder, 2-back-Kondition, neu_0: neutrale Bilder, 0-back-Kondition, neu_1: neutrale Bilder, 1-back-Kondition, neu_2: neutrale Bilder, 2-back-Kondition

Proband	Neg_0	Neg_1	Neg-2	Neu_0	Neu_1	Neu_2
K03	383,26	421,79	470,21	421,71	385,13	358,06
K04	471,63	543,56	538,32	471,03	450,49	482,65
K08	506,06	766,64	768,52	487,33	660,44	800,23
K10	716	687,91	804,58	597,93	713,33	800,55
K12	479,27	490,07	606,86	477,9	509,19	643,88
K13	760,92	915,87	1006,92	716,46	616,11	775,49
K15	796,65	777,48	894,61	774,13	932,23	1105,95
K16	524,42	618,64	640,53	460,16	660,41	662,34
K17	468,45	742,06	817,44	589,1	472,32	740,49
K18	477,8	558,98	644,18	469,56	491,89	642,73
K19	769,07	996,25	1000,65	924,22	784	818,77
K20	394,79	439,99	488,68	457,64	433,08	421,27
K21	351,6	381,63	457,32	334,46	319,29	451,2
K23	374,43	443,85	495,18	396,4	398,14	468,88
K24	627,4	681,6	816,28	562,39	580,92	773,87
K25	507,87	517,25	576,96	491,55	489,37	606,25
K26	554,06	571,7	614,19	545,55	506	563,7
K27	841	861,31	965,41	811,45	927,02	1010,47
K28	489,76	474,63	572,37	488,89	438,28	475,44
K30	448,57	463,78	462,8	448,43	381,27	517,18
K31	866,55	920,29	812,02	731,1	822,18	799,84
K34	1048,9	860,59	862,94	1119,45	787,62	886,65
K35	617,65	781,97	820,05	617,74	782,66	838,19

Tabelle IV.C.2: Fehlantworten. Die Spaltenbezeichnungen beziehen sich auf die unterschiedlichen Schwierigkeitsstufen und Emotionen: neg_0: negative Bilder, 0-back-Kondition, neg_1: negative Bilder, 1-back-Kondition, neg_2: negative Bilder, 2-back-Kondition, neu_0: neutrale Bilder, 0-back-Kondition, neu_1: neutrale Bilder, 1-back-Kondition, neu_2: neutrale Bilder, 2-back-Kondition

Proband	Neg_0	Neg_1	Neg_2	Neu_0	Neu_1	Neu_2
K03	1	4	5	1	3	3
K04	0	0	1	0	0	0
K08	1	1	0	0	0	1
K10	2	7	3	0	0	7
K12	0	1	0	1	1	1
K13	0	0	3	0	1	1
K15	2	1	3	0	0	2
K16	2	2	3	0	0	2
K17	0	0	0	0	0	0
K18	0	0	1	0	0	0
K19	2	2	1	0	1	0
K20	0	0	0	0	0	1
K21	2	0	1	0	0	0
K23	2	0	1	0	0	0
K24	0	0	1	0	0	0
K25	0	1	1	0	0	0
K26	1	0	2	1	0	2
K27	0	1	1	0	0	0
K28	0	0	1	0	0	0
K30	0	3	0	3	1	2
K31	4	2	2	1	2	2
K34	8	2	3	6	0	3
K35	0	1	5	0	0	1