

Aus dem Institut für Medizinische Psychologie der  
Universität München  
Lehrstuhl: Medizinische Psychologie  
Vorstand: Prof. Dr. Martha Merrow

**Hierarchie der Emotionen:**  
**Eine fMRT-Studie zur übergeordneten Verarbeitung**  
**von Arousal gegenüber Valenz**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von

**SANDRO CHRISTIAN DANNER**

aus

**MÜNCHEN**

Jahr

**2015**

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

**Berichterstatter: Prof. Dr. phil. Dr. med. habil. Ernst Pöppel**

**Mitberichterstatter: Prof. Dr. Jochen Gerstenmaier  
Priv. Doz. Dr. Gunther Fesl  
Prof. Dr. Florian Kolb**

**Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. rer. nat. Evgeny Gutyrchik**

**Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel**

**Tag der mündlichen Prüfung: 15.10.2015**

# INHALTSVERZEICHNIS

1. Überblick
2. Einleitung
  - 2.1. Emotionen – kognitive Mechanismen und deren neuronale Korrelate
  - 2.2. Zeitwahrnehmung – kognitive Mechanismen und deren neuronale Korrelate
  - 2.3. Fragestellung und Hypothesen
3. Methoden
  - 3.1. Versuchspersonen
  - 3.2. Stimuli
  - 3.3. Versuchsaufbau und Ablauf
    - 3.3.1. Experiment I: Arousal
    - 3.3.2. Experiment II: Valenz
  - 3.4. Magnetresonanztomographie
  - 3.5. Daten-Analyse
4. Ergebnisse
  - 4.1. Stimulusbewertung durch Online-Fragebogen
  - 4.2. Emotionsvariante
    - 4.2.1. Arousal-Teil der Emotionsvariante
    - 4.2.2. Valenz-Teil der Emotionsvariante
  - 4.3. Zeitvariante:
    - 4.3.1. Arousal-Teil der Zeitvariante
    - 4.3.2. Valenz-Teil der Zeitvariante

5. Diskussion
  - 5.1. Emotionsvariante
    - 5.1.1. Stimulus-Auswahl
    - 5.1.2. Behavioral
    - 5.1.3. Neuronal
  - 5.2. Zeitvariante
    - 5.2.1. Behavioral
    - 5.2.2. Neuronal
6. Zusammenfassung und Ausblick
7. Literaturverzeichnis
8. Anhang

# 1. ÜBERBLICK

Was ist angenehmer anzusehen, ein Grab oder der darin liegende Leichnam? Nach der derzeit vorherrschenden Theorie der multidimensionalen Emotionsentstehung sollte beides gleich angenehm anzusehen sein, denn beiden Bildern wurde in Experimenten ein ähnlicher Valenz-Wert zugeordnet. Zwar unterscheiden sie sich deutlich in der Höhe des Arousal-Wertes – das Bild eines Leichnam liegt auf einem deutlich höheren Erregungslevel – doch soll dies auf die Bewertung der Valenz keinen Einfluss haben, da Arousal und Valenz als voneinander unabhängige Dimensionen von Emotionen gelten. Intuitiv werden dennoch die meisten Personen das geschlossene Grab bevorzugen.

Diese zur postulierten Unabhängigkeit von Valenz und Arousal widersprüchliche Annahme wurde im folgenden Experiment auf behavioraler wie auch neuronaler Ebene überprüft. Hierfür wurden 18 Probanden geschlechtsspezifisch angepasste emotionale Bildstimuli der als normiert geltenden IAPS-Database präsentiert. In einem als Dilemma-Entscheidung aufgebauten Paradigma sollten sich die Probanden jeweils für das angenehmere bzw. aufregendere von zwei Bildern entscheiden, während gleichzeitig die neuronale Aktivität via funktioneller Magnetresonanztomographie aufgezeichnet wurde. Als Vergleichsbedingung diente ein emotional neutrales Paradigma zur Zeitschätzung.

Es konnte hochsignifikant gezeigt werden, dass Arousal und Valenz nicht unabhängig voneinander verarbeitet werden. Vielmehr wird Arousal der Valenz vorgeschaltet und übergeordnet prozessiert, womit neuronale Erregung im rechten Parietalcortex korreliert. Erst wenn eine eindeutige Präferenz auf der Arousal-Ebene nicht möglich ist, wird nachrangig nach Valenz entschieden, worauf zusätzliche Aktivität im rechten Präfrontalcortex hinweist.

Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse sollte das herrschende Bild einer ein-dimensionalen Emotionsentstehung hin zu eine hierarchischen Ordnung der einzelnen Emotions-Dimensionen überdacht werden, wie im Folgenden gezeigt wird.

## 2. EINLEITUNG

### 2.1 *Emotionen - kognitive Mechanismen und deren neuronale Korrelate*

Was ist eine Emotion? Ende des 19. Jahrhunderts waren Emotionen für James lediglich viszerale Veränderungen im Körper, denen er jede nur vom Empfindenden selbst wahrnehmbare, subjektive Komponente absprach (James, 1890/1950). Sein Zeitgenosse Cannon vertrat in einer viel beachteten Kritik an James' Theorie den Ansatz, nicht somatoviszzerale Erregungen bedingten Emotionen, sondern gerade anders herum bedinge eine bestimmte Emotion die spezifischen autonomen Erregungsmuster (Cannon, 1927). In einer dritten, moderneren Version desselben Ansatzes kamen Schachter und Singer zu dem Schluss, dass zwar doch die autonomen Erregungsmuster der Emotion vorangehen, diese aber nicht die Qualität der Emotion, sondern lediglich die Intensität dieser festlegt (Schachter, 1962). Landis und Hunt definierten Emotionen 1932 als einen höchst variablen Zustand, der dazu beiträgt, Urteile zu verkomplizieren (Landis, 1932). Ortony, Clore und Collins erstellten erstmals einen hierarchisch aufgebauten Baum aus 22 verschiedenen Emotionen (Ortony, 1988). Allerdings erklärte LeDoux 1996, dass die verschiedenen Emotionen beginnend bei den Entstehungsmechanismen nichts gemeinsam hätten (LeDoux, 1996), was auch einen eventuellen hierarchischen Zusammenhang der einzelnen Emotionen abwegig erscheinen ließ.

Angesichts dieser Bandbreite an streitbaren Meinungen ist wohl die größtmögliche Näherung an eine Definition von Emotionen eine allgemein beschreibende Arbeitsdefinition, wie man sie bei Meyer, Reisenzein und Schützwohl findet (Meyer, 2001, p. 24):

*„1. Emotionen sind zeitlich datierte, konkrete einzelne Vorkommnisse von zum Beispiel Freude, Traurigkeit, Ärger, Angst, Eifersucht, Stolz, Überraschung,*

*Mitleid, Scham, Schuld, Neid, Enttäuschung, Erleichterung, sowie weiterer Arten von psychischen Zuständen, die den genannten genügend ähnlich sind.*

*2. Diese Phänomene haben folgende Merkmale gemeinsam:*

- a) Sie sind aktuelle psychische Zustände von Personen.*
- b) Sie haben eine bestimmte Qualität, Intensität, Dauer.*
- c) Sie sind in der Regel objektgerichtet.*
- d) Personen, die sich in einem dieser Zustände befinden, haben normalerweise ein charakteristisches Erleben (Erlebensaspekt von Emotionen), und häufig treten auch bestimmte physiologische Veränderungen (physiologischer Aspekt von Emotionen) und Verhaltensweisen (Verhaltensaspekt von Emotionen) auf.“ (Meyer, 2001)*

Auch hier wird ein Zusammenhang der einzelnen Emotionen, insbesondere ein hierarchischer, bewusst nicht erwähnt.

### ***Emotionsentstehung***

Die klassischen *Behavioristen* gingen davon aus, dass Emotionen lediglich die beobachtbaren Verhaltensweisen wären, die als Reaktion auf ein bestimmtes Objekt ausgelöst würden. Vertreter dieser Verhaltenstheorien wie Watson (1919) klammerten hier den Erlebensaspekt bewusst aus, da er nicht objektiv und damit nicht wissenschaftlich legitim untersucht werden könne.

Die sogenannten *mentalistischen* Emotionstheorien dagegen sehen Emotionen als meist bewusst mit mentalen, also psychischen Zuständen assoziiert an (Russel, 1995). Hier wird dem Erlebensaspekt also nicht nur Raum gewährt, sondern ganz bewusst der Fokus darauf gesetzt.

Eine vermittelnde oder zusammenfassende Erklärung bieten die sogenannten *Syndromtheorien*. Deren Vertreter wie Plutchik (1980), Arnold (1960) oder Lazarus (1991) versuchten, behaviorale und mentalistische Theorien zu verbinden, indem Emotionen als komplexe Kombinationen aus Gefühlen, Handlungstendenzen, physiologischen Erregungen und kognitiven Einschätzungen betrachtet werden. Somit werden Emotionen als multidimensionale Zustände charakterisiert, deren letztendliche Ausprägung von verschiedenen Unterkategorien und deren spezifischen Eigenschaften abhängt. Alle Emotionen sind Sprosse eines einzigen Regelsystems und somit miteinander verknüpft.

*Kognitive Emotionstheorien* verbinden zwei Prozesse, die lange Zeit als unvereinbar galten: Einerseits die Kognition, also das meist bewusste Verarbeiten von Informationen, das Denken an sich, und andererseits den Affekt, die Emotion, oft unwillkürliche, fast reflexhafte Zustände. Die Verknüpfung bildet hierbei die kognitive Bewertung des Objekts einer Emotion, die letztendlich zum affektiven Ausdruck der Emotion führt (Meyer, 2001). Die Interpretation des Objekts in Bezug auf die eigenen Wünsche und Ziele ist somit die Kerninstanz, von der abhängt, welche Emotion ausgelöst wird.

Einen Zweig der kognitiven Emotionstheorien stellt die *2-Faktoren-Theorie* dar. In jamesianischer Tradition definierte Schachter eine Emotion wie folgt:

*„Ein emotionaler Zustand kann als Funktion eines physiologischen Erregungszustandes und einer für diesen Erregungszustand ‚passenden‘ Kognition angesehen werden.“* (Schachter, 1964).

Dem zufolge benötigt eine erlebte Emotion zwei grundlegende Faktoren: Eine primär unerklärliche Erregung durch eine sympathische Aktivitätssteigerung, sowie eine anschließende kognitive Erklärung dieser Erregung anhand der aktuellen Situation. Emotionen unterschiedlicher Qualität entstehen demnach aus einer neutralen, plastischen physiologischen Erregung, die die Intensität der Emotion festlegt, während die kognitive Kausalattribution der aktuellen Situation die Qualität der Emotion zuschreibt.

Einer Ereigniswahrnehmung folgt also eine Aktivierung von Wissen über ähnliche Ereignisse aus der Vergangenheit und damit eine unbewusste Einschätzung des Ereignisses als emotionsrelevant. Dadurch wird physiologische Erregung ausgelöst, die zur Wahrnehmung gelangt. Diese Erregung wird kausalattributiv auf die emotionale Einschätzung des Ereignisses zurückgeführt, was dann letztendlich zur Auslösung der bewussten Emotion führt (Schachter, 1964). Wenn aber die eigentliche Emotion auf einer Einschätzung der Ereignisse beruht, sind dann alle möglichen Emotionen gleich wahrscheinlich bzw. unabhängig voneinander?

### ***Die Basis-Emotionen***

Bereits Darwin entwickelte die Idee, dass es ein Set an Grundemotionen geben könnte, deren Form und Ausdruck interkulturell allen Menschen gemein ist und deshalb weltweit verstanden würde (Darwin, 1872). Dieser Gedanke wurde von vielen evolutionspsychologischen Wissenschaftlern aufgegriffen und weiterentwickelt (McDougall, 1926; Ekman, 1971 u. 1992; Ortony, 1990). Die Grundannahmen der Basisemotionen lauten hierbei: Basisemotionen sind eine Teilmenge aller Emotionen des Menschen, die sich entwickelt haben, um mittels physiologischer Mechanismen zur schnellen Lösung spezifischer Anpassungsprobleme beizutragen. Dabei sind Basisemotionen die Grundbausteine aller anderen Emotionen und im Gegensatz zu diesen nicht weiter unterteilbar (Plutchik, 1980; Meyer, 2001).

Nach dieser Annahme sind komplexere Emotionen nach Meinung vieler evolutionspsychologischer Autoren eine Kombination aus mindestens zwei der Basisemotionen (Ortony, 1990; Meyer, 2001). Besonders intensiv hat diese „Mischpalette“ an Emotionen Plutchik (1980) erforscht. Er konstruierte eine Art „Farbkreis“, bei dem gegensätzliche Basisemotionen sich gegenüber stehend angeordnet waren. Die Kombination aus zwei nebeneinander liegenden Basisemotionen ergab eine Mischemotion der primären Dyade. So sei beispielsweise Enttäuschung eine Kombination aus Überraschung und Traurigkeit. In einer dritten Dimension staffelte noch die empfundene Intensität die Feinausprägung der Basisemotion, z.B. wird Schwermut mit zunehmender Intensität zu Traurigkeit und

schließlich zu Kummer. Grundlage für diese beliebige Kombinierbarkeit ist, dass die Grundemotionen tatsächlich unabhängig voneinander sind.

Ist der Grundgedanke der Basis-Emotionen zwar intuitiv reizvoll, so weisen doch alle Theorien einige gemeinsame und schwerwiegende Kritikpunkte auf: So gibt es keine Einigkeit, welche Emotionen genau zu den Basisemotionen gerechnet werden sollten und warum. So stimmen Tomkins (1984) und Izard (1977) weitgehend mit Ekman (1971) überein, indem sie als Basisemotionen solche akzeptieren, zu denen ein interkulturell konstantes Mimik-Muster bekannt ist. McDougall allerdings sieht den Kern der Basisemotionen in einer instinktbezüglichen Handlungstendenz, die er neben Furcht, Ärger, Ekel und Traurigkeit auch in Unterwürfigkeit, Zärtlichkeit, Staunen und Hochgefühl erkennt, nicht aber in Freude und Überraschung (Meyer, 2001). Doch allein die Tatsache, dass noch keine einheitliche Ordnung gefunden wurde, beweist nicht, dass es keine gibt.

Meist wird außerdem vorausgesetzt, dass die einzelnen Basisemotionen zusammen mit spezifischen physiologischen Veränderungen auftreten. Besteht eine komplexere Emotion aber aus zwei Basis-Emotionen, können deren physiologische Veränderungen sich widersinnig verhalten, wie das beispielsweise bei steigendem und sinkendem Blutdruck der Fall wäre. Welche der voneinander unabhängigen Basisemotionen dominiert in einem solchen Fall die andere?

Des Weiteren sollen Basisemotionen als eine der Grundannahmen nicht mehr weiter unterteilbar sein. Dennoch scheint es eine weitere „Grundkomponente“ zu geben, die die Basisemotionen in angenehme und unangenehme Emotionen teilt. Diese wird als Lust bzw. Unlust bezeichnet (Russel, 1980a; Reisenzein, 1994).

### ***Multidimensionale Emotionstheorien***

Eine andere Herangehensweise an die Komplexität der Emotionen und ihrer Zusammenhänge stellen die multidimensionalen Theorien dar (Russel, 1980a; Posner, 2005; Gerber, 2008). Hierbei werden nicht mehr diskrete Basisemotionen als Bausteine einer scharf facettierten Emotionsvielfalt gefordert. Vielmehr wird jede

Emotion als die Summe von unterschiedlichen Ausprägungsgraden auf verschiedenen, emotionalen Grunddimensionen gesehen, so dass es zwischen den einzelnen Emotionen fließende Übergänge geben kann. Somit werden Emotionen ausgehend von multidimensionalen Theorien als Kontinuum von miteinander verwobenen und oft auch nicht eindeutig begrenzten Gemütszuständen gesehen.

Dabei bestehen folgende Forderungen:

- Die Dimensionen sind unabhängig voneinander (Schlossberg, 1952; Green, 1975; Russel, 1980a).
- Sie sind bipolar, das heißt sie stellen ein Kontinuum zwischen zwei Extremen dar (Lundberg, 1975; Russel, 1980a).
- Jede einzelne Emotion besteht aus einer freien Kombination von Ausprägungen in jeder dieser Dimensionen, d.h. jeder Emotion entspricht ein Punkt in dem Raum, den die Grunddimensionen aufspannen (Schlossberg, 1952; Russel, 1980b).

Bereits in den 60er Jahren konnten Osgood und Kollegen (1957) mittels des semantischen Differenzials eine erste Faktorenanalyse emotionaler Grunddimensionen erstellen. Sie ließen internationale Probanden mit Hilfe von sich gegenüberstehenden Wortpaaren eine Liste von in allen Kulturen vorkommenden Worten bezüglich deren Eigenschaften bewerten (z.B. hart-weich, schnell-langsam). Daraus errechneten sie mit Hilfe der Faktorenanalyse die drei grundlegenden Dimensionen *evaluation*, *potency* und *activity*, die interkulturell konstant jedem einzelnen Wort einen spezifischen Platz im dadurch definierten Wortraum zuweisen sollten (Osgood, 1964).

Zur selben Zeit untersuchte Schlossberg (1952) die Fehler, die Probanden beim Benennen typischer emotionaler Gesichtsausdrücke machten. Davon ausgehend ordnete er eine Anzahl an Emotionen nach ihrem Verhältnis zueinander in Kreisform an und schloss davon auf zwei grundlegende, bipolare Dimensionen: Angenehm – unangenehm und anziehend – abstoßend (engl.: *pleasantness* - *unpleasantness* und

*attention - rejection*). Später (Schlossberg, 1954) ergänzte er diese Theorie um eine dritte Dimension, Schlaf – Anspannung (engl. *sleep - tension*).

Einige Jahre später erstellte Konorski auf Grundlage seiner Reflex-Forschung ebenfalls ein mehrdimensionales Modell der Emotionen (Konorski, 1967). Seiner Ansicht nach kämen je nach aktueller Situation und Motivation zwei unterschiedliche Kategorien unkonditionierter Reflexe zum Einsatz, nämlich selbsterhaltende Reflexe (engl. *preservative*) wie der Schluckreflex, und Schutzreflexe (engl. *protective*) wie der Lidschlussreflex. Beide Kategorien an Reflexen würden durch den Grad der allgemeinen Aktivierung oder Erregung beeinflusst (Lang, 1995).

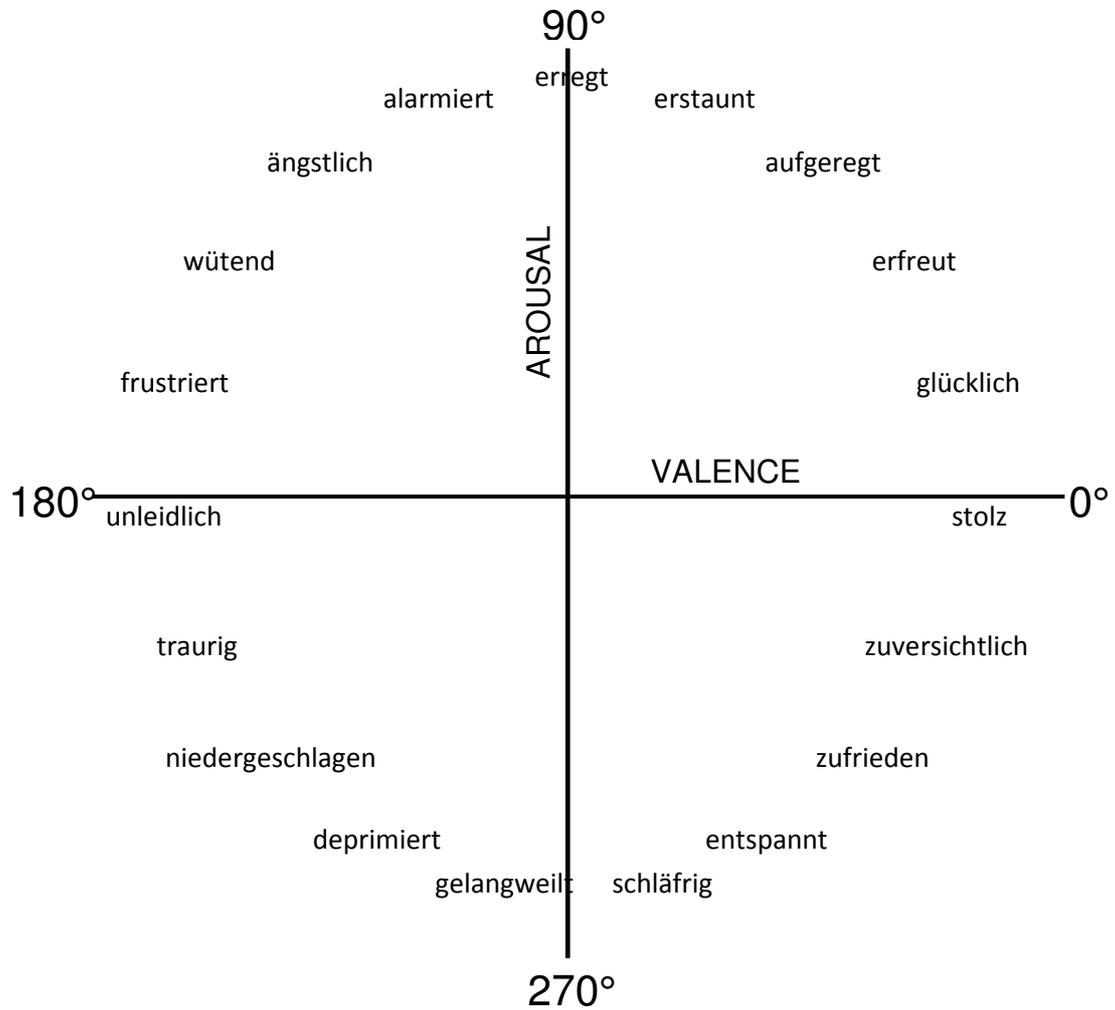
Mit dem Fokus auf die situationsspezifische Motivation des handelnden Individuums stellten Dickinson und Dearing (1979) daraufhin die Theorie von zwei gegensätzlichen Motivationssystemen auf: Aversivität und Attraktivität, die jeweils durch spezifische unkonditionierte Stimuli ausgelöst würden und sich gegenseitig hemmten.

Gegenwärtig geht man von mindestens zwei getrennten Dimensionen aus (siehe Abb. 1), nach denen emotionale Stimuli bewertet werden und die die verschiedenen Abstufungen an Emotionen auslösen (Russel, 1980a; Gerber, 2008):

Die eine Dimension ist die Valenz, also die emotionale Färbung, die Attraktivität oder Aversivität, die einem affektiven Stimulus innewohnt, bzw. ob ein Stimulus eher eine Annäherung oder ein Zurückweichen auslöst. Lang verwendet für diese Dimension folgende Beschreibungen der Extreme (Lang, 1980): Beim negativen Minimum fühle man sich genervt, unglücklich, unzufrieden, traurig, beim positiven Maximum hingegen glücklich, erfreut und zufrieden. Vereinfacht stellt Valenz eine Achse dar, die den emotionalen Raum zwischen „angenehm“ und „unangenehm“ aufspannt. Synonym werden auch Begriffe wie *pleasantness* und Bewertungsdimension verwendet.

Die zweite Dimension wird im allgemeinen Arousal oder Intensität genannt. Sie entspricht der Aktivierung bzw. der Erregung, die man durch einen affektiven Stimulus erfährt. Die entsprechenden Benennungen der Achsenenden wären nach Lang (1980) analog zur Valenz folgende: Das Minimum fühlt sich träge, entspannt,

gelangweilt, ruhig an, das Maximum hingegen aufregend, stimuliert, rasend, angeregt bzw. erregt.



**Abbildung 1:** Circumplex model of affect, verändert nach Russel, 1980a

Deutlich umstrittener ist eine dritte Achse, die Dominanz oder *Power*. Hiermit wird beschrieben, wie gut die emotionale Wirkung eines affektiven Stimulus kontrollierbar ist. In den Extremen dieser Dimension soll man sich beim Betrachten des auslösenden Stimulus entweder klein, mickrig, submissiv und kontrolliert, oder aber groß, stark, dominant, autonom und kontrollierend fühlen (Lang, 1980). Im Vergleich zu den Dimensionen Valenz und Arousal ist die Varianz der Dominanz bei Bewertungen emotionaler Stimuli weitaus größer und interindividuell unterschiedlicher, weshalb noch geklärt werden muss, ob es sich dabei um eine echte eigenständige Grunddimension handelt (Pereira, 2000).

Des Weiteren wurden auch noch andere bipolare Grunddimensionen vorgeschlagen wie Depression – Hochstimmung und Zufriedenheit – Unzufriedenheit (Lundberg, 1975), allerdings handelt es sich dabei häufig nicht um vollständig eigenständige Dimensionen, sondern eher um eine Rotation der Grunddimensionen Valenz und Arousal im stabilen Emotionsraum, so dass der Grundzusammenhang der Emotionen untereinander nicht gestört wird (Russel, 1980a).

Den Dreh- und Angelpunkt all dieser Theorien stellt jedoch die Unabhängigkeit der Grunddimensionen dar. Die bisherige Forschung stützt sich vornehmlich auf das Fehlen eines nachweisbaren Zusammenhangs, was genau genommen aber nicht dasselbe ist.

### ***Neurofunktionelle Korrelate von Emotionsempfindung***

Für Valenz und Arousal wird davon ausgegangen, dass im weitesten Sinne zwei getrennte neurophysiologische Systeme unabhängig voneinander affektiven sensorischen Input verarbeiten, bewerten und zusammen das Bild einer spezifischen Emotion kreieren (Posner, 2005).

Organisch könnte im Valenz-System das mesolimbische, dopaminerge Belohnungssystem eine zentrale Rolle spielen. Es weist zahlreiche Verbindungen zu präfrontalen Cortexarealen sowie der Amygdala und dem Hippocampus auf. Studien mit Abhängigkeit erzeugenden Drogen haben gezeigt, dass hier sowohl positive

sowie bei Entzug auch negative Emotionen entstehen (Drevets, 2001; Goldstein, 2002).

Für das Arousal-System scheint die *Formatio reticularis* die Schlüsselrolle zu spielen. Sie regelt über Verbindungen zum limbischen System wie zum Thalamus das Aktivierungslevel des zentralen Nervensystems (Posner, 2005). Auch die Assoziationsareale des Parietalcortex scheinen eine Vermittlerfunktion zwischen *Formatio reticularis* und Amygdala einzunehmen (Heilman, 2000).

Sowohl im Valenz-, als auch im Arousal-System wird somit ein Teilaspekt eines affektiven Stimulus verarbeitet. Um daraus eine spezifische Emotion zu kreieren, ist es aber noch nötig, auf kognitiver Ebene die physiologischen Profile mit der aktuellen Situation, der persönlichen Verfassung wie auch bereits vergangener Erfahrungen zu verarbeiten. Erst nach diesem Schritt der Interpretation dürfte die eigentliche Emotion ins Bewusstsein dringen (Russel, 2003). Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass dieser Schritt im Präfrontalcortex stattfinden könnte (Fuster, 1997).

Durch klinische Läsionsstudien am Menschen oder am Tiermodell sowie in den letzten Jahren zunehmend bildgebende Verfahren wie Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) wurden die neurofunktionellen Korrelate der Emotionsempfindung weiter erforscht. Im Folgenden werden die Erkenntnisse zur Beteiligung der einzelnen Hirnteile am Emotionsempfinden zusammengefasst. Die physiologischen Daten stammen dabei meist von Tiermodellen, funktionelle Daten aber vom Menschen. Tabelle 1 gibt einen Überblick.

## **Hirnstamm**

Die hier angesiedelten Nuclei regeln die physiologischen Vorgänge im Körper wie Herzfrequenz und Gefäßtonus. Sie besitzen typischerweise sowohl Afferenzen von, als auch Efferenzen zu höheren an Emotionen beteiligten Strukturen wie dem medialen Präfrontalcortex (mPFC), der Insula (INS) und der Amygdala (AMY). Aus der Vielzahl kleiner Nuclei sticht vor allem das Periaquäduktale Grau (PAG) heraus. Ihm wird eine Rolle bei der Entstehung defensiv-aggressiver Emotionen sowie der

Koordination zwischen behavioralen und physiologischen Reaktionen auf eine Bedrohung zugeschrieben. Stimulationen einzelner Säulen, in die das PAG untergliedert werden kann, sollen zumindest im Tiermodell typische Reaktionen auf eine Bedrohung im ganzen Körper auslösen, z.B. Hinwenden, Drohverhalten und Anstieg der Herzfrequenz im Falle der lateralen Säulen, die für Verteidigungsverhalten verantwortlich gemacht werden (Lovick, 1992; Gregg, 2001). Dabei erhält es als integratives Zentrum Afferenzen vieler perilimbischer Hirnareale wie dem Gyrus cinguli anterior (ACC), dem medialen Präfrontalcortex (mPFC) und der Insula (INS) (Shiple, 1991).

### **Zwischenhirn (Diencephalon)**

Die prominentesten Strukturen hier sind vor allem der Hypothalamus (HY) und der Thalamus (TH).

Indem der Hypothalamus die Hypophyse kontrolliert, obliegt ihm die Kontrolle über das endokrine System des Körpers und damit über homöostatische Prozesse und Stressgeschehen. Der laterale Teil erhält Afferenzen vom limbischen System und projiziert selbst zu Mittelhirn und Hirnstamm. Der mittlere Anteil reguliert autonome Funktionen und sogenannte bottom-up-Prozesse zur Aufmerksamkeitsschaffung. Hierfür interagiert er mit diversen Hirnstammkernen (PAG, Formation reticularis, Ncl. parabrachialis, ventrales Tegmentum (VTA), Raphe-Kernen) (Wager, 2008). Der mediale Anteil des Hypothalamus ist v.a. für die endokrine Regulation verantwortlich. Aktivität im Hypothalamus wird vor allem in Studien, die mit positiven Emotionen verknüpft sind, gefunden (Wager, 2008).

Der Thalamus hat die Funktion eines Filters für Sinneswahrnehmungen. Dies ist allerdings nur eine Teilfunktion, da er über Afferenzen und Efferenzen mit dem ganzen Cortex verbunden ist. Von seinen vielen Nervenkerneln sind vor allem der Nucleus mediodorsalis und der Nucleus intralaminaris an Emotionen beteiligt.

## **Subcorticale Bereiche**

In diesem Teil des Gehirns sind große Teile des sogenannte Limbischen Systems lokalisiert, dem eine zentrale Rolle in emotionalen Prozessen zugeschrieben wird. Er besteht aus der Amygdala (AMY), dem Hippocampus, dem Fornix, den Corpora mammilaria, dem Gyrus cinguli und den Nuclei anterioventrales des Thalamus.

Die Amygdala wird allgemein mit der Entstehung von Angst in Verbindung gebracht (Phillips & LeDoux, 1992). Dabei vermittelt der basolaterale, cholinerge Anteil die Lernprozesse, die zur Verknüpfung von Umweltfaktoren mit deren aversiven Folgen führen (Anglada Fugueroa, 2005). Projektionen über das Claustrum zu frontalen Arealen wie dem supplementärmotorischen Feld führen zu einer Motivationssteigerung, die meist zu Fluchtreaktionen führt (Bösel, 2006). Der dopaminerge Nucleus centralis regelt die Änderungen von Verhalten und physiologischen Funktionen, die aus solchen konditionierten Angstreizen resultieren (Kalin, 2004). Von ihm aus gehen Efferenzen an ebenfalls am affektunterstütztem Lernen beteiligte Strukturen wie das Striatum und das Septum, sowie zum Hypothalamus und dem zentralen Höhlengrau, dem eine Rolle bei Instinktbewegungen zugeschrieben wird (Bösel, 2006). Allerdings ist fraglich, in wie weit Furcht an sich als Emotion oder eher negative visuelle Stimuli für die Aktivierung der Amygdala verantwortlich ist (Wager, 2008). Außerdem ist Aktivität in der Amygdala nicht ausschließlich auf negative Stimuli begrenzt (Paton, 2006). Daher lässt sich für die Amygdala allgemeiner sagen, sie ist wichtig für die Bewertung der Relevanz von Sinneseindrücken für den Körper und ist deshalb in bildgebenden Studien häufig im Zusammenhang mit auffälligen, für den Organismus potentiell bedeutsamen Stimuli aktiviert (Whalen, 1998).

Zu den Aufgaben des Hippocampus gehört die Bildung und Festigung von Erinnerungen und wahrscheinlich davon ausgehend auch emotionaler Prozesse, hier vor allem ähnlich der Amygdala die Verhaltenssteuerung bei Angst erzeugenden Stimuli (Maren, 1997).

Die Basalganglien sind neben ihrer allgemein bekannten Rolle für Willkürbewegungen wohl auch an der Entstehung von Emotionen beteiligt. Der Nucleus accumbens und die ventralen Anteile von Striatum und Pallidum sind an

Lern-, Belohnungs- und motivationalen Prozessen beteiligt. Zusammen mit dem lateralen Hypothalamus und dem ventralen Tegmentum nehmen sie sogar eine Schlüsselrolle bei der Entstehung von Motivation ein (Salomone, 1997).

## **Cortex**

Der Paralimbische Cortex nimmt eine Zwischenstellung zwischen dem limbischen System und den eigentlichen, höheren Hirnzentren des Cortex ein, die sich sogar in der histologischen Schichtung wiederfindet. Er ist reich an Projektionen zu älteren Hirnteilen. Zu ihm werden der orbitofrontale Cortex (OFC), der rostral-mediale Präfrontalcortex (rmPFC), die vordere Insula (aINS) sowie Teile des vorderen Temporallappens gezählt. Aus Läsionsstudien weiß man, dass dieser Hirnbereich unter anderem wichtig ist für die Regulation von Emotionen, für die Wahl der dem Kontext entsprechenden Emotion (Berlin, 2004) und die physiologische Anpassung an die aktuelle emotionale Lage (Anderson, 2000). Dem rmPFC wird zusammen mit dem subgenualen ACC eine Verbindung zu viszeromotorischen Reaktionen sowie ein u.U. sogar in mehrere Richtungen wirksamer Einfluss auf adrenerge Angst- und Stressreaktionen zugeschrieben. Der ACC im speziellen soll je nach Anteil an unterschiedlichen emotionalen Vorgängen beteiligt sein. Die rostralen Anteile sollen mehr affekt-bezogen wirken, während die hinteren Anteile vor allem im Zusammenhang mit selektiven Antwortreaktionen aktiviert werden (Wager, 2008). Im Gegensatz dazu soll der dorsomediale OFC bei einer emotionalen Erfahrung, der mediale OFC und der ventromediale PFC sogar nur bei positiven Emotionen aktiv sein (Wager, 2008). Anderen Studien zufolge ist der dorsomediale PFC in der Bewertung emotionaler Stimuli involviert, während der ventromediale PFC die eigentliche affektive Verarbeitung übernimmt (Grimm, 2006). Bezüglich der Entstehung von Emotionen gibt es gute experimentelle Belege dafür, dass sich der Präfrontalcortex funktionell in einen medialen und einen lateralen Anteil untergliedern lässt (Northoff, 2000). Dabei soll der mediale Anteil eher in der affektiven Verarbeitung von Valenz aktiv sein und so die emotionale Qualität von Stimuli feststellen, während der laterale Anteil Aktivierungen eher im Zusammenhang mit der valenzbezogenen Beurteilung und Bewertung dieser Stimuli zeigt (Grimm, 2006).

Auch soll der mediale Anteil eher bei bezüglich der Valenz negativen, der laterale Anteil eher bei positiven Stimuli aktiv sein (Northoff, 2000; Grimm, 2006).

Der vorderen Insula wird eine Funktion in der Interozeption, also der Wahrnehmung von im Körper ablaufenden autonomen Prozessen im Zusammenhang mit Emotionserleben zugeschrieben (Craig, 2002).

Der vordere Temporallappen ist stark an den orbitofrontalen Cortex angebunden und wird bei der Erinnerung bzw. dem mentalen Nacherleben von Erinnerungen aktiv (Miyashita, 1988).

Der Gyrus supramarginalis, die Area 40 nach Brodmann, stellt ein Integrationszentrum höherer Funktionen verschiedener Sinnesmodalitäten dar, in dem komplexe und innovative, gedankliche Konstruktionen verortet sein sollen (Siedentopf, 2010). Afferenzen aus dem sekundär-somatosensorischen Cortex, zum Beispiel über die aktuelle Lage des Kopfes, werden hier mit Informationen aus der Area 7a bezüglich der Koordination beobachteter Objekte verrechnet. Hinzu kommen weitere Informationen aus der Area PG, die für abstrakte Beziehungen von Details im Sehraum zuständig ist und auch die Spiegelneuronen umfassen soll. Diese intermodale Integration komplexer und abstrakter Inhalte ermöglicht das gedankliche Manipulieren sowohl von Objekten wie auch symbolischer Informationen (Knauff, 2002). Im Gyrus supramarginalis sollen somit so komplexe Prozesse wie Perspektivenwechsel und „Shift of Attention“ lokalisiert sein, die eine Voraussetzung für die kognitiven Emotionstheorien darstellen.

**Tabelle 1: Übersicht der neuronalen Korrelate der Emotionsempfindung**

HY=Hypothalamus, TH=Thalamus, PAG=periaquäduktales Höhlengrau, IPFC=lateraler Präfrontalcortex, mPFC=medialer präfrontaler Cortex, INS=Insula, AMY=Amygdala, ACC=Gyrus cinguli anterior, VTA=ventrales Tegmentum, ZHG=zentrales Höhlengrau, HPP=Hippocampus, OFC=orbitofrontaler Cortex

Hirnteil	Spezifische Areale	Aufgabe	Afferenzen von...	Efferenzen zu...	Besonderheiten
<b>Hirnstamm</b>		Regulierung vegetativer Körperfunktionen	mPFC, INS, AMY		
	PAG	Defensiv-aggressive Reaktionen, Koordination zw. behavioralen und physiologischen Reaktionen auf Bedrohung	ACC, mPFC, INS		
<b>Diencephalon</b>					
	Lateraler HY		Limbisches System	Mittel-/Stammhirn	v.a. bei positiven Emotionen aktiv
	Mittlerer HY	autonome Funktionen, bottom-up-Prozesse zur Aufmerksamkeitsschaffung	PAG, Formation reticularis, Ncl. Parabrachialis, VTA, Raphe-Kernen		
	Medialer HY	Endokrine Regulation			
	TH	Filter für Sinneswahrnehmungen	gesamter Cortex		Ncl. Mediodorsalis und intralaminaris an Emotionen beteiligt
<b>Subcorticale Bereiche</b>					
	AMY	Entstehung von Angst	Propiozeptive und sensorische Systeme		Bewertung der Relevanz von Sinneseindrücken allgemein
	Basolat. AMY	Verknüpfung Umwelt mit aversiven Folgen, Motivationssteigerung/Flucht		Clastrum, supplementär-motorisches Feld	
	Ncl. Centralis (AMY)	Änderung von Verhalten und Vegetativum auf Angstreiz		Striatum, Septum, HY, ZHG	

	HPP	Bildung/Festigung von Erinnerungen, Verhaltensteuerung bei Angst			
	Basalganglien	Lern-, Belohnungs- und v.a. Motivations-Prozesse	Lateraler HY, VTA		
<b>Cortex</b>					
	Paralimbischer Cortex	Regulation der Emotionen, Wahl der Emotion passend zu Kontext, physiologische Anpassung an Emotion			Bestehend u.a. aus OFC, rostraler mPFC, anteriore INS, vorderer Temporallappen
	IPFC	valenzbezogene Beurteilung und Bewertung emotionaler Stimuli, positive Valenzen			
	mPFC	affektive Verarbeitung von Valenz, emotionale Qualität von Stimuli, negative Valenzen			
	Ventraler mPFC	Viszeromotorische Reaktionen, adrenerge Angstreaktionen, positive Emotionen, affektive Verarbeitung emotionaler Stimuli			
	Dorsaler mPFC	Bewertung emotionaler Stimuli			
	Subgenualer ACC	Viszeromotorische Reaktionen, adrenerge Angstreaktionen			
	Rostraler ACC	Affektbezogene Aktivierung			
	Posteriore ACC	Selektive Antwortreaktionen			
	Dorsomediale OFC	Emotionale Erfahrungen			
	Medialer OFC	Positive Emotionen			
	Anteriore Insula	Interozeption bei emotionalen Prozessen			
	Ventraler Temporallappen	Erinnerungen, mentales Nacherleben	OFC		
	Gyrus supramarginalis	Integrationszentrum verschiedener Sinnesmodalitäten, gedankliches Manipulieren, symbolische Information, Perspektivenwechsel, Shift of Attention	Sek. Somatischer Cortex, Area 7a, Area PC,		

## **2.2 Zeitwahrnehmung - kognitive Mechanismen und deren neuronale Korrelate**

Die wahrgenommene, subjektive Zeit ist nicht identisch mit der tatsächlichen, physikalischen Zeit. So empfindet man Zeitintervalle, in denen man neue, spannende Dinge tut, kürzer, als solche, in denen alt bekannte Routine geprobt wird (Avni-Babad, 2003). Erst in jüngster Zeit wurde eine Verbindung zwischen Zeitwahrnehmung und Emotionen hergestellt und wie sie das subjektive Zeitempfinden beeinflussen könnte (Wittmann, 2009a). Vermutlich hängt die Geschwindigkeit der inneren Uhr in großem Maße von unserem eigenen, aktuellen, mentalen Zustand ab. Wittmann (2009a) sieht, mathematisch betrachtet, in der Zeit  $t$  sogar eine Funktion  $f$  des Selbst mit dem Selbst als Ganzheit aller psychologischen Eigenschaften und Zustände:  $t = f(\text{selbst})$ . Somit wird die Zeit von uns selbst gemacht und hängt ab von unserer Aufmerksamkeit, dem Arbeits- und Langzeitgedächtnis, unserer Stimmung und sogar unserer Persönlichkeit.

Die subjektive Zeitwahrnehmung kann von zwei methodisch unterschiedlichen Seiten betrachtet werden: Prospektiv oder Retrospektiv (Block, 1997).

Im Falle der prospektiven Zeitschätzung versucht man, ein gerade ablaufendes Zeitintervall bzgl. seiner realen Dauer einzuschätzen, d.h. man kann sich auf die Zeit konzentrieren, die man gerade erfährt. In der retrospektiven Zeitschätzung dagegen muss man im Nachhinein abschätzen, wie lang ein bereits verstrichenes Zeitintervall war. In diesem Fall kann man sich nicht auf die verrinnende Zeit konzentrieren, sondern muss eher mental rekapitulieren und abschätzen. Dabei beschränken sich prospektive Zeitschätzungen allein schon aus praktischen Gründen auf Intervalle bis zu wenigen Minuten, während retrospektiv betrachtete Intervalle theoretisch eine ganze Lebensspanne abdecken könnten.

Je nachdem, welche Art der Zeitschätzung man betrachtet, dürften unterschiedliche neuronale Mechanismen ablaufen.

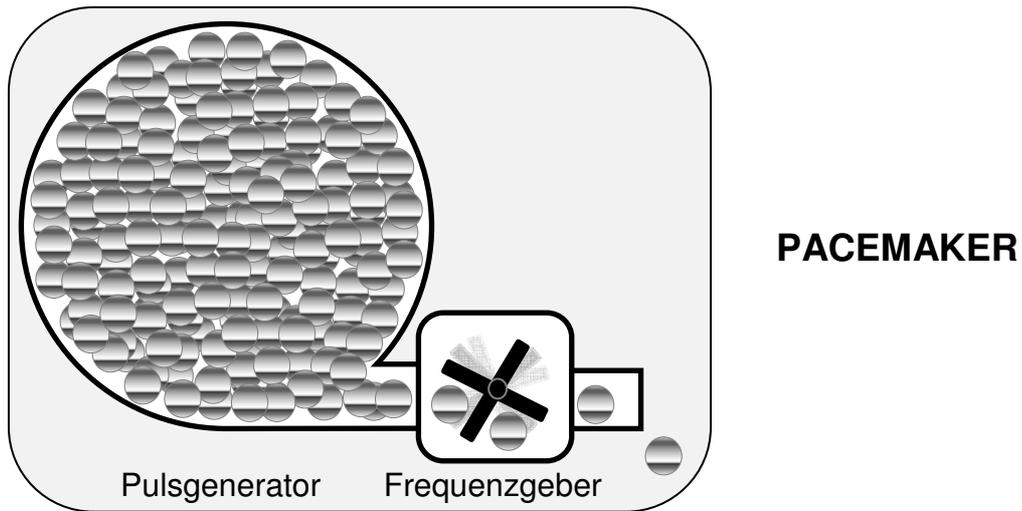
Desweiteren gibt es deutliche Hinweise darauf, dass auch für verschiedene Zeitspannen jeweils andere neuronale Mechanismen greifen. Pöppel (2009) geht von mindestens 2 getrennten Systemen aus: Das eine misst die Zeit in Einheiten von etwa 20 bis 40 ms und ist für die zeitliche Koordination verschiedener Hirnareale bedeutsam. Das andere misst in 2-3s-Einheiten und könnte das zeitliche Bewusstsein prägen. Weitere „Grenzpunkte“ könnten zwischen 50ms und 1 Sekunde liegen (Rammsayer, 1999), 1 Sekunde und darüber (Lewis, 2003) sowie zwischen 1,5 und 1,8 Sekunden (Miyake, 2004). Demgegenüber stellten Lewis und Miall (2009) keine klare Unterteilung der Zeitwahrnehmung mehr fest, sondern vielmehr einen logarithmischen Faktor, der bestimmt, wie mit steigender Intervalldauer die Ungenauigkeit der Zeitschätzung zunimmt. Sie räumten allerdings selbst die Möglichkeit mehr oder weniger nahtlos überlappender Zeitsysteme oder auch zweier Systeme mit einer Grenze bei etwa 3-4 s langen Intervallen ein.

Für zumindest unterschiedliche Verarbeitungsmechanismen bei Intervallen unter bzw. über 2-3 Sekunden Länge sprechen Verhaltensstudien, die zeigen, dass Zeitintervalle zunehmend kürzer reproduziert werden, wenn sie 3 Sekunden Länge überschreiten (Noulhiane, 2007).

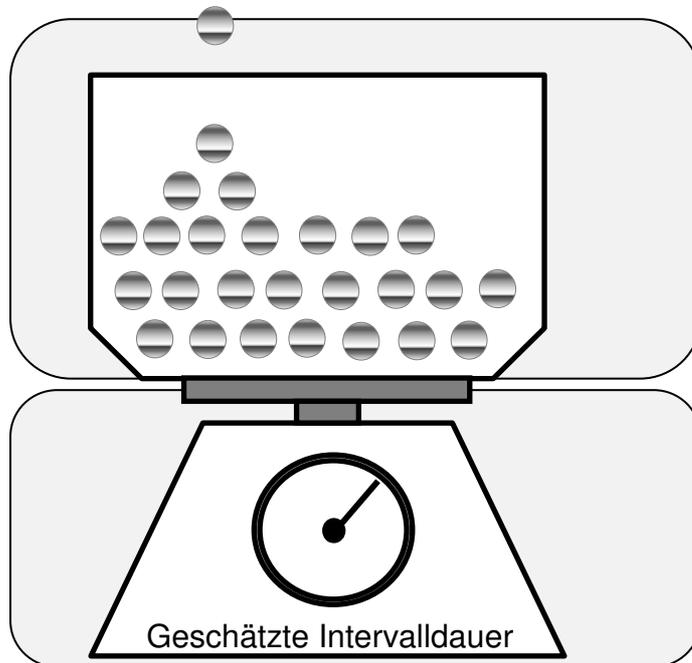
Dabei muss aber stets beachtet werden, dass die wahrgenommenen Zeitintervalle nicht zwangsläufig auch bewusst werden müssen, wie man das von Laufzeitunterschieden im Gehör kennt: Man kann einen Ton sehr wohl orten, nicht jedoch die Laufzeitunterschiede des Schalls einschätzen (Wittmann, 2009b).

### ***Das „Pacemaker-Accumulator-Clock“-Modell***

Das wahrscheinlich einflussreichste und am ehesten akzeptierte Modell prospektiver Zeitschätzung geht von einer – bildlich gesprochen - inneren Stoppuhr aus, die aus verschiedenen Teilen besteht (Allan, 1974), wie Abbildung 2 veranschaulicht: Ein Taktgeber (Pacemaker) erzeugt in einer bestimmten Frequenz Pulse. Diese werden von einem Startmoment an in einer Art Auffangbecken (Accumulator) gesammelt, und zwar so lange, bis das zu schätzende Zeitintervall abgelaufen ist. Die vergangene Zeit wird dann anhand der Menge an gesammelten Pulsen ermittelt. Dabei ist das variable Moment die Frequenz, mit der der Taktgeber „tickt“: Steigt die innere Erregung, steigt auch die Taktgeberfrequenz. Somit werden in einem Zeitintervall A mehr Pulse erzeugt und angesammelt, als würde man das gleiche Zeitintervall A in psychischer Ruhe erleben. Bestimmt aber die Anzahl der gesammelten Pulse im Accumulator die vergangene Zeit, dann wird das Zeitintervall A im Zustand innerer Erregung länger empfunden als beim psychisch ruhigen Erleben. Die Zeit verlief somit subjektiv langsamer, weil man sie auf einem höheren Level innerer Erregung erlebt hat.



**ACCUMULATOR**



**Abbildung 2: Pacemaker-Accumulator-Clock-Modell der Zeitschätzung**

In der Urform dieses Modells wäre die Zeitwahrnehmung ein eigenständiges neuronales Zentrum, das nur über den Grad des Arousals beeinflusst würde. In einer Variante nach Zakay (Zakay, 1997) werden die Zeitpulse allerdings nur gezählt, wenn man seine Aufmerksamkeit neben der eigentlichen Aufgabe auch spezifisch auf die Zeit richtet („attentional gate model“). Hier müssen also die verfügbaren Ressourcen aufgeteilt werden. Auf beides, sowohl die Pacemaker-Frequenz wie auch die Aufmerksamkeit, könnten Emotionen Einfluss nehmen und so in den meisten Fällen zu einer Überschätzung von Intervallen führen. Für derartige Prozesse sprechen Untersuchungen, die die Zeitwahrnehmung unter höchster psychologischer Erregung beobachteten: Hierbei kam es oft zu einer Art „Zeitlupen-Effekt“, der zur starken Überschätzung von Intervallen in Situationen wie FreeFall-Erfahrungen führte (Stetson, 2007). Aber auch erhöhte Aufmerksamkeit auf die Zeit, wie z.B. in Wartesituationen führt zur Überschätzung von Zeitintervallen.

Die Benennung der geschätzten Zeitdauer erfolgt durch Vergleich der aktuell im Arbeitsgedächtnis gespeicherten Dauer mit im Langzeitgedächtnis gespeicherten Erfahrungswerten (Pouthas, 2004). Außerdem wird diskutiert, welche anderen Faktoren neben dem Level der inneren Erregung die Pulsgeberfrequenz beeinflussen könnten und ob ein Zeitgeber für alle Zeitintervalle verantwortlich ist, oder ob es mehrere vergleichbare, aber in der Intervalldauer spezialisierte Pacemaker geben könnte.

### ***Das Netzwerk- bzw. Status-abhängige Modell und andere nicht-zentrierte Modelle***

Das *Netzwerkmodell* geht davon aus, dass es nicht nur ein für die Zeitwahrnehmung zuständiges Hirnareal gibt (Karmarkar, 2007). Vielmehr entsteht das subjektive Bild von der Zeit durch neurale Veränderungen auf zellulärer Ebene, die über mehrere Bereiche des Hirns verteilt sind und anhand derer kurze Zeitintervalle im Bereich unter einer Sekunde gemessen werden können. Durch dieses weit verstreute Netzwerk an Neuronen, die die Fähigkeit zur Zeitmessung besitzen, ließe sich

erklären, warum trotz vieler bildgebender Studien kein eindeutiges Areal der Zeitintegration festgestellt werden kann. Für Zeitintervalle über einigen Hundert Millisekunden Dauer oder gar im Minuten- und Stunden-Bereich kommt dieses Modell auf Grund der kurzen Grundeinheiten allerdings kaum in Frage.

Hierfür besser geeignet wäre ein Modell, nach dem die Zeitmessung gleichsam als Nebenprodukt ohnehin ablaufender Hirnfunktionen abfiele. So könnte beispielsweise das motorische System (oder ein anderes System) mit seinen neuronalen Schleifen an der Zeitmessung beteiligt sein, obwohl die Hauptfunktion woanders liegt (Nobre, 2004).

Das *Zeit-nach-Aufwand*-Modell besagt, dass die empfundene Zeit von dem mentalen Aufwand abhängt, der innerhalb dieses Intervalls nötig war (Marchetti, 2009). So würden Intervalle, in denen neue Aufgaben durchgeführt werden müssten, subjektiv als länger empfunden als solche mit bekannten Aufgaben, da der kognitive Aufwand höher wäre. Eine ganz ähnliche Idee steckt hinter dem „Modell der Geläufigkeit“, das nicht direkt den mentalen Aufwand, sondern das subjektive Empfinden des Schwierigkeitslevels als Zeitmesser verwendet (Oppenheimer, 2008).

In beiden Fällen wäre kein zentraler Zeitgeber nötig, vielmehr würden die kognitiven Prozesse als solcher fungieren. Somit wäre wiederum keine konkrete Zuordnung zu einzelnen Hirnstrukturen verlangt.

### ***Die „Theory-of-magnitude“ und andere zentrierte Modelle***

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Modellen geht die „*Theory of magnitude*“ (Bueti, 2009) weder von einem zentralen Zeitgeber noch von einem auf die Zeitmessung spezialisierten System aus. Vielmehr lautet der Ansatz hier, dass ein spezielles Integrationszentrum, vornehmlich im rechten inferioren Parietal-Cortex, Größen allgemein verarbeitet, unabhängig davon, ob es sich dabei um Zeit, Raum oder Zahlen handelt (Wittmann, 2009a).

Die meisten bisher behandelten Theorien gehen von einem oder mehreren Prozessen aus, bei denen etwas neu hinzu Gekommenes gezählt oder gewichtet wird. Demgegenüber baut das „*Leaky-Integrator*“-Modell darauf auf, dass die Zeit durch den Verlust einer Maßgröße geschätzt wird. Dabei geht Information nach einer bestimmten Konstante in den Integrationsprozessen verloren („Leaky Integrators“). Nach Staddon (2005) stehen dabei Gedächtnisprozesse im Mittelpunkt. Die Zeit würde demnach anhand der sinkenden Erinnerungsstärke wahrgenommen.

Eine Mischung aus Taktgeber und leckendem Integrator befürworteten Wackermann und Ehm (2008) in ihrem „*Dual-Klepsydra*“-Modell: Ein lecker Akkumulator steht hierbei für die Wasseruhr, bei der aus ein- und ausfließenden „Prozessen“ und deren Verteilung auf die vergangene Zeit geschlossen wird.

### ***Das Zeit-nach-Interozeption-Modell***

Wie auch im Fall der Emotionen könnte man als Grundlage für eines der oberen Modelle nicht nur kognitive Prozesse, sondern auch autonome, körpereigene Prozesse wie Herzfrequenz oder Atmung annehmen (Wittmann, 2009 u. 2009a). Eine Steigerung der inneren Erregung, also eine Beschleunigung der vegetativen Prozesse im Körper, würde demnach zu einer konsekutiven Beschleunigung der subjektiven Zeitwahrnehmung führen, was uns Intervalle überschätzen ließe. Als Ort der Integration dieser Prozesse wurde die vordere Insula lokalisiert, die als primäres Rezeptionsgebiet interozeptiver Prozesse gilt (Wittmann, 2009a). Mit diesem Modell wäre der Einfluss der Emotionen auf das Zeitempfinden sehr stimmig gelöst, da beide demselben System entstammen würden (Craig, 2008). Im Sinne der Pacemaker-Accumulator-Theorie würden somit die Körperfunktionen als Quanten fungieren, die von der Insula zur Abschätzung von Zeitdauern verwendet würden. Diese Theorie wird von Studien gestützt, die einen Zusammenhang zwischen autonomen Funktionen und Zeitwahrnehmung z.B. durch medikamentöse Manipulation zeigen (Hawks, 1962).

## ***Neurofunktionelle Korrelate***

Die Zuordnung des „Zeitsinns“ zu bestimmten Hirnarealen ist problematisch. Zeitbezogene Aktivierungen finden sich fast überall im Gehirn und bisher ist nicht klar, welche Bereiche davon tatsächlich mit der Messung der Zeit an sich beschäftigt sind und welche Areale höhere Integrationsprozesse oder sonstige additive Aufgaben, die nicht direkt mit der Zeitwahrnehmung gekoppelt sind, erfüllen. Tabelle 2 gibt einen Überblick.

Der hintere Anteil der Insula soll bei Intervallschätzungen von mehreren Sekunden Länge bilateral aktiv sein, während der linke, vordere Anteil durch schnelle Klick-Salven als Stimuli aktiviert wird (Wittmann, 2009a).

Im Parietalcortex sollen sowohl Zeit, als auch Raum und Zahlen integriert werden (Knauff, 2002; Siedentopf, 2010). Studien mit repetitiver transkranieller Magnetstimulation (rTMS) haben gezeigt, dass jeweils das Zeitempfinden in der entsprechenden Modalität gestört ist, wenn man den primären visuellen oder auditorischen Cortex inhibiert, dass aber in beiden Modalitäten die Zeitschätzung ausfällt, inhibiert man den rechten Parietalcortex (Wittmann, 2009a).

Zu den anderen häufig genannten anatomischen Korrelaten der Zeitwahrnehmung gehören das Cerebellum sowie der rechte Präfrontal-Cortex. Für eine Rolle des Kleinhirns sprechen Studien, die das Zeitschätz-Vermögen von Patienten mit cerebellären Läsionen untersuchten. Hier werden einzelne Neuronenpopulationen vermutet, die zuständig für die Schätzung jeweils spezifischer Intervall-Dauern sind (Ivry, 2004).

Der rechte Präfrontal cortex spielt vor allem im Zusammenhang fronto-striataler Erregungskreise eine Rolle, die sich vom PFC über den Ncl. caudatus, das Putamen und dem Pallidum bis zum Thalamus erstrecken. Hier scheint vor allem eine Dopamin abhängige Zeitwahrnehmung interessant zu sein. Sowohl Dopamin-Agonisten (Methamphetamine) wie auch Antagonisten (Haloperidol) verändern die Zeitwahrnehmung (Buhusi, 2002). Da allerdings Aktivierungen in den Basalganglien

in den meisten bildgebenden Studien fehlen, sind u.U. dopaminabhängige Prozesse im rechten PFC ausschlaggebend für die Zeitwahrnehmung (Lewis, 2006).

Hirnteil	Spezifische Areale	Aufgabe	Afferenzen und Efferenzen
<b>Metencephalon</b>			
	<b>Cerebellum</b>	Einzelne Neuronenpopulationen für jeweils spezifische Intervall-Längen	
<b>Cortex</b>			
	<b>Insula (bds. hinterer Anteil)</b>	Intervallschätzung mehrerer Sekunden Länge	
	<b>Insula (links, vorderer Anteil)</b>	Schnelle Klick-Salven	
	<b>Parietalcortex rechts</b>	Zeitschätzung über visuelle oder auditive Stimuli	
	<b>Rechter PFC</b>	Fronto-striatale Erregungskreise	PFC, Ncl. caudatus, Putamen, Pallidum, TH

**Tabelle 2: Übersicht der neuronalen Korrelate der Zeitempfindung**

### **2.3 Fragestellung und Hypothesen**

Mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie sollen die neuronalen Korrelate einer emotionalen Reaktion und deren möglicher Einfluss auf die Zeitwahrnehmung festgestellt werden. Dabei gibt es zwei Haupt-Foki des Interesses:

Zum einen wird das Augenmerk der Auswertung auf die Verarbeitung emotionaler Bewertungen gelegt. Durch das gewählte Dilemma-Design der Aufgaben auf behavioraler Ebene soll die allgemein vermutete Unabhängigkeit von Valenz und Arousal kritisch überprüft werden. Dabei ist die Hypothese, dass Valenz und Arousal nicht gänzlich unabhängige Bewertungssysteme darstellen.

Auf neuronaler Ebene sollen neurofunktionelle Korrelate der Emotionsentstehung und der Beurteilung emotionaler Stimuli gefunden werden, indem die Verarbeitung von Valenz und Arousal getrennt betrachtet wird. Dabei wären Unterschiede in der neuronalen Verschaltung von Valenz und Arousal zu erwarten. Auf Grund der vorliegenden Literatur vermute ich im Zusammenhang mit Valenz Erregungen vor allem im Bereich höher- und höchstrangiger Assoziationscortices, v.a. des Präfrontalcortex, während im Zusammenhang mit Arousal eher Erregungen in niedrigrangigeren Assoziationsarealen erwartet werden, die mit der viszerosensorischen Selbstwahrnehmung assoziiert werden, wie etwa dem Ruhenetzwerk (Default Mode Network) oder der an viszerosensorischen Afferenzen reichen Insula.

Zum anderen liegt der Fokus der Auswertung auf der subjektiven Zeitwahrnehmung:

Aktuelle Studienergebnisse sprechen für einen Einfluss von Arousal auf die subjektive Zeitwahrnehmung. Dabei ist meine Hypothese im Einklang mit der vorliegenden Literatur, dass steigendes Arousal zu einer Überschätzung der Zeitintervalle führt, während ein ähnlicher Effekt für sinkende Valenz fraglich ist.

Neuronal soll die separate Betrachtung der neuronalen Aktivitätsmuster unter dem Einfluss von Valenz oder Arousal Aufschluss geben über die neurofunktionellen Korrelate der subjektiven Zeitwahrnehmung bzw. deren Beeinflussung durch emotionale Vorgänge. Auch hier wäre die Insula oder Areale im Parietalcortex zu erwartende Erregungszentren.

## 3. METHODEN

### 3.1 Versuchspersonen

Probanden dieser Studie waren 18 gesunde, deutschsprachige Studenten (9 männlich, 9 weiblich, im Alter von  $23,78 \pm 1,96$  Jahren (Minimum: 19 Jahre, Maximum: 27 Jahre) mit normaler oder ausreichend korrigierter Sehstärke. Die Probanden waren als Freiwillige an der medizinischen Fakultät der Universität München angeworben worden. Zusätzlich wurde die relevante medizinische Vorgeschichte der Probanden erfasst, um gegebenenfalls Probanden mit psychischen Krankheiten, Epilepsie, Sucht oder Krankheiten, die die Durchführung einer MRT-Untersuchung verhindern würden, ausschließen zu können. Bei den weiblichen Probanden wurde zum Ausschluss einer Schwangerschaft unmittelbar vor Untersuchungsbeginn ein beta-HCG-Urin-Schnelltest durchgeführt. Alle Probanden wurden mehrere Tage und unmittelbar vor der Untersuchung über Inhalt und Ablauf der Studie sowie Ablauf und Risiken der Magnetresonanztomographie aufgeklärt und gaben ihr informiertes Einverständnis. Sie erhielten eine finanzielle Vergütung. Die Studie entspricht der Deklaration von Helsinki und wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der LMU genehmigt.

Auf Grund von Lateralisations-Phänomenen der Hirnaktivität bei verschiedenen Fragestellungen ist es Konvention, dass bei allgemeinen Fragestellungen nur Rechtshänder an einer fMRT-Untersuchung teilnehmen. Um eine entsprechende Zuordnung der Probanden zu ermöglichen, wurde im Vorfeld der MRT-Studie der Edinburgh Händigkeitstest durchgeführt (Oldfield, 1971). Das vorliegende Probandenkollektiv bestand nur aus Rechtshändern. Der durchschnittliche Edinburgh-Index lag bei +77,3, für die Probandenauswahl wurde ein CutOff von +50 gewählt.

Von den 18 Probanden absolvierten 11 (davon 5 weiblich) das Experiment I (Arousal) und 13 (davon 7 weiblich) das Experiment II (Valenz). 5 Probanden (davon 3 weiblich) nahmen an beiden Experimenten teil.

### **3.2 Stimuli**

Zur gezielten und kalkulierbaren Erzeugung von Emotionen wurden die standardisierten Bilder des International Affective Picture Systems (IAPS) verwendet (Lang, 2008). Dabei handelt es sich um eine Sammlung von Farbfotografien, die Lang et. al. am NIMH Centre for the Study of Emotion and Attention der University of Florida zusammengestellt haben, um ein normatives, allgemein verfügbares Set an emotionalen Stimuli zu schaffen. Die Fotos decken eine große Bandbreite an Motiven aus möglichst vielen Bereichen des Lebens ab, darunter Menschen, Tiere, Gegenstände, Landschaften und Situationsaufnahmen, die verschiedene emotionale Reaktionen hervorrufen. Diese Reaktionen wurden mit Hilfe des piktogrammbasierten, nonverbalen Self-Assessment-Manikins (SAM) (Lang, 1994; Lang, 1980) in bisher mindestens 16 Studien an jeweils 100 Probanden in mindestens 6 westlichen Ländern getestet (Lang, 2007). Dabei wurden die drei Emotionsachsen Valenz, Arousal und Dominanz jeweils neunstufig bewertet, woraus eine international standardisierte und normierte Durchschnittsbewertung für die dreidimensionale emotionale Wirkung jedes Bildes errechnet wurde. Somit bildet das IAPS Bildarchiv eine große Auswahl an Bildern an, die hinsichtlich Valenz, Arousal und Dominanz fein abgestuft sind und eine präzise Stimulus-Wahl ermöglichen.

Für diese Studie wurden geschlechtsspezifisch jeweils insgesamt 64 Bilder ausgewählt, die sich in 8 Untergruppen einordnen lassen. Wie man Tabelle 3 entnehmen kann, wurden die Bilder dabei so ausgesucht, dass bei möglichst geringer Streuung möglichst extreme, aber über die Gruppen nivellierte Werte für Valenz und Arousal erreicht wurden.

**Tabelle 3. Mittlere Valenz- und Arousal-Werte der verwendeten Bild-Stimuli gemäß den Tabellen der IAPS-Datenbank.**

Untergruppe	Abk.	Durchschnittswert Valenz		Durchschnittswert Arousal	
		Männer	Frauen	Männer	Frauen
Valenz hoch, Arousal hoch	V↑A↑	7,60±0,117	7,57±0,305	7,20±0,079	6,75±0,360
Valenz hoch, Arousal niedrig	V↑A↓	7,53±0,244	7,38±0,602	3,63±0,493	3,11±0,187
Valenz hoch, Arousal neutral	V↑A↔	7,48±0,218	7,48±0,124	5,02±0,184	5,02±0,074
Valenz niedrig, Arousal hoch	V↓A↑	2,26±0,322	2,37±0,391	6,96±0,143	7,11±0,221
Valenz niedrig, Arousal niedrig	V↓A↓	3,30±0,515	3,43±0,344	3,62±0,435	3,80±0,120
Valenz niedrig, Arousal neutral	V↓A↔	2,37±0,244	2,31±0,181	5,03±0,114	5,03±0,114
Valenz neutral, Arousal hoch	V↔A↑	5,04±0,331	5,03±0,651	6,44±0,310	6,42±0,154
Valenz neutral, Arousal niedrig	V↔A↓	5,01±0,090	4,99±0,059	3,00±0,052	3,01±0,100

Der für die Erhebung der individuellen Bildbewertungen verwendete Online-Fragebogen wurde mit Hilfe des Online-Services „SurveyGizmo.com“ mit der Programmversion 3.0 erstellt. Die verwendeten modifizierten SAM-Skalen nach Irtel (2007) unterscheiden sich von der Ursprungsversion von Lang (1994) in folgenden Punkten: Die Skalen sind kontinuierliche Skalen, bei denen auf 9 Bewertungsmöglichkeiten auch 9 Graphiken kommen (im Gegensatz zu 5 Graphiken und 4 Zwischenwertungen bei Lang). Für die Valenz-Skala wurde die Portrait-Version von SAM (Suk, 2006) benutzt, bei der die Gesichtszüge des Manikin

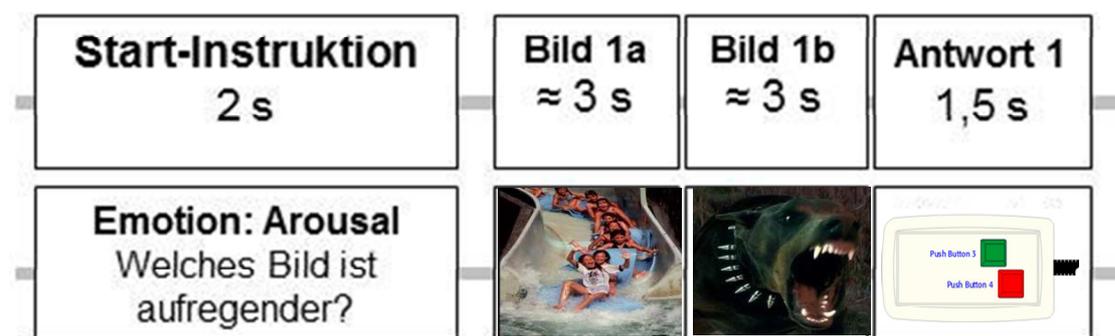
deutlicher zu erkennen sind. Die Dominanz-Skala folgt in der Modifikation dem Weber-Fächner-Gesetz, das heißt, die subjektiv empfundene Stärke des Sinneseindrucks des Manikins verhält sich logarithmisch proportional zum physikalischen Sinnesreiz desselben (Hoppe, 2012).

Jedes der im Versuch verwendeten Stimulus-Bilder sollte analog zu den IAPS-Versuchen mittels der modifizierten SAM-Skala nach Valenz, Arousal und Dominanz bewertet werden. Die Bilder wurden je dreimal pseudorandomisiert präsentiert, eine Zeitvorgabe gab es nicht.

### 3.3 Versuchsaufbau und Ablauf

Als Studiendesign wurde ein Blockdesign gewählt (siehe Abb. 3). Den Probanden wurden jeweils hintereinander für durchschnittlich 3 Sekunden zwei Bilder präsentiert. Anschließend sollten sie sich je nach Fragestellung für eines der beiden Bilder entscheiden, indem sie einen der Knöpfe auf dem Handtaster drückten. Dabei stand der linke Knopf für das erste, der rechte Knopf für das zweite Bild. Eine neutrale Wahlmöglichkeit war nicht vorhanden. Pro Block wurden zwei Bildpaare bewertet.

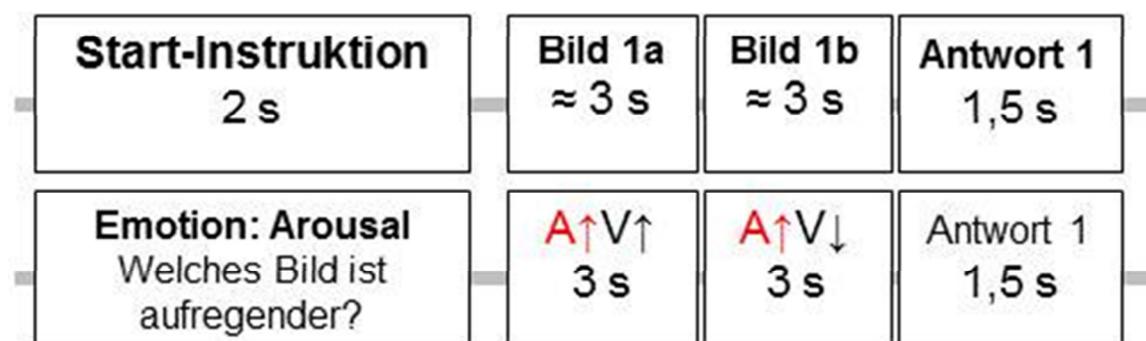
Es wurden zwei unterschiedliche Experimente durchgeführt.



**Abbildung 3:** Beispielhafter Ablauf einer Aufgabe (= halber Block)

### 3.3.1 Experiment I: Arousal

Den Probanden wurden jeweils für 3 Sekunden hintereinander 2 Bilder präsentiert, die im Wert des Arousals gleich waren, sich aber maximal in der Valenz voneinander unterschieden (siehe Abb. 4). Daraufhin wurde den Probanden die Aufgabe gestellt, sich für das Bild zu entscheiden, das sie als aufregender (Arousal) empfanden. Beispielsweise sah ein Proband erst 3 Sekunden einen Wassersportler ( $V\uparrow A\uparrow$ ), nach einer kurzen Pause wieder für 3 Sekunden ein Bild eines Überfalls ( $V\downarrow A\uparrow$ ). Anschließend sollte er mittels Tastendruck entscheiden, welches Bild er aufregender fand. Hierbei standen die Probanden vor einem Dilemma: Die Bilder unterschieden sich zwar in der Valenz, also das eine wirkte angenehm, das andere unangenehm, nicht jedoch im gefragten Arousal. Dennoch mussten sie sich für eines der Bilder entscheiden, da es keine neutrale oder „unentschlossene“ Wahlmöglichkeit gab. Dadurch sollte ermittelt werden, ob der Valenz-Wert das Empfinden des Arousals wirklich nicht beeinflusst, wie es durch die Unabhängigkeit der zwei Dimensionen gefordert wird. Außerdem sollten die neuronalen Korrelate einer Beurteilung nach Arousal geklärt werden.



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung einer Arousal-Aufgabe

Als nicht-emotional geprägtes Pendant zur Emotionsaufgabe wurde ein Zeitparadigma durchgeführt (siehe Abb. 5). Hierfür wurden dieselben Stimulus-Kombinationen verwendet. Jetzt lautete die Frage, welches der Bilder länger zu

sehen war. Die eine Hälfte der Bildpaare in der Zeit-Bedingung unterschied sich tatsächlich nicht in der Präsentationszeit. Hier sollte untersucht werden, ob das Arousal-Level einen Einfluss auf die subjektive Zeitempfindung hat, und was die neuronalen Korrelate dieses Prozesses sind.

Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, wies die andere Hälfte der Bilder reale und gut detektierbare Zeitunterschiede auf. Bei einem Viertel der Bilder wurde die Präsentationszeit des einen Bildes um 10% verlängert, während die des anderen um 10% verkürzt wurde, d.h. Bild A war 3,3 s, Bild B nur 2,7 s zu sehen. Dies ergibt einen Zeitunterschied zwischen den beiden Bildern von ca. 18 %. Bei einem weiteren Viertel der Bildpaare wurden sogar 20% Präsentationszeit pro Bild zugegeben oder abgezogen, was einem paarweisen Präsentationszeitunterschied von ca. 33% entspricht. Bild A war also 3,6 s, Bild B nur 2,4 s zu sehen. Die unterschiedlichen Präsentationszeiten wurden pseudorandomisiert auf die Bildpaare verteilt. Neben der Erhaltung der Motivation der Probanden durch die Schaffung von Erfolgserlebnissen hatte diese Bedingung auch eine Kontrollfunktion, da hiermit nachgewiesen werden sollte, ob die Probanden die gestellte Aufgabe regelrecht und konzentriert erfüllten, wenn sie lösbar war.

<b>Start-Instruktion</b> 2 s	<b>Bild 1a</b> ≈ 3 s	<b>Bild 1b</b> ≈ 3 s	<b>Antwort 1</b> 1,5 s
<b>Zeit: T0</b> Welches Bild ist länger zu sehen?	A↑V↑ 3 s (±0%)	A↓V↑ 3 s (±0%)	<b>Antwort 1</b> 1,5 s
<b>Zeit: T10</b> Welches Bild ist länger zu sehen?	A↑V↑ 3,3 s (+10%)	A↓V↑ 2,7 s (-10%)	<b>Antwort 1</b> 1,5 s
<b>Zeit: T20</b> Welches Bild ist länger zu sehen?	A↑V↑ 3,6 s (+20%)	A↓V↑ 2,4 s (-20%)	<b>Antwort 1</b> 1,5 s

**Abbildung 5:** Schematische Darstellung einer Zeit-Aufgabe

**Table 4: Overview of presentation times in the time-variant**

Abkürzung	Anteil an Stimuli	Abweichung pro Bild von 3 Sekunden	Zeitunterschied absolut	Präsentationszeit Bild A	Präsentationszeit Bild B
T0	50% (12 Blöcke)	±0%	0%	3,0 s	3,0 s
T10	25%	±10%	18,18%	3,3 s	2,7 s
T20	25%	20%	33,33%	3,6 s	2,4 s

In diesem Experiment I kamen jeweils im Arousal- und im Zeit-Teil folgende Stimulus-Kombinationen vor:

V↑A↑ mit V↓A↑  
V↑A↔ mit V↓A↔  
V↑A↓ mit V↓A↓

Insgesamt bestand das Experiment I aus 48 Blöcken. Das entspricht 24 Arousal-Blöcken und ebenso vielen Zeit-Blöcken, von denen 12 keinen Unterschied in der Präsentationszeit aufwiesen, 6 einen Unterschied von ca. 18%, und 6 einen Unterschied von ca. 33%. Ein Block war 18 s lang und wurde gefolgt von einem 9 s langen Pausenintervall, in dem für 2 s die Instruktion für die nächste Aufgabe angezeigt wurde. Pro Block wurden jeweils zwei Aufgaben desselben Typs gestellt, also zwei Bildpaare mit jeweils anschließender Frage und Antwort. Um Wiederholungseffekte zu vermeiden, wurden die Reihenfolge der Blöcke untereinander sowie die Reihenfolge der Bilder pro Bildpaar randomisiert.

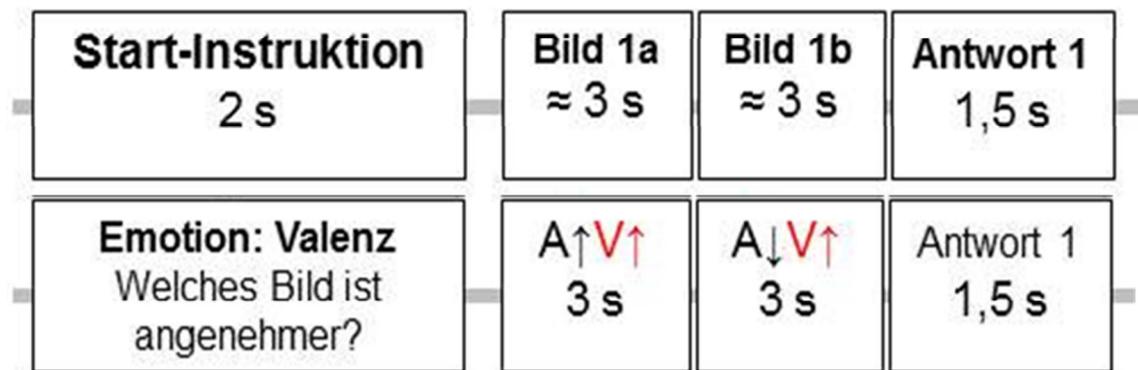
Jedes Bild war im Durchschnitt 3 s zu sehen (Präsentationszeiten in der Zeit-Bedingung siehe oben), der Proband hatte 1,5 s für die Eingabe seiner Antwort. Die vier kurzen Pausen zwischen den einzelnen Bildern eines Bildpaares, zwischen Bildpaar und Frage sowie zwischen zwei Aufgaben wurden randomisiert gezeitet, dh. die Pausen hatten eine durchschnittliche Länge von 0,75 s und variierten in vier Intervallen zwischen 0,5 und 1,0 s.

Die Präsentation der Stimuli erfolgte auf schwarzem Hintergrund, während aller Pausenintervalle wurde ein weißer Fixations-Stern gezeigt.

Die Gesamtdauer dieses Versuchsteils betrug ca. 22 Minuten.

### **3.3.2 Experiment II: Valenz**

Den Probanden wurden analog zum Experiment I für 3 Sekunden pro Bild Bildpaare präsentiert, die sich nach der Arousal-Dimension unterschieden, während sie identische Valenzwerte aufwiesen (siehe Abb. 6). So sah ein Proband beispielsweise erst das Foto eines Wassersportlers ( $V\uparrow A\uparrow$ ), dann ein Foto einer Blüte ( $V\uparrow A\downarrow$ ). Hier lautete die Frage, welches der Bilder angenehmer (Valenz) auf den Probanden wirke. Der Proband stand wiederum vor einem Dilemma, da die Bilder sich im gefragten Merkmal nicht unterschieden. Es sollte geklärt werden, ob Valenz und Arousal – dieses Mal von der anderen Seite her betrachtet – tatsächlich unabhängige Merkmale darstellen und wie sich die Beurteilung eines Stimulus hinsichtlich dessen Valenz neurofunktional widerspiegelt.



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung einer Valenz-Aufgabe

Analog zum Experiment I gab es wiederum eine Zeitbedingung, die mit denselben Stimulus-Kombinationen wie die Valenz-Bedingung arbeitet. Die Fragestellung sowie die Verteilung der verschiedenen Präsentationszeiten ist identisch mit Experiment I.

Insgesamt gab es im Experiment II sowohl in der Valenz- als auch in der Zeit-Bedingung folgende Stimulus-Kombinationen:

V↑A↑ mit V↑A↓  
V↔A↑ mit V↔A↓  
V↓A↑ mit V↓A↓

Block-Anzahl und Design sowie die Präsentationszeiten wurden analog zum Experiment I (Arousal) gewählt, so dass beide Experimente bezüglich Dauer und grundsätzlicher Anforderung identisch waren.

Die Reihenfolge der Experimente I (Arousal) und II (Valenz) wurde randomisiert. Inklusive der Dauer der anatomischen Aufnahmen verbrachten die Probanden für die Bearbeitung beider Versuchsteile etwa 60 Minuten im Scanner. In einzelnen Fällen wurde zwischen den beiden Experimenten eine Pause von wenigen Minuten eingelegt. Abbildung 7 gibt eine Übersicht über alle Aufgabentypen.

**Abbildung 7: Übersichts-Schema beispielhafter Block-Typen einschließlich der Präsentationszeiten**

<b>Start-Instruktion</b> 2 s	<b>Bild 1a</b> ≈ 3 s	<b>Bild 1b</b> ≈ 3 s	<b>Antwort 1</b> 1,5 s	<b>Bild 2a</b> ≈ 3 s	<b>Bild 2b</b> ≈ 3 s	<b>Antwort 2</b> 1,5 s
<b>Emotion: Arousal</b> Welches Bild ist aufregender?	A↑V↑ 3 s	A↑V↓ 3 s	Antwort 1 1,5 s	A↑V↓ 3 s	A↑V↑↓ 3 s	Antwort 2 1,5 s
<b>Emotion: Valenz</b> Welches Bild ist angenehmer?	A↑V↑ 3 s	A↓V↑ 3 s	Antwort 1 1,5 s	A↓V↑ 3 s	A↑V↑ 3 s	Antwort 2 1,5 s
<b>Zeit: T0</b> Welches Bild ist länger zu sehen?	A↑V↑ 3 s (±0%)	A↓V↑ 3 s (±0%)	Antwort 1 1,5 s	A↑V↑ 3 s (±0%)	A↓V↑ 3 s (±0%)	Antwort 2 1,5 s
<b>Zeit: T10</b> Welches Bild ist länger zu sehen?	A↑V↑ 3,3 s (+10%)	A↓V↑ 2,7 s (-10%)	Antwort 1 1,5 s	A↑V↑ 2,7 s (-10%)	A↓V↑ 3,3 s (+10%)	Antwort 2 1,5 s
<b>Zeit: T20</b> Welches Bild ist länger zu sehen?	A↑V↑ 3,6 s (+20%)	A↓V↑ 2,4 s (-20%)	Antwort 1 1,5 s	A↑V↑ 2,4 s (-20%)	A↓V↑ 3,6 s (+20%)	Antwort 2 1,5 s
<b>Inter-Block-Pause 9 s</b>	<b>Gesamtdauer eines Blocks mit je 2 Aufgaben 18 Sekunden</b>					

### **3.4 Magnetresonanztomographie**

Die technische Grundlage der MRT bildet die sogenannte Kernspinresonanz, die gemessen wird, indem man den Körper eines Probanden einem statischen Magnetfeld und einem periodischen elektromagnetischen Überlagerungsfeld aussetzt. Somit können nicht-invasive Schichtaufnahmen der verschiedenen Gewebe des menschlichen Körpers ohne Strahlenbelastung für den Untersuchten erstellt werden.

In der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) kann man zusätzlich zur reinen Abbildung des Hirngewebes auf die spezifische neuronale Aktivität schließen. Hierbei macht man sich ein indirektes Verfahren zunutze, den sogenannten BOLD-Kontrast (engl: Blood oxygenation level dependent contrast). Dieser Effekt wurde erstmals 1990 beschrieben (Ogawa, 1990) und stützt sich auf den messbaren Kontrast zwischen oxygeniertem und desoxygeniertem Hämoglobin im Blut. Durch neuronale Aktivität wird in einem Hirnareal lokal Sauerstoff verbraucht. Dies führt einerseits zu einem erhöhten Anteil an desoxygeniertem Hämoglobin im Blut an dieser Stelle, zum anderen aber zu einer Überkompensation des benötigten Sauerstoffs durch eine Erhöhung des regionalen Blutvolumens und Blutflusses. Dadurch kommt es in aktivierten Hirnarealen kurzfristig zu einer absoluten Abnahme der Konzentration von desoxygeniertem Hämoglobin, was über eine Homogenisierung des lokalen Magnetfeldes und einer Verlängerung der Querrelaxationszeit zu einer lokalen Signalzunahme in der aktivierten Region führt (Logothetis, 2001).

Das Versuchs-Paradigma wurde mit Hilfe von „Presentation<sup>®</sup>“ Version 14 (Neurobehavioral Systems, Inc., USA) erstellt. Die Versuche fanden an 2 Tagen in der Radiologischen Abteilung der Poliklinik Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München statt.

Es wurde ein 3-Tesla-Magnetresonanztomograph der Firma Philips, Deutschland, vom Modell ACHIEVA, mit einer Standard-Kopfspule benutzt. Für die Erstellung der

BOLD-Kontraste wurde eine T2\*-gewichtete EPI-Sequenz verwendet (Repetition Time = 3000 ms, Echo Time = 35 ms, Flip Angle = 80°, 36 axialen Schichten, Schicht-Dicke 3,5 mm, Abstand zwischen den Schichten 0 mm, Ascending Acquisition, Field of View = 230 x 230 mm, Matrix = 76 x 77, Auflösung innerhalb der Schichten 3 x 3 mm). Während des funktionellen Scans wurden 450 Volumen pro Proband erstellt. Vor den funktionellen Aufnahmen wurde jeweils ein Set hochauflösender T1-gewichteter MPRAGE-Scans als anatomische Referenz aufgenommen (Repetition Time = 7.4 ms, Echo Time = 3.4 ms, Flip Angle = 8°, 301 sagittale Schichten, Field of View = 240 x 256 mm, Matrix = 227 x 227, Abstand zwischen den Schichten 0,6 mm).

Die Probanden sahen die Stimuli über eine in die Kopfspule integrierte 45°-Spiegeloptik auf einem LCD-Bildschirm hinter dem Scanner. Die Antworten wurden über zwei Knöpfe an einem Taster des Typs Lumina LP 400 (Lumina MR Safe Response Pad) gegeben.

Für die fMRT-Datenanalyse wurden SPM8 (Statistical Parametric Mapping, the FIL Methods Group) zur Prozessierung und Auswertung, sowie die SPM-Toolbox-Erweiterung MarsBar 0.42 (MARSeille Boîte À Région d'Intérêt) zur Definierung von Regions of Interest (RIO) verwendet.

Die Statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 18.0 (IBM, USA).

### **3.5 Daten-Analyse**

Für die fMRT-Datenanalyse wurden die ersten 15 Sekunden verworfen, um Raum für T1-Sättigungs-Effekte zu lassen. Die Vorprozessierung wurde mit SPM8 durchgeführt: Zuerst wurde im Rahmen der Bewegungskorrektur die Ausrichtung der einzelnen Schichtbilder jedes Probanden an das erste Schichtbild angeglichen, („Realign (Estimate & Reslice“). Daraufhin wurden die funktionellen Daten durch Koregistrierung („Coregister (Estimate)“) mit den anatomischen MPRAGE-Daten in Deckung gebracht, um eine Zuordnung von funktionellen Erregungen zu anatomischen Strukturen zu ermöglichen. Im nächsten Schritt („Segmentation“, Parametermodifikation „Number of Gaussians per class [1 1 1 4]) wurden segmentierte Bilder der grauen und weißen Substanz erstellt. Durch Normalisieren („Normalise (Write)“ mit einer Voxelgröße von [3 3 3] mm) wurden die Datensätze an eine standardisierte räumliche Schablone, dem MNI-Template (EPI.nii-Template), angepasst, um kongruente Inter-Subjekt-Vergleiche zu ermöglichen. Als letztes wurde durch Glättung („Smoothing“ mit FWHM [8 8 8]) eine Erhöhung des Kontrasts zwischen Signal und Hintergrundrauschen (signal-to-noise-ratio) erreicht.

Nach der Vorprozessierung folgten Primärkontraste für jeden Probanden gesondert (1<sup>st</sup> Level) und Sekundärkontraste auf Gruppenebene (2<sup>nd</sup> Level). Dabei wurden von den gemessenen Erregungsmustern während einer zu untersuchenden Bedingung („Task“) die Erregungsmuster während einer Kontrollbedingung subtrahiert.

In den ersten beiden Bedingungen 1 und 2, also den Fragen zu Valenz und Arousal, lag der Fokus auf der emotionalen Wahrnehmung der Stimuli durch den Probanden. Im Zentrum der Aufmerksamkeit lagen Inhalt und Stimmung der Bilder sowie die eigene Reaktion auf das Abgebildete. Im Gegensatz dazu wurden in den Kontrollbedingungen 3 und 4 nach der Zeitwahrnehmung gefragt. Der Proband sollte sich auf die formale, nicht-emotionale Betrachtung der Stimuli unter dem Gesichtspunkt der Zeitdauer konzentrieren. Diese maximal unterschiedlichen Anforderungsprofile der Aufgaben ermöglichten die getrennte Betrachtung formal nahezu identischer Bedingungen.

In der folgenden Auswertung wurde der Fokus einmal auf die emotionale Komponente der neuronalen Verarbeitung gelegt. Hierbei dienten die Scans der Bedingungen 1 und 2 als „Task“, die Scans der Bedingungen 3 und 4 zur Zeitwahrnehmung wurden als Kontrollbedingung behandelt. Diese Auswertung wird im Folgenden „*Emotions-Variante*“ genannt.

Zum andern wurde der Fokus der Auswertung auf den Einfluss von Emotionen auf die subjektive Zeitwahrnehmung gelegt. Hier dienten die Zeit-Bedingungen 3 und 4 als „Task“, die emotions-zentrierten Bedingungen 1 und 2 gemeinsam als Kontrolle. Im Folgenden wird dieser Auswertungsweg „*Zeit-Variante*“ genannt.

## 4. ERGEBNISSE

### 4.1 Stimulusbewertung durch Online-Fragebogen

Die gesonderte Bewertung der Stimulus-Bilder in Form einer nachträglichen Erhebung sollte sicherstellen, dass die Wirkung der emotionalen Stimuli tatsächlich den Angaben der IAPS-Datenbank entsprach.

Die Berechnung der nicht-parametrischen Spearman-Korrelation zeigte eine sehr hohe Korrelation zwischen den Vorbewertungen der IAPS-Datenbank und der Bewertung durch die Probanden dieser Studie (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5:** Korrelation zwischen den Bewertungen der Bild-Stimuli durch die Probanden mit Hilfe des Online-Fragebogens mit den von IAPS vorgegebenen Werten.

Stimulus-Set	Dimension	Korrelation (Spearman)	Signifikanz
männlich	Valenz:	$r = 0.957$	$p < 0.000$
	Arousal:	$r = 0.929$	$p < 0.000$
	Dominanz:	$r = 0.880$	$p < 0.000$
weiblich	Valenz:	$r = 0.956$	$p < 0.000$
	Arousal:	$r = 0.940$	$p < 0.000$
	Dominanz:	$r = 0.798$	$p < 0.000$

## 4.2 Emotionsvariante

### 4.2.1 Arousal-Teil der Emotionsvariante

In diesem Teil sollten die Probanden das Bild benennen, das sie als aufregender empfanden. Bei stufenweise konstantem Arousal ( $A_{\downarrow}$ ,  $A_{\leftrightarrow}$ ,  $A_{\uparrow}$ ) unterschieden sich die Bilder nur in der Valenz ( $V_{\uparrow}$  vs.  $V_{\downarrow}$ ).

Die Reaktionszeiten betragen durchschnittlich  $574,97 \pm 131,50$  ms (siehe Tabelle 6), es konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Arousal-Stufen ( $A_{\downarrow}$ ,  $A_{\leftrightarrow}$ ,  $A_{\uparrow}$ ) festgestellt werden ( $p < 0,138$ ).

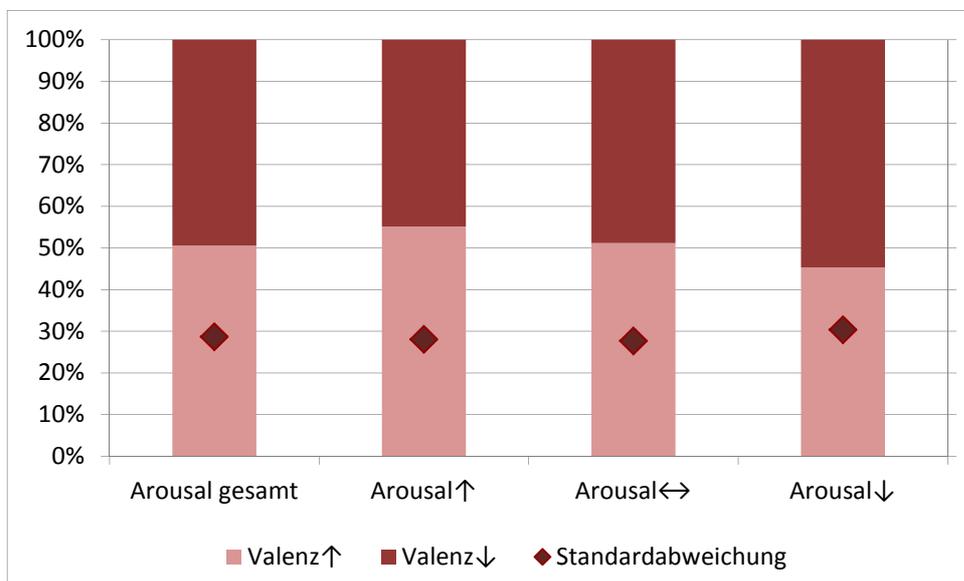
**Tabelle 6: Mittlere Reaktionszeiten in den verschiedenen Arousal-Stufen der Emotionsbedingung**

	$A_{\downarrow}$	$A_{\leftrightarrow}$	$A_{\uparrow}$
Reaktionszeit ( $M \pm SD$ )	$544,33 \pm 134,93$	$586,60 \pm 114,47$	$593,99 \pm 145,09$

War bei konstantem Arousal ( $A_{\uparrow}$ ,  $A_{\leftrightarrow}$ ,  $A_{\downarrow}$ ) und maximal unterschiedlicher Valenz ( $V_{\uparrow}$  vs.  $V_{\downarrow}$ ) die Frage nach dem aufregenderen Bild zu beantworten, wurden beide Bilder ( $V_{\uparrow}A_{const.}$  vs.  $V_{\downarrow}A_{const.}$ ) mit einer Wahrscheinlichkeit von 50,53% bzw. 49,47% gewählt. Auch über die einzelnen Arousal-Stufen hat sich dies nicht nennenswert verändert, wie man Tabelle 7 entnehmen kann. Offenbar gab es keine signifikanten Effekte zwischen Valenz und Arousal ( $p < 0,467$ ,  $F = 0,791$ ). Es zeigt sich in guter Näherung eine willkürliche 50:50-Verteilung (siehe Abb. 8).

**Tabelle 7:** Verteilung der Entscheidung der Probanden für das "aufregendere" Bild bei kategorieweise konstantem Arousal und maximal differierender Valenz.

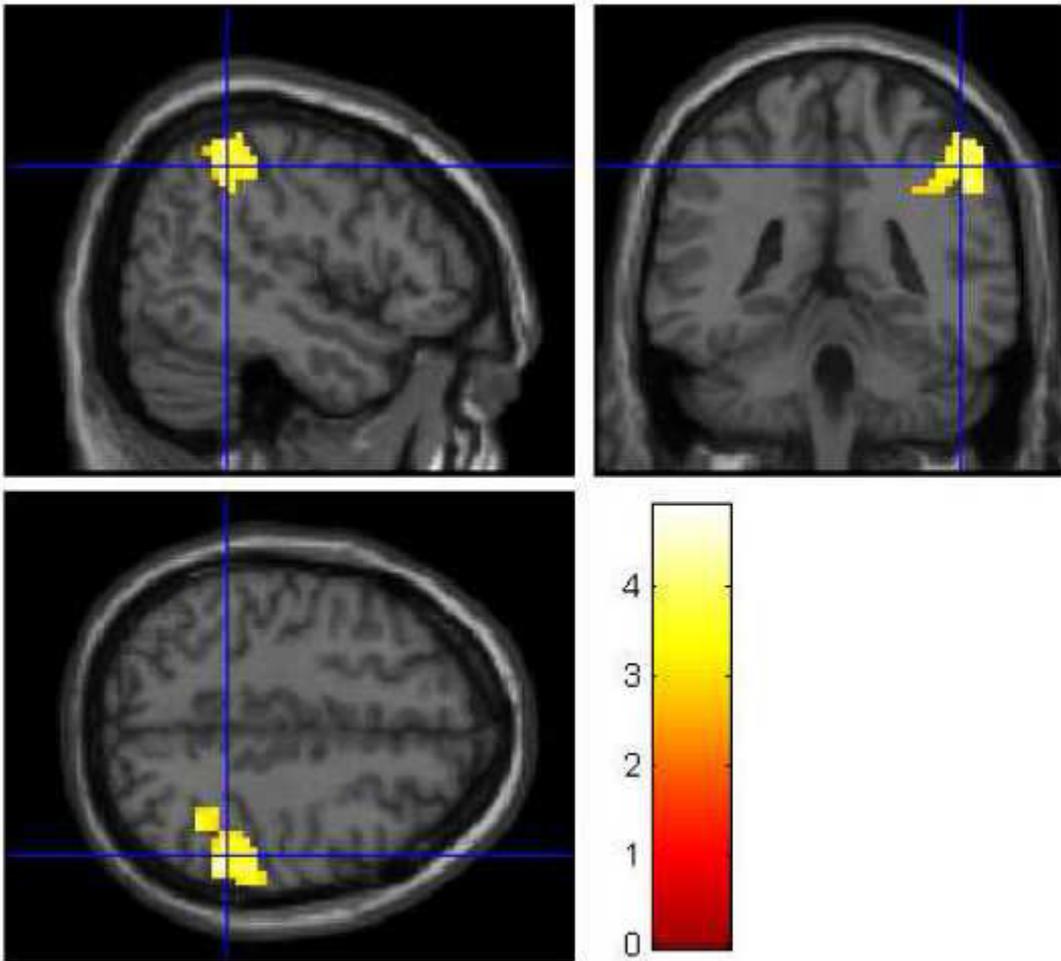
		Valenz hoch V↑	Valenz niedrig V↓	Standard- abweichung
Arousal hoch	A↑	55,11%	44,89%	0,2808
Arousal mittel	A↔	51,14%	48,86%	0,2764
Arousal niedrig	A↓	45,35%	54,65%	0,3034
<i>Alle Arousalstufen</i>	<i>A<sub>gesamt</sub></i>	<i>50,53%</i>	<i>49,47%</i>	<i>0,2868</i>



**Abbildung 8:** Prozentuale Verteilung der behavioralen Daten zur Emotionsbedingung "Arousal". Bei kategorieweise konstantem Arousal zeigt sich auf die Frage nach dem aufregenderen Bild keine Bevorzugung von Stimuli mit hoher bzw. niedriger Valenz.

Im vorliegenden Experiment wurde auf 2<sup>nd</sup> Level-Ebene folgender Hauptkontrast der neuronalen Aktivität gebildet: Über alle Arousal-Stufen hinweg wurde von der Emotions-Bedingung die Zeitbedingung abgezogen (A[Emotion]-A[Zeit]). Dies ergab das selektive Erregungsmuster der auf die emotionale Bewertung ausgerichteten Entscheidungsfindung bei maximal unterschiedlicher Valenz und konstantem Arousal.

Die Subtraktionsanalyse der Aktivitätsmuster zwischen der Arousal-Bedingung und der Zeit-Aufgabe als Baseline erbrachte einen einzelnen Aktivitätscluster im rechten Parietalcortex (siehe Abb. 9). Er deckte den Gyrus parietalis inferior und den Gyrus supramarginalis ab sowie zu geringeren Teilen den Gyrus parietalis superior, den Gyrus postcentralis und den Gyrus angularis (siehe Tabelle 8).



**Abbildung 9:** Neuronale Aktivität zur Emotionsbedingung "Arousal": Aktivitätscluster während der Entscheidung der Probanden für das "aufregendere" Bild bei kategorieweise konstantem Arousal und maximal differierender Valenz. Es demarkieren sich der Gyrus parietalis inferior und superior sowie die Gyri supramarginalis, angularis und postcentralis ( $p < 0,05$ , cluster level FDR korrigiert, extent threshold  $k=200$  voxel).

**Tabelle 8: Aktivitätscluster im Arousal-Teil der Emotionsvariante ( $p < 0,01$ , height threshold  $T = 2,76$ , extent threshold  $k=200$  voxel)**

Voxel	MNI Koordinaten			p-Wert	Brodmann Area	Anatomische Region (Anteil am Cluster)
	x	y	z			
231	54	-43	43	0,002	6, 7, 39, 40	R Gyrus parietalis inferior (56,28%) R Gyrus supramarginalis (29,44%) R Gyrus parietalis superior (2,16%) R Gyrus postcentralis (2,16%) R Gyrus angularis (1,30%)

#### 4.2.2 Valenz-Teil der Emotionsvariante

Die Probanden waren in diesem Teil vor die Wahl gestellt, welches der präsentierten Bilder für sie angenehmer wäre. Dabei unterschieden sich die Bilder paarweise im Arousal ( $A\uparrow$  vs.  $A\downarrow$ ), nicht aber innerhalb der 3 Valenz-Stufen ( $V\uparrow$ ,  $V\leftrightarrow$ ,  $V\downarrow$ ).

Die Reaktionszeiten betragen im Mittel  $671,7 \pm 268,1$  ms (siehe Tabelle 9). Zwischen den verschiedenen Valenz-Stufen war ein nicht signifikanter Trend zu verzeichnen ( $p < 0,058$ ).

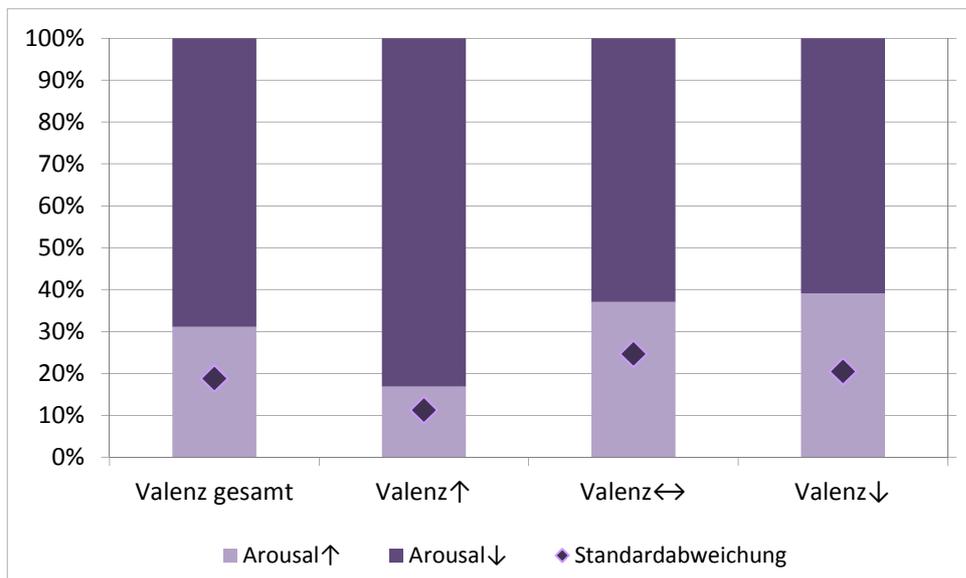
**Tabelle 9: Mittlere Reaktionszeiten in den verschiedenen Valenz-Stufen der Emotionsbedingung**

	$V\downarrow$	$V\leftrightarrow$	$V\uparrow$
Mittlere Reaktionszeit [ms, $M \pm SD$ ]	$650,5 \pm 163,8$	$645,7 \pm 157,2$	$673,6 \pm 153,1$

Tabelle 10 zeigt, dass auf behavioralem Level über alle Valenz-Stufen hinweg die Wahl der Bilder durch die Probanden nicht gleich auf die beiden Stimulus-Typen ( $V_{const.} A\uparrow$  vs.  $V_{const.} A\downarrow$ ) verteilt war, sondern eine deutliche Tendenz zur Wahl der Stimuli mit dem niedrigeren Arousal nachzuweisen war. Dabei nahm die Rate der Wahl der Bilder mit niedrigem Arousal mit fallender Valenz zu, d.h. je unangenehmer das Bild der Valenz nach war, desto niedriger sollte das Arousal sein (siehe Abb. 10). Auf der Stufe niedriger Valenz ( $V\downarrow$ ) wurde nur in 16,83% der Aufgaben das Bild mit dem höheren Arousal gewählt ( $V\downarrow A\uparrow$ ). Auf der Stufe mittlerer Valenz ( $V\leftrightarrow$ ) wurde schon in 37,02% das Bild mit dem höheren Arousalwert gewählt ( $V\leftrightarrow A\uparrow$ ) und auf der Stufe höchster Valenz ( $V\uparrow$ ) wurde in 39,42% der Fälle das Bild höheren Arousal gewählt ( $V\uparrow A\uparrow$ ). Dieser Unterschied von der erwarteten 50:50-Verteilung ist im linearen Model gerechnet hoch signifikant ( $p < 0,004$ ,  $F=9,294$ ), ebenso die durch PostHoc-T-Test ermittelte Trennschärfe der einzelnen Valenzstufen untereinander.

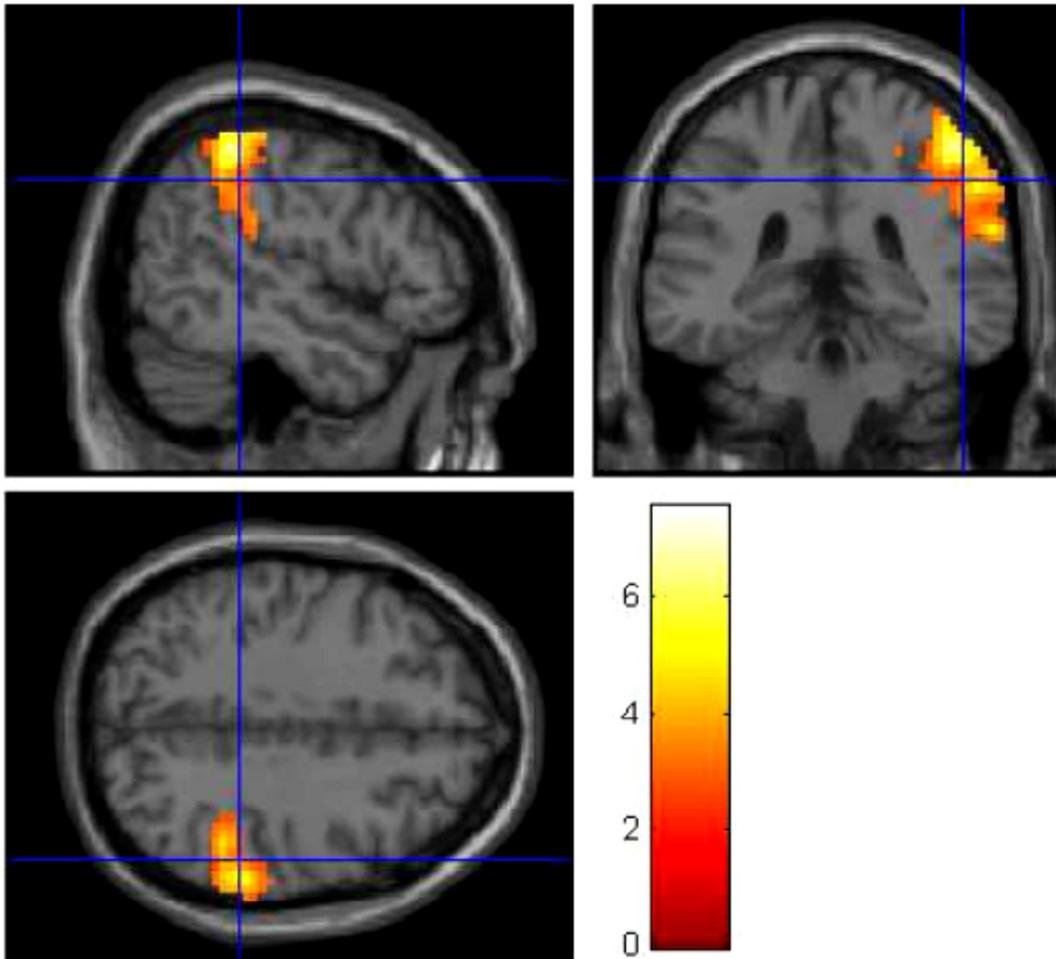
**Tabelle 10:** Verteilung der Entscheidung der Probanden für das "angenehmere" Bild bei kategorieweise konstantem Valenz-Wert und maximal differierendem Arousal. Es zeigt sich eine deutliche Abweichung von der erwarteten 50:50-Verteilung. Mehr als 2/3 der Probanden bevorzugten insgesamt Bilder mit niedrigen Arousal-Werten.

		Arousal hoch A↑	Arousal niedrig A↓	Standard- abweichung
Valenz hoch	V↑	39,42%	60,58%	0,2047
Valenz neutral	V↔	37,02%	62,98%	0,2467
Valenz niedrig	V↓	16,83%	83,17%	0,1123
<i>Alle Valenzstufen</i>	<i>V<sub>gesamt</sub></i>	<i>31,08%</i>	<i>68,92%</i>	<i>0,1879</i>

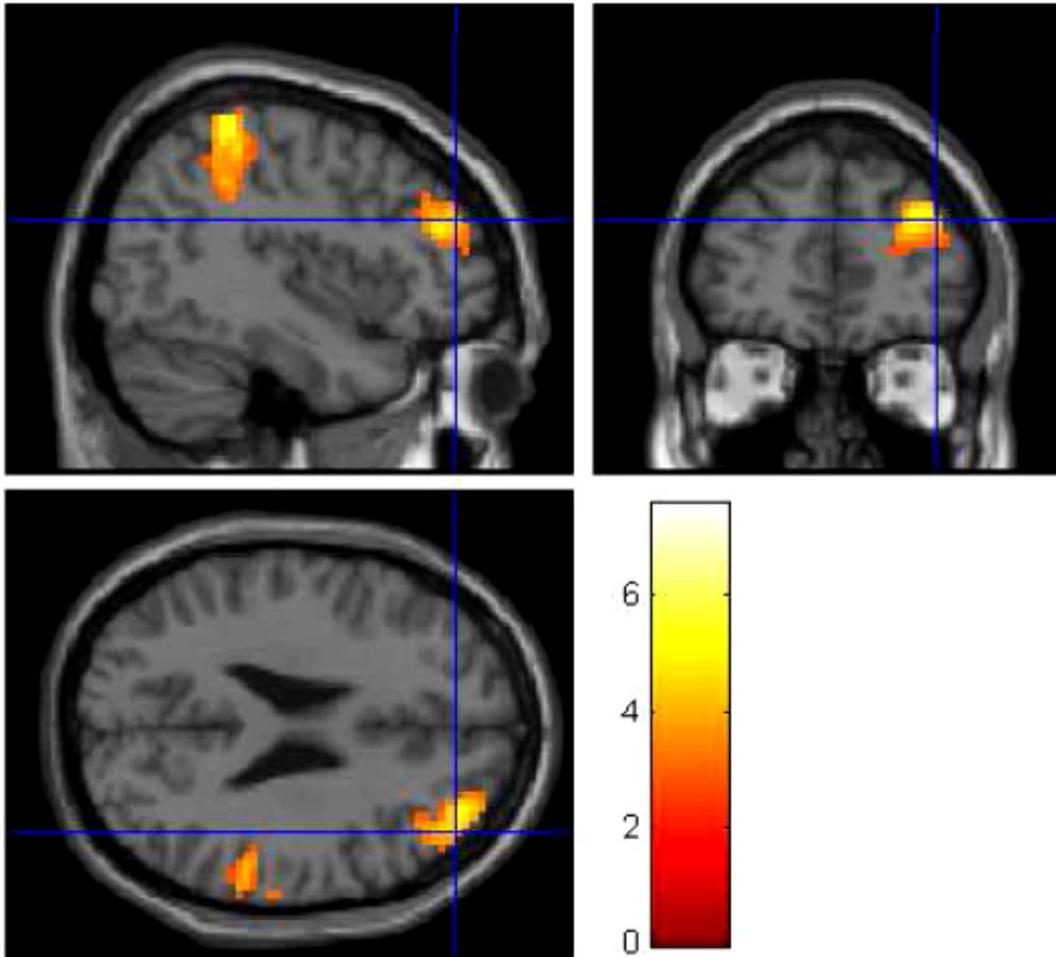


**Abbildung 10:** Prozentuale Verteilung der behavioralen Daten zur Emotionsbedingung "Valenz". Bei kategorieweise konstanter Valenz zeigt sich auf die Frage nach dem angenehmeren Bild eine deutliche Abweichung von der erwarteten, willkürlichen 50:50-Verteilung zugunsten der Stimuli mit niedrigeren Arousal-Werten.

Analog zum Arousal-Teil wurde im Valenz-Teil ebenfalls der neurofunktionelle Hauptkontrast der Emotionsbedingung gebildet, indem über alle 3 Valenz-Stufen hinweg von der Emotionsbedingung die Zeitbedingung subtrahiert wurde ( $V[\text{Emotion}] - V[\text{Zeit}]$ ), um im Kontrast das spezifische Erregungsmuster der auf die emotionale Bewertung zielenden Entscheidungsfindung bei konstanter Valenz und maximal unterschiedlichem Arousal darzustellen. Dies erbrachte einen Cluster im rechten Parietallappen (siehe Abb. 11). Er umfasste den Gyrus parietalis inferior und den Gyrus supramarginalis, aber auch den Gyrus postcentralis und den Gyrus parietalis superior. Es zeigte sich außerdem ein weiterer Cluster neuronaler Aktivität frontal (siehe Abb. 12) vor allem im rechten Gyrus frontalis medialis, aber auch im Gyrus frontalis superior. Tabelle 11 gibt eine Übersicht.



**Abbildung 11:** Neuronale Aktivität zur Emotionsbedingung „Valenz“: Aktivitätscluster während der Entscheidung der Probanden für das "angenehmere" Bild bei kategorieweise konstanter Valenz und maximal differierendem Arousal. Hier liegt der Fokus auf dem größeren Cluster im rechten Okzipital-Cortex. Es demarkieren sich Gyrus parietalis inferior und superior, sowie Gyrus supramarginalis und Gyrus postcentralis. ( $p < 0,01$ , height threshold  $T = 2,68$ , extent threshold  $k = 200$  Voxel)



**Abbildung 12: Neuronale Aktivität zur Emotionsbedingung „Valenz“:**  
 Aktivitätscluster während der Entscheidung der Probanden für das "angenehmere"  
 Bild bei kategorieweise konstanter Valenz und maximal differierendem Arousal. Hier  
 liegt der Fokus auf dem kleineren Cluster im rechten Präfrontalcortex. Es  
 demarkieren sich Gyrus frontalis medialis und superior. ( $p < 0,01$ , height threshold  
 $T = 2,68$ , extent threshold  $k = 200$  Voxel)

**Tabelle 11:** Zwei Aktivitätscluster im Valenz-Teil der Emotionsvariante ( $p < 0,01$ , height threshold  $T = 2,68$ , extent threshold  $k=200$  voxel).

Voxel	MNI Koordinaten			p-Wert	Brodmann Area	Anatomische Region (Anteil am Cluster)
	x	y	z			
614	45	-43	55	0,000	2, 5, 6, 7, 39, 40	R Gyrus supramarginalis (39,56%) R Gyrus parietalis inferior (23,94%), R Gyrus postcentralis (17,92%), R Gyrus temporalis superior (9,77%), R Gyrus parietalis superior (3,42%)
214	33	50	28	0,002	9, 10, 48	R Gyrus frontalis medialis (88,32%), R Gyrus frontalis superior (7,48%), R Gyrus frontalis inferior, pars triangularis (3,27%)

### 4.3 Zeit-Variante

#### 4.3.1 Arousal-Teil der Zeitvariante

In diesem Teil wurde die Zeit-Bedingung („Welches Bild ist länger zu sehen?“) betrachtet. Die Probanden mussten sich dabei zwischen zwei Bildern entscheiden, die stufenweise identische Arousal-Werte ( $A_{\uparrow}$ ,  $A_{\leftrightarrow}$ ,  $A_{\downarrow}$ ) bei maximal unterschiedlichen Valenz-Werten ( $V_{\uparrow}$  vs.  $V_{\downarrow}$ ) aufwiesen. Ein Viertel der Bilder unterschieden sich in der Präsentationszeit um +/-10% pro Bild (T10), ein weiteres Viertel um +/-20% (T20). Die andere Hälfte wies keine Unterschiede in der Präsentationszeit auf (T0).

Bezüglich der Reaktionszeiten lassen sich keine Unterschiede zwischen den Arousal-Stufen feststellen (T0:  $p < 0,894$ , T10:  $p < 0,448$ , T20:  $p < 0,726$ ). Im Mittel betragen sie  $767,6 \pm 133,7$  ms (siehe Tabelle 12).

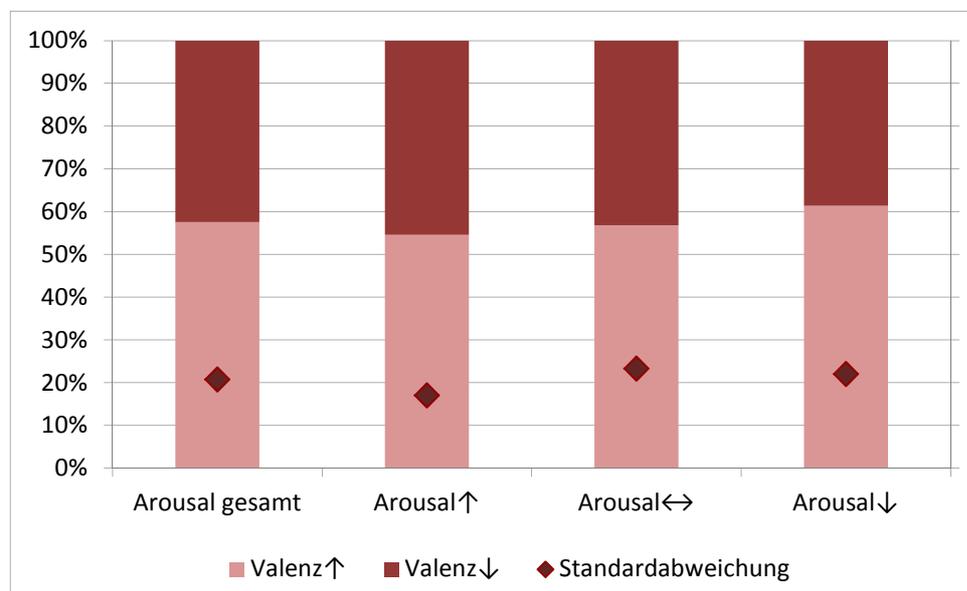
**Tabelle 12: Mittlere Reaktionszeiten im Arousal-Teil der Zeitbedingung. Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Arousal-Stufen feststellbar.**

	$A_{\downarrow}$	$A_{\leftrightarrow}$	$A_{\uparrow}$
T0	$774,60 \pm 74,59$	$754,28 \pm 134,80$	$773,90 \pm 191,82$
T10	$763,24 \pm 123,59$	$749,96 \pm 178,25$	$785,02 \pm 173,96$
T20	$758,78 \pm 98,68$	$772,17 \pm 86,41$	$774,91 \pm 128,36$

Bei der Frage, welches der Bilder in T0 länger zu sehen war, sieht es nach einer leichten Tendenz aus, sich mit sinkendem Arousal eher für das Bild mit niedrigerer Valenz zu entscheiden (siehe Tabelle 13). So wurde bei hohem Arousal in 61.36% der Fälle das Bild mit höherer Valenz gewählt, bei niedrigem Arousal jedoch nur noch in 54,55% der Fälle(siehe Abb. 13).

**Tabelle 13:** Verteilung der Entscheidung der Probanden für das "länger präsentierte" Bild in T0 bei Kategorie weise konstantem Arousal-Wert und maximal differierender Valenz. Es zeigt sich lediglich eine nicht signifikante Tendenz hin zur Überschätzung der Präsentationszeit bei aufregenderen Bildern (A↑).

T0		V↑	V↓	Standard-abweichung
Arousal hoch	A↑	61,36%	38,64%	±0,2198
Arousal neutral	A↔	56,82%	43,18%	±0,2329
Arousal niedrig	A↓	54,55%	45,45%	± 0,1702
<i>Alle Arousalstufen</i>	<i>A<sub>gesamt</sub></i>	<i>57,58%</i>	<i>42,42%</i>	<i>± 0,2076</i>



**Abbildung 13:** Prozentuale Verteilung der behavioralen Daten zur Zeitbedingung "Arousal" bei T0: Bei kategorieweise konstantem Arousal zeigt sich auf die Frage nach dem länger präsentierten Bild bei real nicht vorhandenem Präsentationszeit-Unterschied keine signifikante Bevorzugung von Stimuli mit hoher oder niedriger Valenz.

Bei realen Unterschieden in der Präsentationszeit zeigte sich, dass die Probanden bei einem Unterschied von 18% (T10) vorwiegend, bei einem Zeitunterschied von 33% (T20) fast immer das länger präsentierte Bild erkannten (siehe Tab. 14).

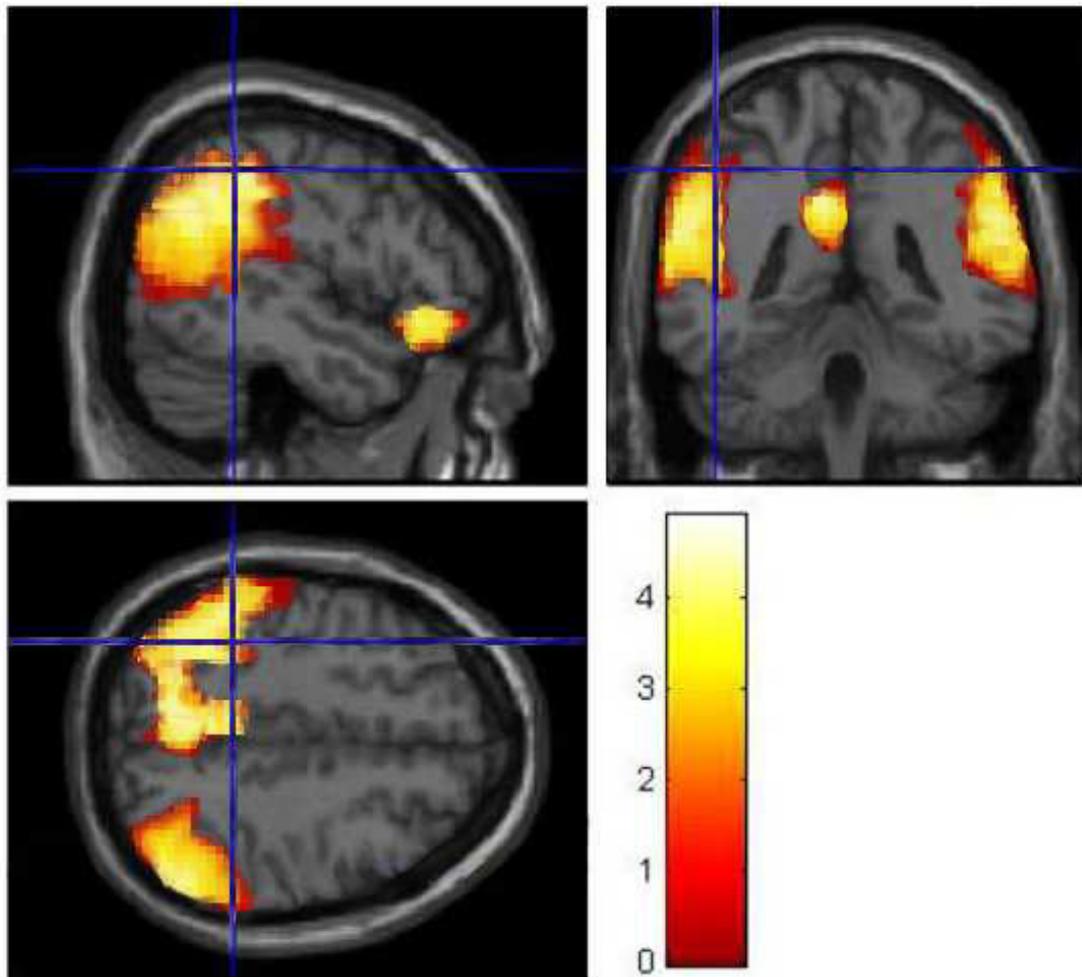
Signifikante Unterschiede zwischen den Arousal-Stufen gab es nicht (T10:  $p < 0,197$ ; T20:  $p < 0,10$ ).

**Tabelle 14:** Häufigkeit, mit der die Probanden das tatsächlich länger präsentierte Bild erkannt haben. Die Unterschiede über die verschiedenen Arousal-Stufen hin weg sind nicht signifikant. Die mit dem Zeitunterschied steigende Treffsicherheit der Probanden zeigt, dass die Versuche insgesamt korrekt bearbeitet wurden.

	T10 richtige Antworten	T20 richtige Antworten
A↓	79,55% ±0,1508	81,82% ±0,2523
A↔	75,00% ±0,2500	95,45% ±0,1011
A↑	88,64% ±0,1719	86,36% ±0,1306
A gesamt	81,06% ±0,1909	87,88% ±0,1613

Zur Ermittlung neurofunktionaler Aktivitätscluster wurden im Vergleich zur Emotions-Variante die Gegenkontraste gebildet, indem nun die Emotionsbedingung als Baseline benutzt und von der Zeitbedingung abgezogen wurde (A[Zeit]-A[Emotion]). Dies erbrachte das spezifische Erregungsmuster der Zeitwahrnehmung unter der Arousal-Bedingung.

So zeigte sich auf einem Level  $p < 0,01$  eine diffuse Erregung, die sich über den bilateralen Precuneus, den linken Gyrus cinguli posterioris und den bilateralen basalen Okzipitalcortex erstreckte (siehe Tabelle 15). Außerdem waren noch Cluster im linken frontomedialen wie dorsolateralen Präfrontalcortex zu erkennen, wie Abbildung 14 zeigt.



**Abbildung 14:** Neuronale Aktivität zur Zeitbedingung „Arousal“: Aktivitätscluster während der Entscheidung der Probanden für das " länger zu sehende Bild bei kategorieweise konstanter Valenz und maximal differierendem Arousal. Hier liegt der Fokus auf dem Cluster im linken Parietalcortex. ( $p < 0,01$ , height threshold  $T = 4,84$ , extent threshold  $k = 200$  Voxel)

**Tabelle 15:** Drei Aktivitätscluster im Arousal-Teil der Zeitvariante ( $p < 0,01$ , height threshold  $T = 4,84$ , extent threshold  $k = 200$  voxel)

Voxel	MNI Koordinaten			p-Wert	Brodmann Area	Anatomische Region (Anteil am Cluster)
	x	y	z			
1586	49	-41	26	0,000	1, 2, 3, 7, 19, 39, 40	R Gyrus supramarginalis (32,86%) R Gyrus parietalis inferior (29,21%), R Gyrus postcentralis (16,36%), R Gyrus parietalis superior (9,36%) R Gyrus temporalis superior (4,84%), R Gyrus temporalis medialis (2,36%)
2354	-48	-47	28	0,000	1, 2, 3, 5, 7, 19, 39, 40	L Gyrus supramarginalis (32,96%) L Gyrus parietalis inferior (23,75%), L Gyrus postcentralis (20,26%), L Gyrus parietalis superior (8,73%) L Gyrus temporalis superior (6,65%), L Gyrus temporalis medialis (4,16%) L Gyrus transversus (1,26%)
233	-32	50	-14	0,003	9, 10, 11, 46	L Gyrus frontalis inferior (58,59%) L Gyrus frontalis medialis (22,74%) L Gyrus orbitalis (13,95%) L Gyrus frontalis superior (1,27%)

### 4.3.2 Valenz-Teil der Zeitvariante

Die Bilder unterschieden sich im Arousal ( $A\uparrow$  vs.  $A\downarrow$ ), während sie in der Valenz stufenweise konstant blieben ( $V\uparrow$ ,  $V\leftrightarrow$ ,  $V\downarrow$ ). Die Zeitintervalle waren dieselben wie im Arousal-Teil (T0, T10, T20).

Die Reaktionszeiten betragen durchschnittlich  $779,4 \pm 160,4$  ms (siehe Tabelle 16). Ein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Valenz-Stufen konnte weder bei T0 ( $p < 0,386$ ) noch bei T10 ( $p < 0,856$ ) oder T20 ( $p < 0,625$ ) festgestellt werden.

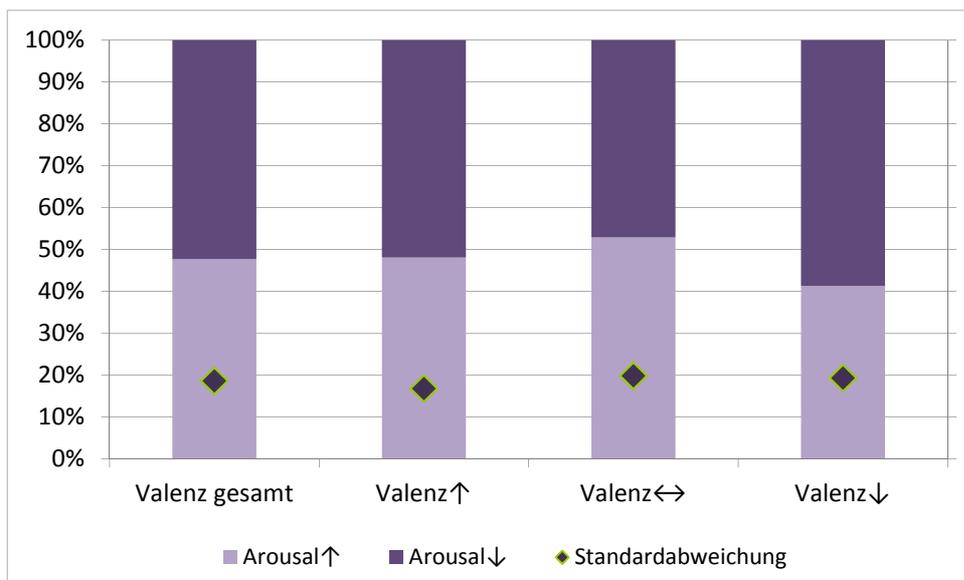
**Tabelle 16:** Verteilung der Reaktionszeiten im Valenz-Teil der Zeitbedingung. Unterschiede zwischen den verschiedenen Valenz-Stufen sind nicht signifikant.

	$V\downarrow$	$V\leftrightarrow$	$V\uparrow$
T0	$806,44 \pm 171,02$	$760,99 \pm 159,05$	$770,74 \pm 151,16$
T10	$776,36 \pm 178,25$	$781,66 \pm 127,36$	$769,11 \pm 178,31$
T20	$759,38 \pm 142,36$	$734,14 \pm 147,38$	$774,71 \pm 128,33$

Betrachtet man die Frage, wie sich die Wahl der Probanden auf die Bilder verteilte, die eigentlich gar keinen Zeitunterschied aufwiesen, zeigte sich im Gegensatz zu den behavioralen Ergebnissen der Emotions-Bedingung des Valenzteils keine Abweichung von der erwarteten 50:50 Verteilung ( $p < 0,236$ ). Auf allen drei Valenz-Stufen entschieden sich die Probanden annähernd gleich oft für das Bild mit hohem wie für das mit niedrigem Arousal (siehe Tabelle 17, Abb. 15).

**Tabelle 17:** Verteilung der Entscheidung der Probanden für das "länger präsentierte" Bild in T0 bei kategorieweise konstantem Valenz-Wert und maximal differierendem Arousal. Es gibt keine signifikanten Abweichungen von der erwarteten 50:50-Verteilung.

T0		A↑	A↓	Standard- abweichung
Valenz hoch	V↑	48,08%	51,92%	±0,1681
Valenz neutral	V↔	52,88%	47,12%	±0,1987
Valenz niedrig	V↓	41,35%	58,65%	±0,1936
<i>Alle Valenzstufen</i>	<i>V<sub>gesamt</sub></i>	<i>48,08%</i>	<i>51,92%</i>	<i>±0,1868</i>



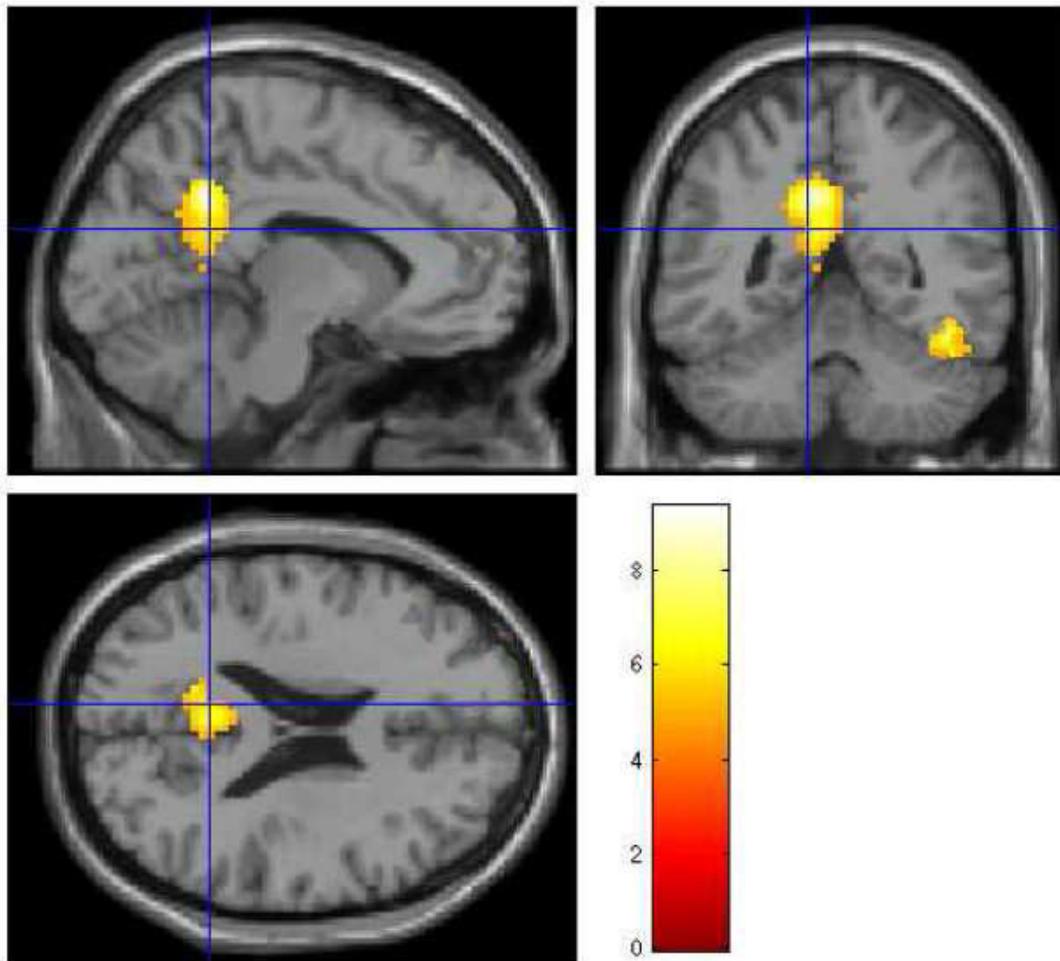
**Abbildung 15:** Prozentuale Verteilung der behavioralen Daten zur Zeitbedingung "Valenz" bei T0: Bei kategorieweise konstanter Valenz zeigt sich auf die Frage nach dem länger präsentierten Bild bei tatsächlich nicht vorhandenem Präsentationszeit-Unterschied keine signifikante Abweichung von der erwarteten 50:50-Verteilung.

Die Probanden erkannten bei einem Unterschied von 18% (T10) vorwiegend, bei einem Zeitunterschied von 33% fast immer das länger präsentierte Bild (siehe Tab. 18). Unterschiede zwischen den verschiedenen Valenz-Stufen gab es dabei wiederum nicht (T10:  $p < 0,212$ ; T20  $p < 0,732$ ).

**Tabelle 18:** Häufigkeit, mit der die Probanden im Valenz-Teil das tatsächlich länger präsentierte Bild erkannt haben. Die Unterschiede über die verschiedenen Valenz-Stufen hinweg sind nicht signifikant. Die mit dem Zeitunterschied steigende Treffsicherheit der Probanden bestätigt abermals die korrekte Durchführung der Versuche insgesamt.

	T10 richtige Antworten	T20 richtige Antworten
V↓	63,46% ±0,2419	86,54% ±0,1651
V↔	75,00% ±0,2500	90,38% ±0,1266
V↑	78,85% ±0,2002	88,46% ±0,1651
V gesamt	72,44% ±0,2307	88,46% ±0,1522

Auch im Valenz-Teil der Zeit-Variante wurden die neurofunktionalen Daten der Emotionsbedingung als Baseline benutzt und von den Daten der Zeitbedingung subtrahiert, um die spezifischen Erregungsmuster der Zeitverarbeitung zu selektionieren. In diesem Hauptkontrast (V[zeit]-V[emotion]) zeigten sich über alle Valenzstufen hinweg auf einem Level  $p < 0,01$  zwei Cluster neuronaler Aktivitätsunterschiede, wie Abbildung 16 zeigt. Der eine Cluster lag median auf Höhe des linken Precuneus. Der zweite Cluster war im basalen Grenzbereich zwischen rechtem Okzipital- und Temporallappen entlang des Sulcus occipitotemporalis (siehe Tabelle 19).



**Abbildung 16:** Neuronale Aktivität zur Zeitbedingung „Valenz“: Aktivitätscluster während der Entscheidung der Probanden für das " länger zu sehende Bild bei kategorieweise konstantem Arousal und maximal differierender Valenz. Hier liegt der Fokus auf dem Cluster im linken Precuneus. ( $p < 0,05$ , height threshold  $T = 4,84$ , extent threshold  $k = 200$  Voxel)

**Tabelle 19:** Zwei Aktivitätscluster im Valenz-Teil der Zeitvariante ( $p < 0,05$ , height threshold  $T = 4,84$ , extent threshold  $k = 200$  voxel)

Voxel	MNI Koordinaten			p-Wert	Brodmann Area	Anatomische Region (Anteil am Cluster)
	x	y	z			
532	5	-46	48	0,000	2, 5, 6, 7, 39, 40	L Precuneus (44,25%) L Gyrus cinguli posterior (38,47%) R Gyrus cinguli posterior (14,96%)
308	42	-48	-11	0,003	19, 37	R Gyrus temporalis medialis (46,25%) R Gyrus occipitalis lateralis (29,36%) R Gyrus temporalis inferior (18,45%)

## **5. DISKUSSION**

### **5.1 *Emotionsvariante***

#### **5.1.1 *Stimulus-Auswahl***

Das Fundament dieser Arbeit, auf dem alle folgenden Aussagen aufbauen, bilden die emotionalen Stimuli und die durch sie ausgelösten emotionalen Reaktionen. Lang et. al. (2007) entwickelten die IAPS Database, um analog zu physikalischen Grundgrößen wie dem Ur-Meter eine emotionale Grundgröße zu bekommen, anhand derer emotionale Zustände universal gemessen oder generiert werden können. In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass - unabhängig vom theoretischen Unterbau - die verwendeten Stimuli bei den Probanden die von IAPS veröffentlichten emotionalen Reaktionen auslösten.

Eine Möglichkeit, warum die Stimuli der IAPS Database bei den Probanden dieser Studie anders gewirkt haben könnten, als postuliert, bieten kulturelle Unterschiede. Die IAPS Database wurde vorwiegend an einem US-amerikanischen Probandenkollektiv entwickelt, während an der vorliegenden Studie nur in Deutschland lebende Probanden teilgenommen haben. Der unterschiedliche kulturelle Hintergrund könnte eine Verzerrung der emotionalen Reaktionen auf die Stimuli hervorgerufen haben. Allerdings wurden die Stimuli der IAPS-Database bereits in mehreren anderen Ländern außerhalb der USA erfolgreich eingesetzt. Ein Beispiel hierfür bietet eine belgische Studie (Koster, 2007), die auf ähnlich hohe Korrelationen zwischen den normativen Werten und den Versuchsergebnissen kommt (Valenz 0,948, Arousal 0,837, Dominanz 0,868).

Das Ergebnis unseres Online-Fragebogens bestätigt dies in sehr anschaulicher Art und Weise: Die Probanden bewerteten die einzelnen Bilder mit außerordentlich hoher Korrelation zu den Vorgaben der IAPS Database. Dabei entsprach der Online-

Fragebogen im Design so weit als möglich dem Original-Versuchsaufbau. Es wurde eine modifizierte Version des Self Assessment Manikins (SAM) verwendet (Irtel, 2007), die allerdings weniger verändert als vielmehr z.B. durch die graphische Ausgestaltung auch der Zwischenstufen verfeinert worden war.

Zusammenfassend stellen sich die Bilder der IAPS-Datenbank nach derzeitiger, umfangreicher Studienlage allgemein als emotionale Stimuli dar, deren Effekte zumindest im westlichen Kulturkreis als universal gelten können. Im speziellen Fall dieser Studie wurde dies durch die nachträgliche Erhebung mittels des Online-Fragebogens nur bestätigt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die vorliegenden Ergebnisse nicht durch eine Verzerrung basierend auf unzuverlässigen Stimuli erklärt werden können, sondern physiologische oder psychologische Effekte zugrunde liegen.

### **5.1.2 Behavioral**

Es wird häufig davon ausgegangen, dass Stimuli bzw. Aufgaben eine umso längere Reaktionszeit besitzen, umso aufwändiger und komplexer die neuro-kognitive Verarbeitung dieser Stimuli ist. Dabei ist es allerdings nötig, dass die Messung der Reaktionszeit auch während oder unmittelbar nach der Verarbeitung stattfindet. In dieser Studie wurden über beide Aufgabentypen des Emotionsparadigmas lediglich minimale und nicht signifikante Reaktionszeit-Unterschiede festgestellt.

Der Grund hierfür dürfte in der Methodik zu finden sein. Die Probanden wurden aufgefordert, 2 Bilder zu vergleichen, die hintereinander und für fest vorgegebene Zeitintervalle präsentiert wurden. Erst nach Präsentation des zweiten Bildes wurde je nach Aufgabentyp abgefragt, für welches der zwei Bilder sich die Probanden entschieden hätten. Zu diesem Zeitpunkt steht eine eventuelle Entscheidung schon fest. Somit entspricht die gemessene Reaktionszeit weit eher der Grundzeit, die die Probanden zum reinen Drücken des Antwort-Tasters brauchten. Ein Einfluss der emotionalen Stimuli auf die reine Reaktionszeit ist kaum mehr zu vermuten.

Betrachtet man dagegen die eigentliche Wahl der Probanden, bemerkt man sehr wohl einen Einfluss der emotionalen Stimuli. In der Emotionsvariante der Studie standen die Probanden vor der Wahl zwischen 2 Bildern, die sie nach einer emotionalen Kategorie bewerten sollten, in der sich diese zwei Bilder jedoch nicht unterschieden. Wurden sie also nach dem Bild mit der höheren Valenz befragt, unterschieden sich die Bilder lediglich im Arousal, aber nicht in der Valenz. Geht man von Russels zweidimensionaler Theorie der Emotionsentstehung aus, so sind die Grundbestandteile jeder Emotion, die zwei Dimensionen Valenz und Arousal, unabhängig voneinander (Russel, 1980a). Dabei ist der Grundgedanke, dass laut Posner (2005) jede einzelne affektive Erfahrung die Konsequenz einer linearen Kombination dieser zwei unabhängigen Systeme sei, die dann als Repräsentation einer bestimmten Emotion interpretiert würde (Lang, 1995; Posner, 2005; Gerber, 2008).

Geht man demzufolge von einer Unabhängigkeit dieser zwei Dimensionen aus, muss man folgendes Ergebnis erwarten: Fragt man nach dem Bild mit der größeren Ausprägung in einer der Dimensionen, die Bilder sind in dieser Dimension aber identisch, unterscheiden sich vielmehr nur in der anderen, unabhängigen Dimension, dann dürfte dieser Unterschied keinen Einfluss auf die Antwort der Probanden haben. Da keine neutrale Antwortmöglichkeit im Versuchsaufbau vorgesehen war, die Probanden sich also für eines der beiden Bilder entscheiden mussten, erwartet man hier eine Zufallsverteilung der Antworten.

Betrachtet man das Ergebnis des Arousal-Teils findet man genau diese erwartete Verteilung wieder: Sowohl in der Gesamtbetrachtung über alle Arousalstufen hinweg wie auch separat für Bilder hohen, mittleren und niedrigen Arousals erhält man annähernd die erwartete 50:50-Verteilung ( $p < 0,467$  für eine Abweichung davon). Offensichtlich hatten die Probanden keinen Anhaltspunkt für eine zielgerichtete Entscheidung, die unterschiedlichen Valenz-Werte hatten offenbar keinen Einfluss. Das Ergebnis in der Kategorie Arousal stellt also das klassische Bild der Unabhängigkeit zwischen den zwei Dimensionen Valenz und Arousal dar.

Anders stellt sich das Bild im Valenz-Teil der Emotions-Variante dar: Die Probanden sollten sich für das angenehmere von zwei Bildern entscheiden, die sich nicht in der Valenz, sondern nur im Arousal unterschieden. Hier weicht das Ergebnis deutlich von der erwarteten zufälligen 50:50-Verteilung ab. Im Gesamtvergleich über alle Valenz-Stufen hinweg empfinden 68,92% der Probanden solche Bilder als angenehmer, die einen niedrigeren Arousalwert besitzen, also weniger aufregend sind. Im nach Valenzstufen getrennten Vergleich wird der Unterschied noch deutlicher. Die Präferenz für Bilder mit niedrigem Arousal nimmt mit abnehmender Valenz deutlich zu. Wählten in der Stimulus-Gruppe mit konstant hoher Valenz erst 60,58% der Probanden die Bilder mit niedrigem Arousal, so sind es in der Stimulus-Gruppe mit niedriger Valenz 83,17%.

Eine mögliche Erklärung dafür liegt in der Vorbewertung der Bilder im Zuge der IAPS-Erstellung (Lang, 2007). Dabei wurde davon ausgegangen, dass bei der Bewertung der Bilder nach Arousal und Valenz diese unabhängig voneinander eingeschätzt werden. Der vorliegende Versuchsteil zeigt aber hochsignifikant

( $p < 0,004$ ): Welches der beiden Bilder im direkten Vergleich angenehmer ist, hängt eindeutig vom Arousal ab. Dies stellt einen groben Verstoß gegen die Forderung nach unabhängigen Dimensionen als Grundlage der Emotionsbeschreibung dar. Bereits in der Formulierung seiner Theorie eines „Circumplex model of affect“ erklärt Russel (1980a), dass die beiden Dimensionen Valenz und Arousal nicht immer komplett unabhängig voneinander sind, begründet dies aber mit einer Verzerrung der Statistik. Manche Affekte würden häufiger auftreten als andere, was zu einem Mengenungleichgewicht in den verschiedenen Quadranten des Emotionsraums führe. Da dies auch in die Statistik mit einfließe, würde eine mäßige Korrelation errechnet werden, die aber mathematisch, und nicht in der Abhängigkeit der Dimensionen voneinander begründet sei. Auch andere Autoren hatten öfters Zweifel an der tatsächlichen Unabhängigkeit von Valenz und Arousal geäußert. Dennoch gab es bis jetzt meines Wissens keine Untersuchungen speziell hierzu.

Dennoch stellt sich ein gemischtes Bild dar: Bewertet man Arousal bei variierender Valenz, scheint die Unabhängigkeitsforderung erfüllt zu sein. Betrachtet man hingegen Valenz bei variierendem Arousal, ist ein deutlicher Einfluss des Arousals zu verzeichnen. Dies lässt nicht auf eine symmetrische Abhängigkeit von Valenz und Arousal schließen, sondern vielmehr auf eine Hierarchie: Mit oberster Priorität wird ein Stimulus nach Arousal hin überprüft. Hier gilt, dass grundsätzlich niedrigeres Arousal zu bevorzugen ist. Erst wenn die Differenzierung nach Arousal keinen nennenswerten Unterschied erbringt, fällt die Differenzierung nach Valenz als nachgeordnete Priorität ins Gewicht. Die Bewertung nach Valenz wäre in der hierarchischen Interpretation emotionaler Stimuli der Bewertung nach Arousal neuronal untergeordnet (s. auch unten).

Diese Höherstellung von Arousal kann man aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten:

Die größte Abweichung von der Unabhängigkeit von Valenz und Arousal ist im Bereich niedriger Valenz, also bei unangenehmen Bildern, zu verzeichnen. Ein hohes Arousal in Zusammenhang mit negativer Valenz bedeutet aber aus evolutionstheoretischer Sicht im Zweifelsfall Gefahr. Lang (1995) stellte fest, dass Emotionen Handlungsimpulse sind, die dann auftreten, wenn im Verhalten eine

Lücke entsteht (engl. *behavioral hiatus*), wenn also eine Entscheidung über das weitere Vorgehen gefasst werden muss. Des Weiteren herrscht relative Einigkeit darüber, dass Emotionen mit einer Handlungstendenz verbunden sind (Lazarus, 1991). McDougall sieht sogar den Kern von Emotionen in Instinkthandlungen (Meyer, 2001). Sieht man Emotionen als Handlungsanweisungen für das Vorgehen in neu einzuschätzenden Situationen, so ist die Tendenz, Gefahren zu meiden, eine der wesentlichen Grundsteine zum Überleben. Ob man dabei eine Situation eher angenehm oder unangenehm empfindet, spielt eine untergeordnete Rolle, solange man der unmittelbaren Gefahr erst einmal entrinnt.

Ein solcher Mechanismus der Grobbewertung hat somit praktischen Nutzen, da aversive Stimuli biologisch mit höherer Wahrscheinlichkeit auftreten und eine größere Rolle spielen als appetitive Stimuli (Posner, 2005).

Die Meidung von Stimuli mit hohem Arousal ist somit im Sinne des Selbstschutzes zu interpretieren. Demzufolge bedeutet ein höherer Wert an Arousal auch eine höhere Handlungsaufforderung an den Betrachter, auf den Stimulus zu reagieren.

Unabhängig davon, ob es sich um einen aversiven oder appetitiven Reiz handelt, in jedem Fall ist eine energiefordernde Handlung nötig, die Ressourcen verbraucht. Auch aus dem Blickwinkel der Energieeinsparung betrachtet ist es deshalb sinnvoll, Stimuli mit geringerem Arousal zu bevorzugen.

Dass die Einsparung von Ressourcen, also die Bevorzugung niedrigen Arousals, dabei keine Universalie ist, zeigt der Trend hin zu höherem Arousal im Bereich höherer Valenzstufen. Darin könnte man die kognitive Überformung der impliziten Handlungstendenz sehen, der zufolge man sich auf die eine oder andere energieaufwändige Handlung doch einlassen könnte, solange sie nicht mit Gefahr verbunden ist.

Neurophysiologische Messungen haben ergeben, dass es eine enge Korrelation zwischen steigendem Arousal und steigender Herzfrequenz, erhöhter Hautleitfähigkeit und vermehrter zerebraler Aktivierung gibt (Posner, 2005). Mit steigendem Arousal steigt auch die Aktivität des sympathischen Nervensystems. Dabei handelt es sich um sehr grundlegende Körperprozesse, nämlich die Blutversorgung und die Körpertemperatur sowie von neuraler Seite her

Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit. Im Vergleich dazu sind die physiologischen Effekte steigender Valenz emotionaler Stimuli eher gering (Posner, 2005). Daraus könnte man ableiten, dass das Arousal-Level in Vergleich zur Valenz einen deutlich weitreichenderen, ursprünglicheren Einfluss auf die Physiologie des Körpers hat, der auch evolutionär älter und grundlegender ist. Die Valenz als jüngere und kognitiv anspruchsvollere Dimension wird dem gegenüber untergeordnet (Pfaff, 2008). In diesem Zusammenhang kann man an die jamesianischen Thesen denken, wonach die physiologische Erregung als Reaktion auf einen Stimulus überhaupt erst eine Emotion auslöst (James, 1890/1950; Schachter, 1962). In diesem Fall würde das Arousal das Level dieser physiologischen Erregung festlegen, die dann kognitiv im Sinne einer Emotion bewertet wird.

### **5.1.3 Neuronal**

Neurobildgebende Studien liefern als Ergebnis immer Kontraste, die entstehen, wenn man von den neuronalen Aufnahmen einer zu untersuchenden Bedingung die Aufnahmen abzieht, die während einer Kontrollbedingung entstanden sind. Dabei sollten Untersuchungsbedingung und Kontrollbedingung nur in dem zu untersuchenden Aspekt Unterschiede aufweisen. Im Hauptkontrast der Emotionsvariante bestand die Untersuchungsbedingung für die Probanden darin, emotionale, visuelle Stimuli zu betrachten, zu vergleichen und nach höherer Valenz bzw. höherem Arousal zu bewerten. Die Kontrollbedingung bestand darin, dieselben emotionalen, visuellen Stimuli zu betrachten, zu vergleichen, aber nach der Präsentationszeit zu bewerten. Was somit nach der Kontrastbildung, also der Subtraktion der Zeit-Aufnahmen von den Emotionsaufnahmen, an Aktivierung übrig blieb und den Unterschied in der neuronalen Verarbeitung dieser beiden Bedingungen anzeigte, war der Vorgang der emotionalen Bewertung. Dabei muss ein Unterschied gemacht werden zwischen der emotionalen Verarbeitung, dem Erfahren der Emotion, und der Bewertung nach emotionalem Gehalt (Kihlstrom, 2000). Denn auch in der Kontrollbedingung muss man davon ausgehen, dass zwar der Fokus auf der Zeitwahrnehmung lag, deswegen die Stimuli dennoch ihre emotionale Wirkung nicht einbüßten. Der Proband erfuhr also trotzdem die Emotion, die von den Stimuli ausgelöst wurde, nur fand hier keine explizite Bewertung des Emotionsgehalts statt.

Im Arousal-Teil zeigt sich im Hauptkontrast eine deutliche relative Aktivierung im rechten, inferioren Parietalcortex, genauer gesagt vornehmlich dem Gyrus parietalis inferior (BA 7) und dem Gyrus supramarginalis (Brodmann-Areal 40). Dies erscheint im Zusammenhang mit Emotionen im ersten Moment überraschend, da diesem Bereich, der zur temporoparietalen Übergangszone gehört, vor allem eine Bedeutung als intermodales Integrationszentrum sowie der Raumerfassung zugeschrieben wird (Bösel, 2006). Das Brodmann-Areal 40 (BA 40) im Gyrus supramarginalis wird als sekundäres somatosensorisches Areal betrachtet, das durch die Integration von

visuellen, akustischen sowie vor allem somatosensorischer Informationen komplexe, mentale Konstrukte ermöglicht (Siedentopf, 2010). So könnte das Gehirn eine räumliche wie qualitative kortikale Karte innerer Zustände erstellen (Damasio, 2000; Lou, 2004). Diese Repräsentation des mentalen wie physischen Selbst im Parietalcortex, die in mehreren Studien belegt wird (Keenan, 2001; Blanke, 2002; Vogele, 2003) könnte erklären, warum BA 40 bei der Bewertung nach Arousal aktiviert wird. Wie bereits in vorangegangenen Abschnitten dargestellt wurde, hat der Arousal-Wert eines Stimulus einen hohen Einfluss auf die vegetativen Funktionen des Körpers. Man kann vermuten, dass der inferiore Parietalcortex in seiner Funktion als visuelles wie auch somatosensorisches Assoziationszentrum den Zusammenhang zwischen dem vom visuellen Stimulus vermittelten Arousal und dem physiologischen Erregungslevel im Körper herstellt und bezüglich verschiedener Stimuli miteinander abgleicht. Dies stimmt mit Ergebnissen einer Studie von Anders und Kollegen (2004) überein, die unter anderem Aktivierungen im rechten Gyrus supramarginalis feststellten, die parallel zu physiologischen Veränderungen (Hautleitfähigkeit und Startle-Reflex) mit dem Arousal visueller Stimuli - ebenfalls aus der IAPS-Datenbank - korrelierten. Des Weiteren wurde dem inferioren Parietalcortex eine Rolle bei der Verarbeitung aversiver Stimuli als Teil der dorsalen Seh-Strecke (engl. *dorsal visual pathway*) zugeschrieben (Adolphs, 2005). Die Abneigung hohen Arousals im Zuge der Gefahrenvermeidung könnte außerdem erklärt werden durch die dem inferioren Parietalcortex ebenfalls zugesprochene Rolle in der Top-Down-Regulation der Aufmerksamkeit auf visuelle Stimuli (Amting, 2010). Die in dieser Studie aktivierte Region im Gyrus supramarginalis und Gyrus parietalis inferior muss somit nicht als die eine spezifische Region zur Verarbeitung und Repräsentation der emotionalen Arousal-Komponente angesehen werden, sondern vielmehr als Endpunkt einer Kaskade von neuronalen und physiologischen Reaktionen auf das wahrgenommene Arousal (Lang, 1998). Das würde mit Forschungsergebnissen im Einklang stehen, die bereits in den 90er Jahren in der temporoparietalen Übergangszone ein Zentrum sowohl für die Erfahrung von Emotionen wie auch die Wahrnehmung neurophysiologischen Arousals sahen (Adolphs, 1996).

Im Valenz-Teil der Emotions-Bedingung findet sich die bereits besprochene Aktivierung im Parietalcortex wieder, die nahezu identische Areale umfasst. Dies

lässt sich am einfachsten dadurch erklären, dass auch in diesem Teil die oben genannten Prozesse der Arousal-Bewertung ablaufen. Das würde vor allem im Zusammenhang mit der Theorie, dass die Arousal-Bewertung der Valenz-Bewertung übergeordnet und vorgeschaltet ist, Sinn ergeben. Denn bevor demnach eine Entscheidung nach Valenz getroffen werden kann, muss erst sichergestellt sein, dass das Arousal keine höhergestellte Grundlage zur Entscheidungsfindung liefert. Diese allgemeine Rolle für die Emotionsentstehung wäre in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Läsionsstudien, die im rechten unteren Parietalcortex eine der Hauptregionen sehen, deren Schädigung zu einer Einschränkung emotionaler Erfahrungen führt (Adolphs, 1996).

Zusätzlich zu diesem homologen Cluster im rechten Parietalcortex findet sich in diesem Kontrast noch ein zweites Aktivitäts-Cluster im rechten dorsolateralen Präfrontalcortex. Im Gegensatz zum Parietalcortex ist der Präfrontalcortex ein häufig aktiviertes Areal in der Emotionsforschung. Der mediale Präfrontalcortex soll in bis zu 50% aller emotionsbezogener fMRT-Studien aktiv sein, während der laterale Präfrontalcortex immer noch bei gut 35% aller Studien erscheint (Luan Phan, 2004). Außerdem sind enge funktionelle Beziehungen und Projektionen zwischen lateralem und medialem Präfrontalcortex sowie dem limbischen System beschrieben (Kober, 2008). Diese reichen Faserverbindungen sprechen für einen regen Informationsaustausch zwischen subkortikalen und den genannten kortikalen Arealen und somit über den Hypothalamus auch für einen großen Einfluss des Präfrontalcortexes auf vegetative Prozesse des Körpers. Daher schrieben Anfang des neuen Jahrtausends Duncan (2001) dem Präfrontalcortex im sogenannten „*adaptive-coding model*“ auf Grund dessen weitläufiger Beteiligung an der Entstehung und Verarbeitung unterschiedlicher Emotionen eine der Emotionsbildung allgemein zugrunde liegende Rolle zu. Posner (2005) hält den Präfrontalcortex unter Bezug auf Davidson, Ekman und andere für ein zentrales Element bei der Erfahrung positiver wie negativer Emotionen und sagt, der Präfrontalcortex integriere, organisiere und strukturiere die primitiven Gefühle von *Pleasure* (Valenz) und Arousal mit dem Wissen um die zeitlichen Zusammenhänge, die vorangegangene Erfahrungen mit Stimuli innerhalb variierender Lebensumstände mit Erwartungen für die Zukunft verknüpfen. Die kognitiven Funktionen des präfrontalen Cortexes

unterstützten das Erschaffen und bewusste Erkennen spezifischer Emotionen, indem zugrundeliegende neurophysiologische Sinneswahrnehmungen mit spezifischen externen Hinweisen assoziiert und integriert würden (Posner, 2005).

Im Präfrontalcortex als kognitives Assoziationsareal sollen also vergangene Erfahrungen sowie zukünftige Pläne und Wünsche mit der gerade aktuellen Situation und den dadurch ausgelösten neurophysiologischen Grundbewertungen in Valenz und Arousal auf kognitiver Ebene verknüpft und zu einer aktuell adäquaten und bewussten Emotionserfahrung integriert werden. Dies entspräche der generellen Feststellung Russels bezüglich eines emotionsbildenden, neurologischen Systems bestehend aus Valenz, Arousal und Kognition (Russel, 1980a).

Im dorsolateralen Präfrontalcortex liegen die Brodmann-Areale 9 und 46. Dem BA 9 werden dabei allgemein Aufgaben bei der Objekterkennung, intentionalen Beachtung der Umwelt und auch der Manipulation der Informationen im Arbeitsgedächtnis zugeschrieben, während BA 46 neben einigen Überschneidungen im Aufgabenbereich auch dazu dient, Stimuli kognitiv zu ihrem Kontext in Bezug zu setzen (Bösel, 2006). Gerade diese Teilbereiche, nämlich die Manipulation von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses und die kognitive Beurteilung von exogenen Stimuli, scheinen mögliche Gründe zu sein, warum in der vorliegenden Studie gerade der laterale Präfrontalcortex aktiv war.

Der Vorgang der Beurteilung von affektiven Stimuli bezüglich der Valenz kann ein weiterer Grund sein für den ermittelten Aktivitätsunterschied. Denn war die Beurteilung des Arousal ein auf viele grundlegende Prozesse des Körpers aufbauender, fundamentaler Prozess, so ist die Beurteilung der Valenz, also des Abwägens von Gefallen gegen Nicht-Gefallen, ein intuitiv anspruchsvoller wirkender Prozess, der eher auf Kognition als auf Basisprozesse des Körpers aufbaut. Denn die Beurteilung eines affektiven Stimulus stellt zusammengefasst die Integration und kognitive Überformung bzw. Manipulation der im Arbeitsgedächtnis gespeicherten Stimulusinformationen in Zusammenschau mit den Informationen zu Valenz und Arousal und der Einbettung in die aktuelle Situation dar. Für Gerber, Posner et al. (2008) sei den Richtlinien des affektiven Circumplex folgend die affektive Antwort ebenso sehr ein Produkt des Wahrnehmenden und dessen kognitiven Überbaus, wie

es eine Reflexion der „wahren“ Natur des affektiven Stimulus selbst sei (Gerber, 2008).

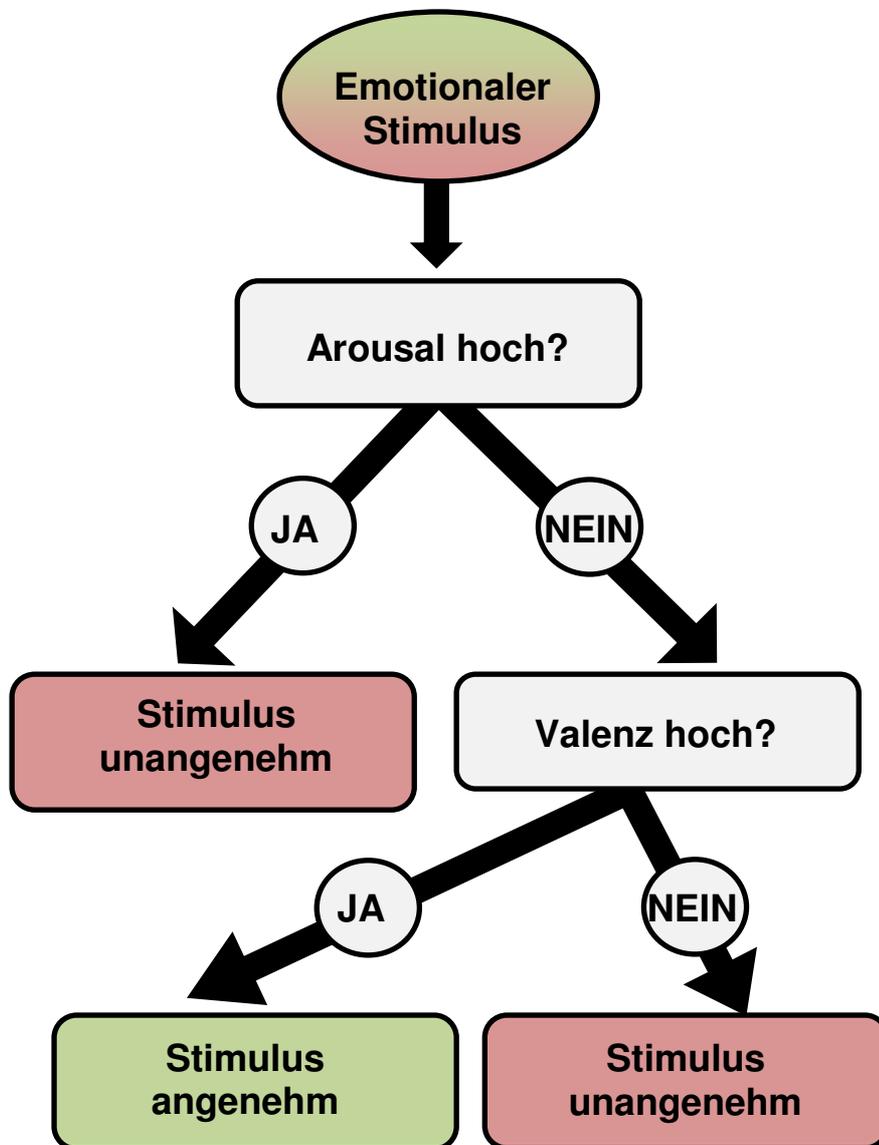
Die vorliegenden Ergebnisse werden durch eine weitere Studie mit IAPS-Bildern als Stimuli unterstützt (Grimm, 2006), die zeigt, dass der laterale Präfrontalcortex ebenso wie in der vorliegenden Studie spezifisch im Zusammenhang mit Valenz aktiviert wird, nicht aber bei Aufgaben bzgl. Arousal.

In der Zusammenschau zeigen die neuronalen wie die behavioralen Daten des vorliegenden Experiments, dass für die Beurteilung des Arousals anscheinend grundlegende und evolutionär ursprünglichere Prozesse herangezogen werden, die vor allem im unteren Teil des parietalen Assoziationscortex, in der temporoparietalen Übergangszone, integriert werden. Diese Prozesse sind der Beurteilung der Valenz übergeordnet, so dass unabhängig von der vorliegenden Valenz derjenige visuelle Stimulus als angenehmer empfunden wird, der das niedrigere Arousal aufweist. Erst wenn das Arousal-Level keine geeignete Entscheidungsgrundlage mehr bietet, wird in zweiter Instanz die Beurteilung der Valenz zur kognitiven Entscheidungsfindung herangezogen. Dies bedeutet einen höheren Aufwand an neuronaler Kapazität, was durch die in diesem Fall nötige, zusätzliche Aktivierung des dorsolateralen Präfrontalcortex deutlich wird. Im Vergleich zur Beurteilung des Arousals stellt die Beurteilung der Valenz eine kognitive Überformung der zugrundeliegenden affektiven Prozesse dar.

Wir haben somit vermutlich ein zweistufiges System zur Beurteilung emotionaler Stimuli, wie Abbildung 17 veranschaulicht: In Stufe 1 wird das Arousal-Level beurteilt und geprüft, ob dies bereits für eine Entscheidung zwischen zwei Stimuli ausreicht. Nur wenn dies nicht der Fall ist, wird in Stufe 2 mit Hilfe der Valenz ein umfassenderes, aber auch aufwändigeres Urteil gebildet.

Dieses Ergebnis stellt die Unabhängigkeit von Valenz und Arousal als Grunddimensionen der Emotionsbildung nicht zwangsläufig in Frage. Valenz und Arousal können bei einer Beurteilung emotionaler Stimuli nach beiden Dimensionen separat nach wie vor unabhängig voneinander sein. Nur in eher lebensnahen Situationen, die nicht die nach Faktoren getrennte Bewertung zum Ziel hat, sondern

das schnelle und praktikable Einschätzen vollständiger Situationen, scheint es eine klare Bewertungshierarchie zwischen diesen Dimensionen zu geben.



**Abbildung 17:** Flussdiagramm zur hierarchischen Beurteilung emotionaler Stimuli

## **5.2 Zeitvariante**

Im zweiten Teil wurde dann das Augenmerk auf die Zeitbedingung gerichtet.

### **5.2.1 Behavioral**

Hier muss unterschieden werden zwischen dem Teil der Aufgaben mit realen Präsentationszeitunterschieden und dem Teil mit lediglich angekündigtem Unterschied bei identischer Präsentationszeit.

In der vorliegenden Studie liegt die Häufigkeit, mit der das auch tatsächlich länger präsentierte Bild erkannt wurde, im Teil T10 sowohl im Arousal- wie auch im Valenzteil zwischen 63,46% und fast 88,64%, im Teil T20 mit dem noch deutlicheren Zeitunterschied zwischen 81,82% und 95,45%. Somit kann man davon ausgehen, dass die Probanden die Fragestellung verstanden haben und konzentriert und motiviert mitgearbeitet haben.

Der Teil T0 ist durch fehlende Präsentationszeit-Unterschiede zwischen den Stimuli so ausgelegt, dass die Probanden keine physikalische Grundlage für eventuell subjektiv empfundene Zeitunterschiede haben. Dennoch mussten sie zumindest nach einem Zeitunterschied suchen. Sie mussten sich für eines der beiden präsentierten Bilder entscheiden, obwohl es einen physikalischen Präsentationszeit-Unterschied nicht gab, die Bilder unterschieden sich lediglich in Arousal oder Valenz.

Die behavioralen Ergebnisse des Arousal-Teils wie auch des Valenz-Teils zeigen annähernd die 50:50-Verteilung.

Dieses Ergebnis scheint zu bedeuten, dass die emotionale Komponente der Stimuli keinen Einfluss auf das subjektive Zeitempfinden der Probanden hatte. Die Ergebnisse dieser Studie stehen im Widerspruch zu der Annahme, dass erhöhtes Arousal der zu bewertenden Stimuli zu einer Überschätzung von Zeitintervallen führt

(Wittmann, 2009a; Wittmann, 2009b; Grondin, 2010; Droit-Volet, 2011). Dies wird üblicherweise damit erklärt, dass im Pacemaker-Akkumulator-Modell durch das erhöhte Arousal auch die Frequenz des Pulsgebers erhöht wird und somit in der gleichen physikalischen Zeitspanne mehr Pulse gespeichert werden als bei einem bezüglich des Arousals neutralen Stimulus. Diese höhere Anzahl an gesammelten Pulsen vermittelt dem Hirn den Eindruck, es wäre eine längere Zeitspanne vergangen (Pöppel, 1971; Zakay, 1997). In einer aktuellen Kritik an dieser Theorie führt Schirmer (2011) allerdings mehrere Anmerkungen auf: (1) Es gäbe keine klare Definition der Beziehung zwischen dem Arousal-Level und der inneren Uhr. Vielmehr sei dieses Konzept voller impliziter Annahmen wie der nicht bewiesenen Übertragung des Stimulus-Arousals auf vegetatives Arousal. (2) Des Weiteren würde zwar häufiger eine parallele Veränderung des Arousals und der Zeitschätzung auftreten, aber es gäbe keine direkten Studien zu dieser positiven Korrelation. So könnte die Modifikation der Zeitschätzung im Arousal, aber auch in einer Veränderung des Kurzzeitgedächtnisses oder der Aufmerksamkeit liegen. (3) Dann würden durch erhöhtes Arousal im Körper ausgelöste Prozesse erst zwischen 3 und 6 Sekunden nach Stimuluspräsentation einsetzen, wogegen die meisten Studien mit Intervalldauern unter 3 Sekunden arbeiteten. Außerdem (4) würde nach Lee (2011) auch Angst eine Überschätzung der Zeitintervalle, also eine Beschleunigung des Pacemakers verursachen, obwohl sich Angst im Gegensatz zu z.B. Wut durch ein niedriges Arousal-Level auszeichnet. Hier könnten bisher unbekannte Confounder eine Rolle spielen. Für die vorliegenden Ergebnisse könnten vor allem die Punkte 2 und 4 relevant sein.

Die Stimuli in dieser Studie wurden unabhängig von beispielsweise inhaltlichen Aspekten streng nach Valenz und Arousal ausgewählt und pseudorandomisiert. Diesbezügliche Cofaktoren wären somit statistisch eliminiert. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, dass Arousal und Zeitempfinden über einen Confounder korrelieren, durch die gute Studienlage eher gering. Wahrscheinlicher hingegen erscheint, dass kurze Momente emotionaler Auslenkung, wie sie wenige Sekunden präsentierte Bildstimuli erzeugen, nicht ausreichen, um eine messbare Veränderung der subjektiven Zeitwahrnehmung zu erzeugen. Droit-Volet und Kollegen (2011) benutzten daher mehrere Minuten lange Filmsequenzen, um eher die grundlegende

Stimmung der Probanden zu verändern, als ein kurzes emotionales Aufblitzen durch kurze Stimuli zu erzeugen. Es scheint jedenfalls plausibel, dass das subjektive Zeitempfinden nicht durch jeden kurzen Moment emotionaler Empfindung nennenswert manipuliert wird. Eine gewisse Stabilität auch über grundsätzlich modifizierende Momente hinweg ist sicherlich nötig, um ein vernünftiges Agieren im zeitlichen Kontext zu ermöglichen.

Außerdem hat sich gezeigt, dass es sehr viel schwieriger ist, das Arousallevel eines Organismus zu senken, als es zu erhöhen, da im biologischen Rahmen aversive und damit das Arousal erhöhende Stimuli eine enorm größere Rolle spielen als deren Gegenstücke. Selbst in der eben zitierten Studie von Droit-Volet (2011) konnten 9 Minuten dauernde, traurige Filme, die also ein niedriges Arousallevel erzeugen sollten, keine so ausreichende Arousalabsenkung erzeugen, dass in der Zeitwahrnehmung ein Unterschied zur neutralen Bedingung messbar gewesen wäre.

Allein die Tatsache, dass der Einfluss der emotionalen Stimuli keinen behavioral messbaren Effekt bewirkt, bedeutet aber nicht automatisch, dass es auch auf neuronaler Ebene keinen Einfluss gibt. Es bedeutet lediglich, dass der exekutive Teil der subjektiven Zeitempfindung über geringfügige Verwerfungen hin stabil ist.

### **5.2.2 Neuronal**

Die neuronalen Ergebnisse der Zeit-Variante zeigen die hirnfunktionelle Korrelate der selektiven Beeinflussung von Arousal oder Valenz auf die Zeitverarbeitung. Im Valenz-Teil sind hierbei nur zwei schwache Erregungen zu erkennen, im Bereich des Precuneus und des basalen Übergangs zwischen dem Okzipitallappen und dem rechten Parietallappen. Im Arousal-Teil sind im Vergleich dazu deutlich intensivere und weitläufigere Erregungs-Cluster zu sehen. Sie umfassen den beidseitigen Precuneus, den linken Gyrus cinguli posterior und basale Areale auf beiden Seiten des Okzipitalcortex, aber auch den linken dorsalen wie medialen Präfrontalcortex. Somit lässt sich sagen, dass unabhängig von den spezifisch aktivierten Arealen die Zeitschätzung im Zusammenhang mit Arousal eine höhere neuronale Kapazität benötigt. Dies kann so interpretiert werden, dass das Arousal-Level in Übereinstimmung mit den Ergebnissen vorangegangener Studien durchaus einen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung hat (Wittmann, 2009a; Droit-Volet, 2011; Grondin, 2010). Dieser beschränkt sich in der vorliegenden Studie allerdings nur auf die neuronale Ebene und findet keinen Eingang in die Handlungsebene. Das Valenz-Level scheint demgegenüber nach der allgemeinen neuronalen Aktivität und Intensität zu schließen sehr viel weniger Einfluss auf die Zeitschätzung zu haben. Dieses Ergebnis ist ebenfalls in Übereinstimmung mit den eben zitierten Studien.

Die Aktivierungen im Bereich des Precuneus, also des medialen Parietalcortex, erscheinen in beiden Bedingungen. Dieses Hirnareal ist auf Grund seiner unzugänglichen und vor lokalen Schädigungen geschützten Lage in der Tiefe der Fissura longitudinalis cerebri als eines der letzten Areale ins Interesse der Wissenschaft gerückt und stellt somit nach wie vor einen der am wenigsten erforschten Hirnteile dar. Innerhalb der nur vagen Vorstellung der Aufgabengebiete des Precuneus stellt sich dessen Aktivierung vor allem im Zusammenhang mit Zeitwahrnehmung dennoch eher als eine Überraschung dar. Der Precuneus stellt den evolutionär sehr jungen Übergang zwischen dem Cortex des Parietallappens und dem Gyrus cinguli posterior als Teil des limbischen Systems dar und ist als

solcher ein stark entwickeltes, integratives Zentrum weit gestreuter Aufgabenbereiche (Cavanna, 2006). Hierzu sagen Cavanna und Trimble (2006), es wäre auffällig, dass keine direkten Verbindungen mit den primären sensorischen Arealen gefunden worden wären. Daher scheine es begründet, anzunehmen, dass Aktivität im Precuneus ein ausgedehntes Netzwerk von kortikalen und subkortikalen Strukturen beeinflusse, das eher in der Ausarbeitung von in höchstem Masse integrierter und assoziierter Informationen eingebunden sei, als dass es externe Stimuli direkt bearbeite (Cavanna, 2006).

Zu diesen assoziativen und integrativen Aufgaben gehören vor allem die mentale Vorstellung optisch-räumlicher Gegebenheiten und Situationen, das Abfragen des episodischen Gedächtnisses sowie auf das Selbst und das Bewusstsein bezogene Vorgänge. Der Precuneus wird außerdem als einer der Knotenpunkte des sogenannten „Default mode network“ angesehen (Buckner, 2008).

Die Tatsache, dass das Gebiet des Precuneus sowohl in der Arousal-Bedingung wie – wenn auch schwächer – in der Valenz-Bedingung aktiv ist, lässt den Schluss zu, dass hier ein Vorgang zur Zeitmessung mehr oder weniger unabhängig von Emotionen stattfindet. Hierfür könnte man mehrere, wenn auch allesamt sehr spekulative Erklärungsmodelle auführen:

Wie bereits erwähnt betrifft eine der Funktionen, die dem Precuneus zugeschrieben werden, die mentale Repräsentation zeitlich-räumlicher Vorstellungen. Neben der klassischen Vorstellung von Räumen und Wegen fallen hierunter auch kognitiv anspruchsvollere Vorgänge wie die Verarbeitung von Musik. So zeigte bei Nakamura (1999) der Precuneus während passivem Musikhörens eine gesteigerte Aktivität im fMRT wie auch im PET und EEG. Satho et al (2001) erklärten sich die Aktivierung des Precuneus in ihrer Studie eher mit der mentalen Vorstellung der Musik selbst als mit einer imaginären Mitschrift der Noten. Nun hängen Musik und Zeitschätzung sehr eng miteinander zusammen, sind doch beide getaktet: Musik durch den Aufbau, die Zeitempfung im Modell durch den Pulsgeber. Für einen solchen taktbezogenen Zusammenhang spricht auch eine fMRT-Studie von Lutz (2000). Nur wenn die Probanden hier synchron zu einem regelmäßigen Takt tippten, zeigte sich deutliche Aktivität im Precuneus, nicht aber wenn es sich um ein

unregelmäßiges Klopf-Muster handelte. Zwar wurde den Probanden in der Instruktion unserer Versuche das Zählen oder Taktschlagen während der Zeitversuche untersagt, doch könnte zum Vergleich der zwei Stimuli dennoch eine abstrakte, gepulste Vorstellung analog zur Musik stattgefunden haben, was die Aktivität des Precuneus erklären könnte.

Ein zweites Erklärungsmodell für die emotionsunabhängige Aktivierung des Precuneus könnte dessen Beteiligung am Arbeitsgedächtnis und der Aufmerksamkeitsverteilung bieten (Cavanna, 2006). Der direkte Vergleich des bereits ausgeblendeten Bildes mit dem gerade sichtbaren Bild bezüglich deren Präsentationszeit erfordert, dass der Eindruck des bereits ausgeblendeten Bildes in irgendeiner Form, visualisiert oder als abstrakte Information, im Gedächtnis gespeichert werden kann. Platel et al. (2003) fanden in einem ähnlich gestalteten Melodie-Erkennungstest Aktivierungen des Precuneus, des Präfrontalcortex und des (anterioren) Gyrus cinguli, die auch mit dem Arbeitsgedächtnis in Verbindung gebracht werden. Ein vergleichbares Aktivitätsmuster zeigt zumindest der Arousal-Teil. Auch ein kognitiver Vergleich der Präsentationsdauer mit bereits durch Erfahrung gelernten und dann erinnerten Zeitintervallen als Brücke zur präzisen Zeitschätzung wäre vorstellbar. Eine Korrelation der Aktivität im Precuneus und dem Gyrus cinguli posterior mit der Gedächtnisleistung von Alzheimer-Patienten konnten Eustache et. al. (2004) nachweisen.

Und schließlich nimmt der Precuneus zusammen mit anderen posteriomedialen Cortexarealen und dem Präfrontalcortex eine prominente Stelle im sogenannten „Default Mode Network“ ein (Buckner, 2008). Die darunter zusammengefassten Hirnareale verhalten sich paradox zu den meisten anderen Gebieten, indem sie vor allem dann verstärkte Aktivität zeigen, wenn das Hirn nach gängiger Auffassung ruht. Dies ist jedoch nicht gleichzusetzen mit unaufmerksamer Träumerei *per se*.

Cavanna (2006) erklärt unter Berufung auf Gusnard (2001) diesbezüglich, eine Erklärungsmöglichkeit für die spontanen, mentalen Prozesse, die während der Ruhephasen stattfinden, wäre, dass, wenn ein Individuum wach und wachsam, aber noch nicht aktiv mit einer bestimmten kognitiven Aufgabe befasst sei, der Precuneus und der mit ihm verbundene posteriore Cingulus sowie der mediale Präfrontalcortex

mit der ununterbrochenen Aufnahme und Repräsentation von Informationen über das Selbst und die externe Welt beschäftigt sei.

Das bedeutet, wenn das Default Mode Network aktiv ist, liegt der Fokus der neuronalen Aktivität nicht auf der zielgerichteten Verarbeitung externer Stimuli, sondern auf dem Selbst und dessen Einordnung in die aktuelle Umwelt. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass während der Zeit-Variante dieses Versuchs die Aufmerksamkeit der Probanden in erster Linie auf das eigene Selbst gerichtet war, allerdings nicht unter Ausschluss, sondern gerade unter besonderer Beachtung der Umwelt, also auch der Bild-Stimuli. Wittmann (2009a) sieht in der subjektiv empfundenen Zeit eine Funktion des Selbst, wobei das Selbst als Gesamtheit aller möglichen psychologischen Eigenschaften und Zuständen eines Individuums verstanden wird. Indem die Probanden in diesem Versuch also das Zeitparadigma bearbeitet haben, scheinen sie viel weniger die eigentlichen Reize untereinander, als vielmehr sich selbst in Bezug zu diesen beobachtet zu haben. Die dadurch ausgelöste emotionale Wirkung der Stimuli scheint allerdings nicht stark genug für eine Beeinflussung der Verhaltensebene gewesen zu sein.

## **6. Zusammenfassung und Ausblick**

In meiner fMRT-Studie haben Probanden beiderlei Geschlechts im jungen Erwachsenenalter jeweils zwei emotionale Stimuli in Form von Fotografien miteinander verglichen, die sich entweder im Arousal oder in der Valenz glichen, in der jeweils anderen emotionalen Dimension aber maximal unterschieden.

Wurde im Zuge dieser Aufgaben nach dem aufregenderen Bild gefragt, wurde entsprechend dem Arousal-Level geantwortet. Da dieses sich aber in der Stimulus-Kombination dieses Teil-Experiments nicht unterschied, stellte das Ergebnis eine willkürliche nahezu 50:50-Verteilung dar, die keinen Einfluss der Valenz erkennen ließ. Neuronal wurde die kognitive Bewertung des wahrgenommenen Arousals als einseitige Aktivierung im rechten parietotemporalen Übergangsbereich deutlich. Hier werden womöglich Informationen bezüglich körperlichem Erregungslevel und visuell vermitteltem Arousal integriert, wodurch eine entsprechende Handlungstendenz generiert wird.

Wurde nach dem angenehmeren Bild eines Stimulus-Paares gefragt, wäre eine ähnliche statistische Zufallsverteilung wie oben zu erwarten gewesen, da sich die Stimuli hier nicht nach der gefragten Valenz, sondern nur nach Arousal unterschieden. Allerdings zeigte sich, dass Bilder mit niedrigem Arousal-Level generell bevorzugt wurden, mit einer deutlichen Betonung im Bereich niedriger Valenzen. Dies stellt einen klaren Verstoß gegen die gängige Annahme dar, die allen Emotionen zugrunde liegenden Dimensionen Valenz und Arousal wären voneinander unabhängig, stünden also orthogonal zueinander. Vielmehr wird hier das Bild vermittelt, dass die Valenz nur im abstrakten Zusammenhang vom Arousal unabhängig ist. In der Realität bestimmt in erster Linie das Arousal-Level über die ausgelöste Emotion. Nur wenn Arousal alleine nicht ausreicht, um eine Entscheidung zu fällen, erfolgt nachgeordnet eine Bewertung nach Valenz. Dies wäre im evolutionären Zusammenhang als vereinfachender Mechanismus zur instinktiven Gefahrenvermeidung und Ressourcenersparnis zu erklären. Auf neuronaler Ebene spiegelt sich dieser zweiphasige Bewertungsvorgang in der zusätzlichen Aktivierung

im rechten dorsolateralen Präfrontalcortex wider. Hier erfolgt die kognitiv anspruchsvollere Beurteilung nach Valenz, wenn Arousal alleine zur Beurteilung nicht ausreicht.

Zukünftige Studien müssen nun zeigen, wie genau diese Dominanz der einen gegenüber der anderen Emotionsdimension im Detail funktioniert und unter welchen Bedingungen womöglich doch eine Entkopplung von Valenz und Arousal stattfinden könnte. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass Valenz und Arousal noch nicht die letzte Antwort auf der Suche nach den Grundeinheiten der Emotionsentstehung bilden. Bisher unerkannte Störgrößen könnten eventuell auch zur Erklärung der vorliegenden Ergebnisse beitragen.

Wurde in den Aufgaben danach gefragt, welches der beiden Bilder (angeblich) länger zu sehen war, sollte sich ein möglicher Effekt der Emotionsdimensionen auf die subjektive Zeitwahrnehmung abbilden. Ein Einfluss der Valenz ließ sich aber weder behavioral noch neuronal nachweisen. Auch das unterschiedliche Arousal-Level der Stimuli hatte keinen messbaren Einfluss auf die behaviorale Zeitschätzung, allerdings gibt eine erhöhte und deutlich ausgedehnte neuronale Aktivierung Hinweise darauf, dass zumindest die neuronale Verarbeitung der Zeitstimuli einer gewissen Modifikation durch das Arousal unterlag. Dies wäre im Einklang mit vergangenen Studien, die in höherem Arousal einen Grund für eine Beschleunigung der subjektiven Zeitempfindung und damit einer Zeitspannen-Überschätzung sehen. Da dieser Einfluss auf die subjektive Zeitwahrnehmung in der vorliegenden Studie aber kein behaviorales Korrelat fand, ist anzunehmen, dass Dauer und / oder Intensität der emotionalen Stimuli nicht stark genug waren, um eine behavioral messbare Verschiebung der Zeitwahrnehmung zu verursachen. Eine gewisse Toleranzschwelle, unterhalb der das Zeitempfinden von emotionalen Eindrücken unbeeindruckt konstant bleibt, scheint im Sinne zeitlicher Kontinuität und Integrität durchaus wahrscheinlich. In gewisser Weise überraschend war die Aktivierung des Precuneus und des Default Mode Netzwerks während des Zeitparadigmas, stehen diese Strukturen doch landläufig für einen mentalen Zustand der in sich gekehrten Entspannung unabhängig von externen Stimuli und Aufgaben. Hierzu wurden verschiedene Erklärungsmodelle gebildet. Die Aktivierung könnte im Zusammenhang mit der mentalen Repräsentation der Zeitdauern auftreten. Oder die Ursache liegt im

Heranziehen des Arbeitsgedächtnisses zum Vergleich der zwei Stimuli bezüglich der Präsentationsdauer. Eine dritte Möglichkeit bietet die Auffassung der subjektiven Zeit als Funktion des Selbst, so dass die Beurteilung von Zeitintervallen vor allem durch ein In-Sich-Gehen bewerkstelligt wird.

Die Erforschung der „Inneren Uhr“, der subjektiven Zeitwahrnehmung und insbesondere der Zusammenhänge zwischen Zeitwahrnehmung und Emotionen stellt im Vergleich noch ein sehr junges Forschungsgebiet dar. Daher wird es die Aufgabe zukünftiger Untersuchungen sein, auf dem Boden der bisherigen Erkenntnisse ein umfassendes Erklärungsmodell für diese neuronalen Funktionen zu finden.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

**Adolphs R., Damasio, H., Tranel, D., Damasio, A.R.** Cortical Systems for the Recognition of Emotion. *The Journal of Neuroscience*. 1996, 6(23): 7678–7687.

**Adolphs R., Gosselin, F., Buchanan, T.W., Tranel, D., Schyns, P., Damasio, A.R.** A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, 2005, 433: 68-72.

**Allan L. G., Kristofferson, A. B.** Psychophysical theories of duration discrimination [Artikel] // *Perception & Psychophysics*. - 1974. - 16. - S. 26-34.

**Amting J.M., Greening, S.G., Mitchell, D.G.** Multiple Mechanisms of Consciousness: The Neural Correlates of Emotional Awareness [Artikel] // *The Journal of Neuroscience*. - 2010. - 30 (30). - S. 10039-10047.

**Anders S., Lotze, M., Erb, M., Grodd, W., Birnbaumer, N.** Brain Activity Underlying Emotional Valence and Arousal: A Response-Related fMRI Study [Artikel] // *Human Brain Mapping*. - 2004. - 23. - S. 200-209.

**Anderson S.W., Damasio, H., Tranel, D., Damasio, A.R.** Long-term sequelae of prefrontal cortex damage acquired in early childhood [Artikel] // *Developmental Neuropsychology*. - 2000. - 18. - S. 281-296.

**Anglada Fugueroa D., Quirk, G.J.** Lesions of the basal amygdala block expression of conditioned fear but not extinction [Artikel] // *Journal of Neuroscience*. - 2005. - 25. - S. 9680-9685.

**Arnold M. B.** Emotion and personality [Buch]. - New York : Columbia University Press, 1960. - Bd. 1.

**Avni-Babad D., Ritov, I.** Routine and the perception of time [Artikel] // *J. Exp. Psychol. Gen.* - 2003. - 132. - S. 543-550.

**Berlin H.A., Rolls, E.T., Kischka, U.** Impulsivity, time perception, emotion and reinforcement sensitivity in patients with orbitofrontal cortex lesions [Artikel] // Brain. - 2004. - 127. - S. 1108-1126.

**Blanke O., Ortigue, S., Landis, T., Seeck, M.** Stimulating illusory own-body perceptions. [Artikel] // Nature. - 2002. - 149. - S. 269-270.

**Block R.A., Zakay, D.** Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review [Artikel] // Psychonomic Bulletin & Review. - 1997. - 4. - S. 184-197.

**Bösel R.M.** Das Gehirn - ein Lehrbuch der funktionellen Anatomie für die Psychologie [Buch]. - Stuttgart : W. Kolhammer, 2006.

**Buckner R. L., Andrews-Hanna, J. R., Schacter, D. L.** The Brain's Default Network: Anatomy, Function, and Relevance to Disease [Artikel] // Annals of the New York Academy of Sciences. - 2008. - 1124. - S. 1-38.

**Bueti D., Walsh, V.** The parietal cortex and the representation of time, space, numbers and other magnitudes [Artikel] // Philosophical Transactions of the Royal Society B. - 2009. - 364. - S. 1831-1840.

**Buhusi C.V., Meck, W.H.** Differential effects of methamphetamine and haloperidol on the control of an internal clock [Artikel] // Behavioral Neuroscience. - 2002. - 116. - S. 291-297.

**Cannon W.B.** The James-Lange theory of emotions: A critical examination and an alternative theory [Artikel] // American Journal of Psychology. - 1927. - 39. - S. 106-124.

**Cavanna A.E., Trimble, M.R.** The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioral correlates [Artikel] // Brain. - 2006. - 129. - S. 564-583.

**Craig A.D.** How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body [Artikel] // Nature Reviews Neuroscience. - 2002. - 3. - S. 655-666.

**Craig A.D.** Interoception and emotion: a neuroanatomical perspective [Buchabschnitt] / Buchverf. emotion Handbook of / Hrsg. M. Lewis J.M. Haviland-Jones, L.F. Barrett. - New York : Guilford Press, 2008. - 3.

**Damasio A.R., Grabowski, T.J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L.L.B., Parvizi, J., Hichwa, R.D.** Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions [Artikel] // Nature Neuroscience. - 2000. - 3. - S. 1049-1056.

**Darwin C.** Der Ausdruck der Gemüthsbewegung bei dem Menschen und den Thieren [Buchabschnitt]. - Stuttgart : Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1872.

**Dickinson A., Dearing, M.F.** Appetitive-aversive interactions and inhibitory processes [Buchabschnitt] // Mechanisms of learning and motivation / Buchverf. Dickinson A., Boakes, R.A.. - Hillsdale, NY : Erlbaum, 1979.

**Drevets W.C., Gautier, C., Price, J.C., Kupfer, D.J., Kinahan, P.E., Grace, A.A., Price, J.L., Mathis, C.A.** Amphetamine-induced dopamine release in human ventral striatum correlates with euphoria [Artikel] // Biological Psychiatry. - 2001. - 49. - S. 81-96.

**Droit-Volet S., Fayolle, S.L., Gil, S.** Emotion and time perception: effects of film-induced mood [Artikel] // Frontiers in Integrative Neuroscience. - 2011. - 5 (33).

**Duncan J.** An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex [Artikel] // Nature Reviews Neuroscience. - 2001. - 2. - S. 820-829.

**Ekman P.** Are there basic emotions? [Artikel] // Psychological Review. - 1992. - 99. - S. 550-553.

**Ekman P., Friesen, W.V.** Constants across cultures in face and emotion [Artikel] // Journal Of Personality And Social Psychology. - 1971. - 17. - S. 124-129.

**Eustache F., Piolino, P., Giffard, B., Viader, F., De La Sayette, V., Baron, J.-C., et al.** In the course of time: A PET study of the cerebral substrates of autobiographical amnesia in Alzheimer's disease [Artikel] // Brain. - 2004. - 127. - S. 1549-1560.

**Fuster J.** The prefrontal cortex: Anatomy, physiology and neuropsychology of the frontal lobe [Buch]. - New York : Raven Press, 1997.

**Gerber A.J., Posner, J., Gorman, D., Colibazzi, T., Yu, S., Wang, Z., Kangarlou, A., Zhu, H., Russel, J.A., Peterson, B.A.** An affective circumplex model of neural systems subserving valence, arousal, & cognitive overlay during the appraisal of emotional faces [Artikel] // *Neuropsychologia*. - 2008. - 46(8). - S. 2129-2139. - NIH Public Access Author Manuscript.

**Goldstein R., Volkow, N.D.** Drug addictions and its underlying neurobiological basis: Neuroimaging evidence for the involvement of the frontal cortex [Artikel] // *American Journal of Psychiatry*. - 2002. - 159. - S. 1642-1652.

**Green R.S., Cliff, N.** Multidimensional comparisons of structures of vocally and facially expressed emotions [Artikel] // *Perception and Psychophysics*. - 1975. - 17. - S. 429-438.

**Gregg T.R., Siegel, A.** Brain structures and neurotransmitters regulating aggression in cats: Implications for human aggression [Artikel] // *Progress in Neuropharmacology and Biological Psychiatry*. - 2001. - 25 (1). - S. 91-140.

**Grimm S., Schmidt, C.F., BERPohl, F., Heinzl, A., Dahlem, Y., Wyss, M., Hell, D., Boesiger, P., Boeker, H., Northoff, G.** Segregated neural representation of distinct emotional dimensions in the prefrontal cortex - an fMRI study [Artikel] // *NeuroImage*. - 2006. - 30. - S. 325-340.

**Grondin S.** Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions [Artikel] // *Attention, Perception, & Psychophysics*. - 2010. - 72 (3). - S. 561-582.

**Gusnard D.A., Raichle, M.E.** Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. [Artikel] // *Nature Reviews Neuroscience*. - 2001. - 2. - S. 685-694. - Review.

**Hawks G., Joy, R., Evan, W.O.** Autonomic effects on estimates of time: evidence for a physiological correlate of temporal experience [Artikel] // J. Psychol.. - 1962. - 53. - S. 183-191.

**Heilman K.** Emotional experience: A neurological model [Buchabschnitt] // Cognitive neuroscience of emotion / Buchverf. Lane R.D., Nadel, L.. - New York : Oxford University Press, 2000.

**Hoppe Konrad** Das Weber-Fechner'sche Gesetz unter besonderer Berücksichtigung des Weber'schen Gesetzes [Online] // www.elmer-herzig.de. - 2012. - 6. Juni 2012. - <http://www.elmer-herzig.de/wp-content/uploads/2012/03/Hoppe-posthum1.pdf>.

**Irtel H.** PXLab: The Psychological Experiments Laboratory [Online]. - 2007. - 3. 8 2011. - [http://irtel.uni-mannheim.de/pxlab/demos/index\\_SAM.html](http://irtel.uni-mannheim.de/pxlab/demos/index_SAM.html).

**Ivry R.B., Spencer, R.M.** The neural representation of time [Artikel] // Curr. Opin. Neurobiol.. - 2004. - 14. - S. 225-232.

**Izard C. E.** Human emotions. [Artikel] // Plenum Press. - New York : [s.n.], 1977.

**James W.** The Principles of Psychology [Buch]. - New York : Dover, 1890/1950.

**Kalin N.H., Shelton, S.E., Davidson, R.J.** The role of the central nucleus of the amygdala in mediating fear and anxiety in the primate [Artikel] // Journal of Neuroscience. - 2004. - 24. - S. 5506-5515.

**Karmarkar U.R., Buonomano, D.V.** Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states [Artikel] // Neuron. - 2007. - 53. - S. 427-438.

**Keenan J.P., Nelson, A., O'Connor, M., Pascual-Leone, A.** Self-recognition and the right hemisphere. [Artikel] // Nature. - 2001.

**Kihlstrom J.F., Mulvaney, S., Tobias, B.A., Tobis, I.P.** The Emotional Unconscious [Buchabschnitt] // Counterpoints: Cognition and Emotion / Buchverf. Eich E., Kihlstrom, J.F., Bower, G.H., Forgas, J.P., Niedenthal, P.M.. - New York : Oxford University Press, 2000.

**Knauff M., Mulack, T., Kassubek, J., Salih, HR., Greenlee, M.W.** Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study [Artikel] // Brain research. Cognitive brain research. - 2002. - 13. - S. 203-212.

**Kober H., Feldman Barrett, L., Joseph, J., Bliss-Moreau, E., Lindquist, K., Wager, T.D.** Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: A meta-analysis of neuroimaging studies [Artikel] // Neuroimage. - 2008. - 42 (2). - S. 998-1031.

**Konorski J.** Integrative activity of the brain: An interdisciplinary approach [Artikel] // University of Chicago Press. - Chicago : [s.n.], 1967.

**Koster E., Verschuere, B., Crombez, G.** Cross cultural validation of the IAPS [Konferenz]. - Ghent, Belgien : Ghent University, 2007.

**Landis C., Hunt, W.A.** Adrenalin and Emotion [Artikel] // Psychological Review. - 1932. - 39. - S. 467-485.

**Lang P. J.** Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: computer applications [Artikel] // Technology in mental health care delivery systems. - Norwood, NJ : J. B. Sidowski, J. H. Johnson, & T. A. Williams, 1980. - S. 119-137.

**Lang P. J., Bradley, M. M.** The International Affective Picture System (IAPS) in the study of emotion and attention. [Buchabschnitt] // Handbook of Emotion Elicitation and Assessment / Hrsg. Press Cambridge University. - NewYork : J. A. Coan and J. J. B. Allen, 2007.

**Lang P.J.** The emotion probe: Studies of Motivation and Attention [Artikel] // American Psychologist. - 1995. - 50. - S. 372-385.

**Lang P.J., Bradley, M.M.** Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential [Artikel] // Science direkt - Journal of Behavior Therapy und Experimental Psychiatry. - 1994. - Vol. 25. - S. pp. 49-59.

**Lang P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N.** International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8 [Online] // NIMH Centre for the Study of Emotion and Attention. - 2008. - 3. 8 2011. - <http://csea.phhp.ufl.edu/media.html>.

**Lang P.J., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J.R., Cuthbert, B.N., Scott, J.D., Moulder, B., Nangia, V.** Emotional arousal and activation of the visual cortex: an fMRI analysis [Artikel] // Psychophysiology. - 1998. - 35. - S. 199-210.

**Lazarus R.S.** Emotion and adaption [Artikel]. - New York : Oxford University Press, 1991.

**LeDoux J.** The emotional Brain [Buch]. - NewYork : Simon & Schuster, 1996.

**Lee K.-H., Seelam, K., O'Brien, T.** The relativity of time perception produced by facial emotion stimuli [Artikel] // Cognitive Emotions. - 2011.

**Lewis P.A., Miall, R.C.** A right hemispheric prefrontal system for cognitive time measurement [Artikel] // Behav. Process.. - 2006. - 71. - S. 226-234.

**Lewis P.A., Miall, R.C.** Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: evidence from neuroimaging [Artikel] // Current opinion in Neurobiology - 2003. - 13. - S. 250-255.

**Lewis P.A., Miall, R.C.** The precision of temporal judgement: milliseconds, many minutes and beyond [Artikel] // Phil. Trans. R. Soc.. - 2009. - 364. - S. 1897-1905.

**Logothetis N. K., Pauls, J., Augath, M., Trinath, T., Oeltermann, A.** Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal [Artikel] // Nature. - 2001. - 412. - S. 150-157.

**Lou H.C., Luber, B., Crupain, M., Keenan, J.P., Nowak, M., Kjaer, T.W., Sackeim, H.A., Lisanby, S.H.** Parietal cortex and representation of the mental Self [Artikel] // Proceedings of the National Academy of Sciences. - 2004. - 101(17). - S. 6827–6832.

**Lovick T.A.** Inhibitory modulation of the cardiovascular defence response by the ventrolateral periaqueductal grey matter in rats [Artikel] // Experimental Brain Research. - 1992. - 89. - S. 133-139.

**Luan Phan K., Wagner, T.D., Taylor S.F., Liberzone, I.** Functional Neuroimaging Studies of Human Emotions [Artikel] // CNS Spectrums. - 2004. - 9 (4). - S. 258-266.

**Lundberg U., Devine, B.** Negative similarities [Artikel] // Education and Psychological Measurement. - 1975. - 35. - S. 797-807.

**Lutz K., Specht, K., Shah, N.J., Jäncke, L.** Tapping movements according to regular and irregular visual timing signals investigated with fMRI [Artikel] // Brain Imaging. - 2000. - 11.

**Marchetti G.** Studies on time: a proposal on how to get out of circularity [Artikel] // Cog. Process.. - 2009. - 10. - S. 7-40.

**Maren S., Aharonov, G., Fanselow, M.S.** Neurotoxic lesions of the dorsal hippocampus and the Pavlovian fear conditioning in rats [Artikel] // Behavioral Brain Research. - 1997. - 88. - S. 261-274.

**McDougall W.** An introduction to social psychology [Artikel]. - Boston: Luce : [s.n.], 1926.

**Meyer W.-U., Reisenzein, R., Schützwohl, A.** Einführung in die Emotionspsychologie [Buch]. - Bern : Verlag Hans Huber, 2001. - Bd. 1 : S. 24ff.

**Miyake Y., Onishi, Y., Pöppel, E.** Two types of anticipation in synchronization tapping [Artikel] // Acta Neurobiol.Exp.. - 2004. - 64. - S. 415-426.

**Miyashita Y.** Neuronal correlate of visual associative long-term memory in the primate temporal cortex [Artikel] // Nature. - 1988. - 335.

**Nakamura S., Sadato, N., Oohashi, T., Nishina, E., Fuwamoto, Y., Yonekura, Y.** Analysis of music-brain interaction with simultaneous measurement of regional cerebral blood flow and electroencephalogram beta rhythm in human subjects [Artikel] // Neuroscience Letters. - 1999. - 275.

**Nobre A.C., O'Reilly, J.** Time is of the essence [Artikel] // Trends Cogn.. - 2004. - 8. - S. 387-389.

**Northoff G., Richter, A., Gessner, M., Schlagenhaut, F., Fell, J., Baumgart, F., Kaulisch, T., Kötter, R., Stephan, K.E., Leschinger, A., Hagner, T., Bargel, B., Witzel, T., Hinrichs, H., Bogerts, B., Scheich, H., Heinze, H.-J.** Functional Dissociation between Medial and Lateral Prefrontal Cortical Spatiotemporal Activation in Negative and Positive Emotions: A Combined fMRI/MEG Study [Artikel] // Cerebral Cortex. - 2000. - 10. - S. 93-107.

**Noulhiane M., Mella, N., Samson, S., Ragot, R., Pouthas, V.** How emotional auditory stimuli modulate time perception [Artikel] // Emotion. - 2007. - 7. - S. 697-704.

**Ogawa S., Lee, T.M., Kay, A.R., Tank, D.W.** Brain magnet resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation [Artikel] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. - 1990. - S. 9868-9872.

**Oldfield R.C.** The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. [Artikel] // Neuropsychologia. - 1971. - 9(1). - S. 97-113.

**Oppenheimer D. M.** The secret life of fluency [Artikel] // Trends. Cogn. Sci.. - 2008. - 12. - S. 237-241.

**Ortony A., Clore, G.L., Collins, A.** The cognitive structure of emotions [Buch]. - Cambridge : Cambridge University Press, 1988.

**Ortony A., Turner, T. J.** What's basic about basic emotions? [Artikel] // Psychological Review. - 1990. - 97. - S. 315-331.

**Osgood C.E.** Semantic Differential Technique in the Comparative Study of Cultures [Artikel] // American Anthropologist. - 1964. - 66. - S. 171–200.

**Osgood C.E., Suci, G., Tannenbaum, P.** The measurement of meaning [Artikel]. - Urbana : University of Illinois Press, 1957.

**Parrott W.** Emotions in Social Psychology [Artikel] // Psychology Press. - Philadelphia : [s.n.], 2001.

**Paton J.J., Belova, M.A., Morrison, S.E., Salzman, C.D.** the primate amygdala represents the positive and negative value of visual stimuli during learning [Artikel] // Nature. - 2006. - 439. - S. 865-870.

**Pereira Cécil** Dimensions of emotional meaning in speech [Artikel] // Speech and Emotion. - Newcastle, UK : [s.n.], 2000.

**Pfaff D., Ribeiro, A., Matthews, J., Kow, L.-M.** Concepts and Mechanisms of Generalized Central Nervous System Arousal [Artikel] // Annals of the New York Academy of Science. - 2008. - 1129.

**Phillips R. G. und LeDoux J. E.** Differential contribution of amygdala and hippocampus to cued and contextual fear conditioning. [Artikel] // Behavioral Neuroscience. - 1992. - 106. - S. 274-285.

**Platel H., Baron, J.-C., Desgranges, B., Bernard, F., Eustache, F.** Semantic and episodic memory of music are subserved by distinct neural networks. [Artikel] // Neuroimage. - 2003. - 20. - S. 2444-2456.

**Plutchik R.** Emotion. A psychoevolutionary synthesis [Buch]. - New York : Harper & Row, 1980.

**Plutchik R.** Emotion. A psychoevolutionary synthesis. [Buch]. - New York : Harper & Row, 1980.

**Pöppel E.** Oszillations as possible basis for time perception [Artikel] // Stud. Gen.. - 1971. - 24. - S. 85-107.

**Pöppel E.,** Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing [Artikel] // Phil. Trans. R. Soc.. - 2009. - 364. - S. 1887-1896.

**Posner J., Russel, J.A., Peterson, B.S.** The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and

psychopathology [Artikel] // Development and Psychopathology. - 2005. - 17(3). - S. 715-734.

**Pouthas V., Perbal, S.** Time perception does not only depend on accurate clock mechanisms but also on unimpaired attention and memory processes [Artikel] // Acta Neurobiol. Exp.. - 2004. - 64. - S. 367-385.

**Rammsayer T.H.** Neuropharmacological evidence for different timing mechanisms in human [Artikel] // Q.J.Exp.Psychol.B. - 1999. - 52. - S. 273-286.

**Reisenzein R.** Pleasure-arousal theory and the intensity of emotions [Artikel] // Journal of Personality and Social Psychology. - 1994. - 67. - S. 525-539.

**Russel J. A.** A circumplex model of affect [Artikel] // Journal of Personality and Social Psychology. - 1980a. - 39. - S. 1161-1178.

**Russel J.A.** Core affect and the psychological construction of emotion [Artikel] // Psychological Review. - 2003. - 110 (1). - S. 145-172.

**Russel J.A., Fernández-Dols, J.-M., Manstead, A.S.R., Wellenkamp, J.C.** Everyday Conceptions of Emotion: An Introduction to the Psychology, Anthropology, and Linguistics of Emotion [Buch]. - Dordrecht, NL : Springer, 1995. - S. 291.

**Russel J.A., Pratt, G.A.** A description of the affective quality attributed to environments [Artikel] // Journal of Personality and Social Psychology. - 1980b. - 38. - S. 311-322.

**Salomone J.D., Cousins, M.S., Snyder, B.J.** Behavioral functions of nucleus accumbens dopamine: Empirical and conceptual problems with the anhedonian hypothesis [Artikel] // Neuroscience and Behavioral Reviews. - 1997. - 21. - S. 341-359.

**Satho M., Takeda, K., Nagata, K., Hatazawa, J., Kuzuhara, S.** Activated brain regions in musicians during an ensemble: a PET study [Artikel] // Cognitive Brain Research. - 2001. - 12. - S. 101-108.

**Schachter S.** The interaction of cognitive and physiological determinants of emotional state [Buchabschnitt] // Advances in experimental social psychology / Hrsg. Berkowitz L.. - New York : Academic Press, 1964. - Bd. 1.

**Schachter S., Singer, J.E.** Cognitive, social and physiological determinants of emotional state [Artikel] // Psychological Review. - 1962. - 69. - S. 379-399.

**Schirmer A.** How emotions change time [Artikel] // Frontiers in Integrative Neuroscience. - 2011. - 5 (58).

**Schlossberg H.** The description of facial expressions in terms of two dimensions [Artikel] // Journal of Experimental Psychology. - 1952. - 44. - S. 229-237.

**Schlossberg H.** Three dimensions of emotion [Artikel] // Psychological Review. - 1954. - 61. - S. 81-88.

**Shipley M.T., Ennis, M., Rizvi, T.A., Behbahni, M.M.** Topographical specificity of forebrain inputs to the midbrain periaqueductal gray: Evidence for discrete longitudinally organized input columns. [Buchabschnitt] // The midbrain periaqueductal gray matter: Functional, anatomical and neurochemical organization. - New York : A. Depaulis, R. Bandler, 1991.

**Siedentopf C.M.** fMRI easy [Online]. - 2010. - 03. 12 2011. - [http://www.fmri-easy.de/brodmann\\_ana.htm](http://www.fmri-easy.de/brodmann_ana.htm).

**Staddon J.E.R.** Interval timing: memory, not a clock [Artikel] // Trends. Cogn.Sci.. - 2005. - 9. - S. 312-314.

**Stetson C., Fiesta, M.P., Eagleman, D.M.** Does time really slow down during a frightening event [Artikel] // PLoS ONE. - 2007. - 2.

**Suk Hyeon-Jeong** Color and Emotion - a study on the affective judgment across media and in relation to visual stimuli [Artikel] // University of Mannheim: Dissertation. - 2006.

**Tomkins S. S.** Affect theory [Buchabschnitt] // Approaches to emotion / Buchverf. Scherer K.R., Ekman, P.. - Hillsdale, NJ : Erlbaum, 1984.

**Vogeley K., Fink, G.R.** Neural correlates of the first-person-perspective. [Artikel] // Trends in Cognitive Sciences. - 2003. - 7(1). - S. 38-42.

**Wackermann J., Ehm, W.** The dual klepsydra model of internal time representation and time reproduction [Artikel] // J. Theor. Biol.. - 2008. - 239. - S. 482-493.

**Wager T.D., Feldman Barrett, L., Bliss-Moreau, E., Lindquist, K. A., Duncan, S., Kober, H., Joseph, J., Davidson, M., Mize, J.** The Neuroimaging of Emotion [Buchabschnitt] // Handbook of Emotions / Hrsg. M. Lewis J.M. Haviland-Jones, L. Feldman Barrett. - New York : Guilford Press, 2008. - 3.

**Watson J.B.** A schematic outline of the emotions [Artikel] // Psychological Review. - 1919. - 26. - S. 165-196.

**Whalen P.J.** Fear, vigilance, and ambiguity: Initial neuroimaging studies of the human amygdala [Artikel] // Current Directions in Psychological Science. - 1998. - 7. - S. 177-188.

**Wittmann M., van Wassenhove, V.** The experience of time: Neural mechanisms and the interplay of emotion, cognition and embodiment [Artikel] // Philosophical Transaction of the Royal Society. - 2009. - 364. - S. 1809-1813.

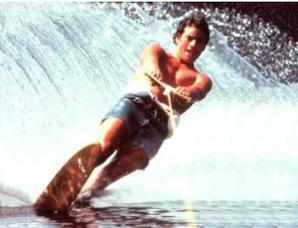
**Wittmann M.** The inner experience of time [Artikel] // Philosophical Transactions of the Royal Society. - 2009a. - 364. - S. 1955-1967.

**Wittmann M., van Wassenhove, V.** The experience of time: Neural mechanisms and the interplay of emotion, cognition and embodiment [Artikel] // Philosophical Transaction of the Royal Society. - 2009b. - 364. - S. 1809-1813.

**Zakay D., Block, R.A.** Temporal cognition [Artikel] // Dir. Psychol. Sci.. - 1997. - 6. - S. 12-16.

## 8. ANHANG

### Liste der verwendeten Stimuli gemäß der IAPS Database

Frauen: Valenz hoch, Arousal hoch									
Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↑A↑	8496		WaterSlide	7,94	1,75	6,38	2,14	6,25	2,34
V↑A↑	8200		WaterSkier	7,86	1,12	6,37	1,94	6,13	1,67

V↑A↑	8370		Rafting	7,86 1,37	6,98 2,25	5,54 2,04
V↑A↑	5621		SkyDivers	7,80 1,54	7,00 2,13	5,28 2,21
V↑A↑	8490		RollerCoaster	7,44 2,33	6,97 1,94	5,40 2,52
V↑A↑	8030		Skier	7,35 1,86	7,38 1,91	4,42 2,62
V↑A↑	8034		Skier	7,19 1,63	6,38 2,10	6,05 2,05

V↑A↑	5629		Hiker	7,15 1,51	6,52 2,04	5,64 2,06
<b>Mean V↑A↑</b>				<b>7,57 0,30</b>	<b>6,75 0,36</b>	<b>5,59 0,55</b>

## Männer: Valenz hoch, Arousal hoch

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↑A↑	4670		EroticCouple	7,77	1,05	7,17	1,93	6,43	2,38
V↑A↑	8080		Sailing	7,73	1,25	7,12	1,95	6,32	1,97
V↑A↑	4002		EroticFemale	7,69	1,48	7,15	1,81	6,11	2,14
V↑A↑	4290		EroticFemale	7,61	1,69	7,20	1,87	5,85	2,44

V↑A↑	4300		EroticFemale	7,56 1,29	7,23 1,98	6,58 1,73
V↑A↑	4311		EroticFemale	7,56 1,38	7,35 1,81	5,98 2,01
V↑A↑	4683		EroticCouple	7,45 1,35	7,28 1,62	6,30 1,76
V↑A↑	4694		EroticCouple	7,43 1,43	7,10 1,89	6,53 2,02
<b>Mean V↑A↑</b>				<b>7,60 0,12</b>	<b>7,20 0,08</b>	<b>6,26 0,24</b>

**Frauen: Valenz hoch, Arousal niedrig**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↑A↓	5811		Flowers	7,88	1,24	3,12	2,66	6,94	2,21
V↑A↓	5551		Clouds	7,79	1,62	3,23	2,84	6,77	2,15
V↑A↓	5200		Flowers	7,69	1,37	2,98	2,22	6,22	2,13
V↑A↓	5000		Flower	7,59	1,63	2,90	1,92	6,77	2,33

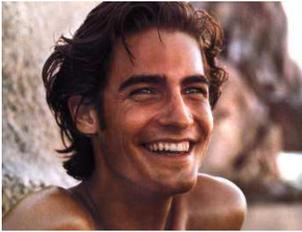
V↑A↓	5891		Clouds	7,58 1,54	3,14 2,60	5,32 2,70
V↑A↓	2370		ThreeMen	7,43 1,49	2,93 2,20	6,33 2,31
V↑A↓	5030		Flower	7,18 1,56	3,08 2,24	6,95 1,83
V↑A↓	1670		Cow	5,88 1,84	3,52 2,05	5,40 1,74
<b>Mean V↑A↓</b>				<b>7,38 0,60</b>	<b>3,11 0,19</b>	<b>6,34 0,62</b>

**Männer: Valenz hoch, Arousal niedrig**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↑A↓	2050		Baby	7,80	1,54	4,05	2,30	7,82	1,81
V↑A↓	1441		PolarBears	7,71	1,17	3,84	2,10	6,71	1,83
V↑A↓	2070		Baby	7,69	1,59	4,02	2,30	6,71	2,24
V↑A↓	5760		Nature	7,69	1,28	2,77	2,16	7,64	1,63

V↑A↓	2260		NeutBaby	7,63 1,60	3,74 2,09	7,69 1,69
V↑A↓	2170		Mother	7,35 1,45	3,90 2,12	5,79 2,28
V↑A↓	1610		Rabbit	7,28 1,47	2,82 2,01	7,33 1,91
V↑A↓	5831		Seagulls	7,07 1,10	3,93 2,28	6,57 1,85
<b>Mean V↑A↓</b>				<b>7,53 0,24</b>	<b>3,63 0,49</b>	<b>7,03 0,66</b>

## Frauen: Valenz hoch, Arousal mittel

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↑A↔	1999		Mickey	7,68	1,52	5,02	2,48	6,85	2,00
V↑A↔	2224		Boys	7,63	1,65	5,06	2,18	6,50	1,81
V↑A↔	4603		Romance	7,58	1,51	5,00	2,44	6,03	1,81
V↑A↔	4574		AttractiveMan	7,40	1,46	4,95	2,36	5,85	1,80

V↑A↔	8162		HotAirBalloon	7,39 1,62	5,11 2,35	5,69 1,26
V↑A↔	2352		Kiss	7,38 1,93	5,13 2,02	6,54 1,75
V↑A↔	5660		Mountains	7,38 1,53	4,90 2,75	5,23 2,53
V↑A↔	2630		Male	7,36 1,57	4,97 2,37	6,54 2,03
<b>Mean V↑A↔</b>				<b>7,48 0,12</b>	<b>5,02 0,07</b>	<b>6,15 0,51</b>

## Männer: Valenz hoch, Arousal mittel

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↑A↔	1440		Seal	7,96	1,59	4,76	2,25	6,33	2,10
V↑A↔	8510		SportCar	7,62	1,54	5,44	2,58	6,35	2,34
V↑A↔	2398		Boat	7,52	1,18	5,00	1,95	6,35	1,70
V↑A↔	7200		Brownie	7,50	1,78	4,90	2,67	7,47	1,95

V↑A↔	7580		Dessert	7,40 1,77	5,08 2,62	5,02 2,52
V↑A↔	5830		Sunset	7,37 1,80	4,98 2,40	5,68 1,93
V↑A↔	8540		Athletes	7,28 1,59	4,96 2,34	5,74 1,91
V↑A↔	1811		Monkeys	7,22 1,59	5,05 1,84	5,91 2,06
<b>Mean V↑A↔</b>				<b>7,48 0,22</b>	<b>5,02 0,18</b>	<b>6,11 0,67</b>

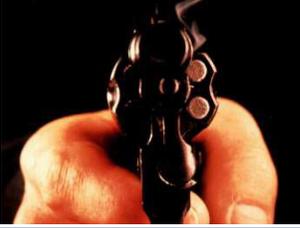
**Frauen: Valenz niedrig, Arousal hoch**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↓A↑	6230		AimedGun	2,06	1,59	7,56	1,96	1,98	2,09
V↓A↑	6550		Attack	2,08	1,90	7,20	1,83	2,55	2,28
V↓A↑	6250.1		AimedGun	2,12	1,36	7,19	1,78	2,43	1,80
V↓A↑	6510		Attack	2,06	1,28	7,16	1,81	2,49	1,91

V↓A↑	3400		SeveredHand	2,06 1,77	7,12 2,14	3,24 1,90
V↓A↑	1052		Snake	2,99 1,85	6,89 2,18	2,70 2,03
V↓A↑	1201		Spider	2,93 1,81	6,87 2,09	3,82 2,26
V↓A↑	1525		AttackDog	2,67 1,74	6,86 2,16	2,55 1,99
<b>Mean V↓A↑</b>				<b>2,37 0,39</b>	<b>7,11 0,22</b>	<b>2,72 0,53</b>

## Männer: Valenz niedrig, Arousal hoch

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↓A↑	3060		Mutilation	1,94	1,39	6,89	2,08	3,07	1,96
V↓A↑	3530		Attack	2,10	1,53	6,85	2,13	2,94	1,90
V↓A↑	3010		Mutilation	2,19	1,42	7,12	1,75	3,10	2,11
V↓A↑	3000		Mutilation	1,69	1,47	6,74	2,37	3,41	2,80

V↓A↑	6350		Attack	2,39 1,42	7,04 1,73	3,26 2,08
V↓A↑	3500		Attack	2,50 1,24	6,80 2,04	2,70 1,80
V↓A↑	6260		AimedGun	2,53 1,63	7,10 1,90	2,92 2,25
V↓A↑	6230		AimedGun	2,73 1,48	7,10 2,07	2,34 2,13
<b>Mean V↓A↑</b>				<b>2,26 0,32</b>	<b>6,96 0,14</b>	<b>2,97 0,31</b>

**Frauen: Valenz niedrig, Arousal niedrig**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↓A↓	9001		Cemetery	2,82	1,88	3,60	2,27	3,30	1,72
V↓A↓	2722		Jail	2,94	1,61	3,77	2,20	4,85	2,46
V↓A↓	9101		Cocaine	3,40	1,85	3,90	2,28	5,00	2,42
V↓A↓	2590		ElderlyWoman	3,46	2,24	3,86	1,93	4,60	2,28

V↓A↓	4001		EroticFemale	3,58 1,74	3,88 2,13	6,26 1,57
V↓A↓	4235		EroticFemale	3,67 1,82	3,97 2,44	3,85 2,44
V↓A↓	4240		EroticFemale	3,73 1,77	3,65 2,52	4,79 2,70
V↓A↓	9090		Exhaust	3,83 1,49	3,75 2,16	4,56 1,62
<b>Mean V↓A↓</b>				<b>3,43 0,34</b>	<b>3,80 0,12</b>	<b>4,65 0,81</b>

## Männer: Valenz niedrig, Arousal niedrig

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↓A↓	9220		Cemetery	2,27	1,61	3,83	2,33	3,27	2,20
V↓A↓	9000		Cemetery	2,81	1,65	3,90	2,12	3,29	2,19
V↓A↓	9331		HomelessMan	3,09	1,27	3,42	1,67	5,38	2,09
V↓A↓	4550		EroticMale	3,26	1,69	3,34	2,50	5,57	2,43

V↓A↓	2715		Smoking	3,60 1,71	3,99 2,12	5,47 2,49
V↓A↓	2753		Alcoholic	3,73 1,65	3,93 2,11	5,16 2,17
V↓A↓	9110		Puddle	3,78 1,41	3,90 2,18	4,83 1,91
V↓A↓	4561		EroticMale	3,82 1,96	2,64 1,95	5,24 2,13
<b>Mean V↓A↓</b>				<b>3,30 0,52</b>	<b>3,62 0,43</b>	<b>4,78 0,89</b>

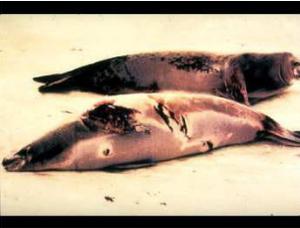
**Frauen: Valenz niedrig, Arousal mittel**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↓A↔	2799		Funeral	2,21	1,33	5,19	2,00	3,27	1,80
V↓A↔	3181		BatteredFem	2,01	1,29	5,16	2,08	3,84	2,11
V↓A↔	6311		DistressedFem	2,36	1,72	5,12	2,51	4,44	2,40
V↓A↔	2276		Girl	2,32	1,65	5,06	1,98	3,81	1,68

V↓A↔	3300		DisabledChild	2,35 1,30	4,96 1,98	4,57 1,79
V↓A↔	9830		Cigarettes	2,42 1,88	4,92 2,57	5,12 2,23
V↓A↔	2900.1		CryingBoy	2,14 1,30	4,90 2,04	4,36 2,13
V↓A↔	9041		ScaredChild	2,65 1,58	4,90 2,28	3,90 2,28
<b>Mean V↓A↔</b>				<b>2,31 0,18</b>	<b>5,03 0,11</b>	<b>4,16 0,54</b>

## Männer: Valenz niedrig, Arousal mittel

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↓A↔	9040		StarvingChild	1,88	1,17	5,10	2,11	3,27	2,07
V↓A↔	3101		BurntBody	2,23	1,28	5,18	2,38	3,76	2,07
V↓A↔	3180		BatteredFem	2,27	1,33	5,17	2,05	4,04	2,30
V↓A↔	2800		SadChild	2,31	1,36	4,94	1,97	4,00	2,41

V↓A↔	3230		DyingMan	2,44 1,50	5,00 2,35	2,92 2,20
V↓A↔	9421		Soldier	2,47 1,71	4,86 2,19	3,39 2,14
V↓A↔	9140		Cow	2,56 1,42	4,90 2,29	4,07 1,94
V↓A↔	9180		Seal	2,76 1,36	5,07 2,26	4,44 2,40
<b>Mean V↓A↔</b>				<b>2,37 0,24</b>	<b>5,03 0,11</b>	<b>3,74 0,47</b>

## Frauen: Valenz mittel, Arousal hoch

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↔A↑	4810		EroticCouple	5,98	2,11	6,44	2,05	5,24	2,26
V↔A↑	8341		Wingwalker	5,81	2,09	6,46	2,32	4,46	2,31
V↔A↑	4800		EroticCouple	5,45	2,28	6,39	1,91	4,78	2,03
V↔A↑	5950		Lightning	5,34	2,20	6,73	1,91	3,55	2,42

V↔A↑	5920		Volcano	4,63 1,92	6,22 1,96	3,98 2,29
V↔A↑	2661		Baby	4,46 2,72	6,27 2,06	4,13 1,88
V↔A↑	1726		Tiger	4,34 2,13	6,32 2,14	3,61 2,16
V↔A↑	8475		Biking/train	4,23 1,74	6,55 1,89	4,32 1,98
<b>Mean V↔A↑</b>				<b>5,03 0,65</b>	<b>6,42 0,15</b>	<b>4,26 0,54</b>

## Männer: Valenz mittel, Arousal hoch

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↔A↑	8160		RockClimber	5,54	1,95	6,90	1,62	4,52	2,43
V↔A↑	1726		Tiger	5,34	1,94	6,13	2,26	4,45	2,45
V↔A↑	7640		Skyscraper	5,31	1,17	6,21	2,54	3,58	2,34
V↔A↑	6900		Aircraft	5,15	1,97	6,02	2,25	4,71	2,79

$V \leftrightarrow A \uparrow$	1321		Bear	4,94 1,71	6,34 1,94	3,96 2,28
$V \leftrightarrow A \uparrow$	5940		Lava	4,79 1,82	6,42 1,63	3,92 2,09
$V \leftrightarrow A \uparrow$	1120		Snake	4,73 1,75	6,60 1,38	4,67 1,10
$V \leftrightarrow A \uparrow$	1931		Shark	4,51 2,35	6,88 1,77	3,94 2,66
<b>Mean <math>V \leftrightarrow A \uparrow</math></b>				<b>5,04 0,33</b>	<b>6,44 0,31</b>	<b>4,22 0,39</b>

**Frauen: Valenz mittel, Arousal niedrig**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↔A↓	7235		Chair	5,06	1,22	2,94	2,08	6,44	1,88
V↔A↓	7160		Fabric	5,05	1,19	3,08	2,09	5,73	2,00
V↔A↓	7050		HairDryer	5,04	0,87	2,90	1,82	5,85	1,74
V↔A↓	6150		Outlet	5,00	1,21	2,89	1,87	5,55	1,65

XXX

V↔A↓	7161		Pole	4,97 1,16	3,15 2,14	5,67 2,02
V↔A↓	2570		Man	4,95 1,09	2,98 1,97	5,38 1,89
V↔A↓	2393		Factory worker	4,92 1,05	2,95 1,95	5,77 1,92
V↔A↓	7055		Lightbulb	4,89 0,55	3,15 1,84	5,34 1,83
<b>Mean V↔A↓</b>				<b>4,99 0,06</b>	<b>3,01 0,10</b>	<b>5,72 0,32</b>

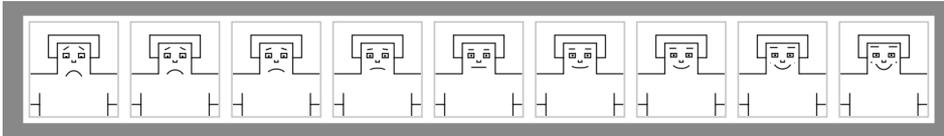
**Männer: Valenz mittel, Arousal niedrig**

Kategorie	Nummer		Titel	Valenz	V-STABW	Arousal	A-STABW	Dominanz	D-STABW
V↔A↓	7160		Fabric	4,98	0,97	3,06	2,08	5,89	1,94
V↔A↓	7038		Shoes	4,97	0,93	2,92	1,84	5,83	1,94
V↔A↓	7002		Towel	4,91	0,97	2,99	1,81	6,29	1,96
V↔A↓	2890		Twins	4,87	1,08	3,02	1,94	5,74	1,97

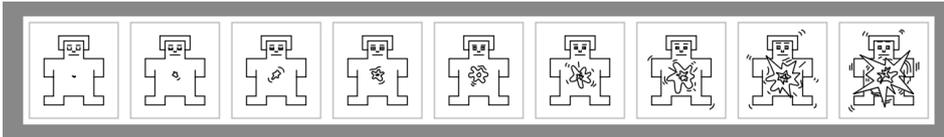
V↔A↓	7059		Keyring	5,04 0,66	2,96 1,89	6,17 1,88
V↔A↓	2038		NeuWoman	5,08 1,19	2,98 1,66	6,21 1,80
V↔A↓	5533		Mushrooms	5,12 1,29	3,08 2,02	5,87 1,90
V↔A↓	5390		Boat	5,13 1,56	2,95 1,83	6,15 2,01
<b>Mean V↔A↓</b>				<b>5,01 0,09</b>	<b>3,00 0,05</b>	<b>6,02 0,19</b>

**Self Assessment Manikin (SAM) in der modifizierte Version nach Irtel (2007):**

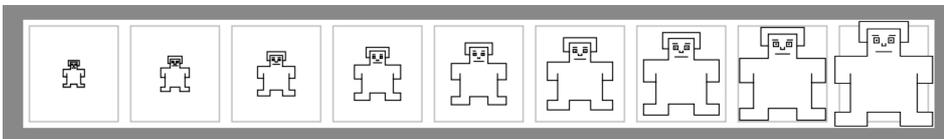
**Valenz**



**Arousal**



**Dominanz**



## **Abkürzungsverzeichnis**

A	Arousal
ACC	Gyrus cinguli anterior
AMY	Amygdala
basolat.	basolateral
bds.	beidseits
const.	konstant
engl.	englisch
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
HPP	Hippocampus
HY	Hypothalamus
INS	Insula
lat.	lateral
IPFC	lateraler Präfrontalcortex
med.	medial
mPFC	medialer Präfrontalcortex
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
Ncl.	Nucleus
Ncll.	Nuclei ( <i>Pl.</i> )
OFC	orbitofrontaler Cortex
PAG	periaquäduktales Grau
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PFC	Präfrontalcortex
rmPFC	rostro-medialer Präfrontalcortex
rTMS	repetitive transkranielle Magnetstimulation
SAM	Self Assessment Manikin
sek.	sekundär
TH	Thalamus
V	Valenz
VTA	ventrales Tegmentum
ZHG	zentrales Höhlengrau
1st	first
2nd	second

## Eidesstattliche Versicherung

**Danner, Sandro Christian**

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Hierarchie der Emotionen:  
Eine fMRT-Studie zur übergeordneten Verarbeitung  
von Arousal gegenüber Valenz

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Doktorandin/Doktorand