Beate Maria Herbert

Kardiosensibilität, Emotionsverarbeitung und Verhalten

Die Bedeutung der Herzwahrnehmung für zentralnervöse Emotionsverarbeitungsprozesse und Verhaltensregulation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophie an der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Kardiosensibilität, Emotionsverarbeitung und Verhalten:

Die Bedeutung der Herzwahrnehmung für zentralnervöse Emotionsverarbeitungsprozesse und Verhaltensregulation

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie
an der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von

Beate Maria Herbert

aus

Friedberg, Bay. / München

München, Juli 2006

Referent: Prof. Dr. Rainer Schandry

Koreferent: Prof. Dr. Rolf Engel

Tag der mündlichen Prüfung: 28.07.2006

Danksagung

Ganz herzlich bedanke ich mich bei meiner Schwester, Cornelia Herbert, die mir eine fachliche und persönliche Ansprechpartnerin ist, und die immer an mich geglaubt hat.
Mein tief empfundener Dank gilt gleichzeitig meinen Eltern, Marianne und Lothar Herbert, auf deren Rückhalt ich mich immer verlassen konnte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Rainer Schandry für die Möglichkeit der Durchführung und Umsetzung des gewählten Promotionsthemas, für die gewährten Freiräume in zwei Jahren der experimentellen Arbeit sowie seinen fachlichen Rat.

Für viele humorvolle, anregende und wohltuende Gespräche, ihre moralische Unterstützung und ihre Freundschaft bedanke ich mich herzlich bei Annette Eichendorff und Mario Staedtgen.

Meiner Arbeitskollegin Dr. Olga Pollatos möchte ich für ihre angenehme Gegenwart, Zusammenarbeit und die spritzigen Gespräche danken.
Lieber Dank gilt auch dem technischen „Notfallbeauftragten“ Franz Fuchs für seine freundliche und bereitwillige Hilfe in „rei technici“ sowie seine aufheiternde Art.

„Die Neugier steht immer an erster Stelle eines Problems, das gelöst werden will.“
(Galileo Galilei, 1564-1642)

„Durch die Falsifikation unserer Annahmen bekommen wir tatsächlich Kontakt mit der »Wirklichkeit«.“
(Sir Karl Popper, 1902-1994)

“It is our attitude at the beginning of a difficult undertaking which, more than anything else, will determine its successful outcome.”
(William James, 1842-1910)

Abkürzungen

ACC	Anteriorer cingulärer Kortex
CO	Cardiac output
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorreliertes Potential
EOG	Elektrookulogramm
EPN	„Early posterior negativity“
fMRI	“Functional magnetic resonance imaging” (funktionelle Kernspintomographie)
HEP	“Heartbeat Evoked Potential”
HR	Herzrate
HRV	Herzratenvariabilität
PEP	**“**Pre-ejection period”
PET	Positronenemissionstomographie
HEOG	Horizontales EOG
IAPS	“International Affective Picture System”
ISI	Interstimulusintervall
LPP	„Late positive potentials“
M	Mittelwert

RSVP	„Rapid serial visual presentation“
SAM	“Self Assessment Manikin” Skala
SI	primärer somatosensorischer Kortex
SII	sekundärer somatosensorischer Kortex
SD	Standardabweichung
SV	Schlagvolumen
VEOG	Vertikales EOG

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2

Abbildung 2.1. Ebenen der Lebensregulation nach Damasio (S. 23)

Abbildung 2.2. Hauptregionen der Emotionsauslösung (Emotionsinduktions-Strukturen)(S. 28)

Abbildung 2.3. Lage der Amygdala (S. 28)

Abbildung 2.4. Lokalisierung einiger Proto-Selbst Strukturen („first order neural maps“) (S. 34)

Abbildung 2.5. Lokalisierung von Strukturen für „Karten zweiter Ordnung“, welche das Kernselbst konstituieren (S. 36)

Abbildung 2.6. Komponenten des Musters zweiter Ordnung (S. 38)

Abbildung 2.7. Wichtige Strukturen von Proto-Selbst und Karten zweiter Ordnung (S. 39)

Kapitel 3:

Abbildung 3.1. Sympathisches und Parasympathisches Nervensystem: Innervationswege (S. 55)

Abbildung 3.2. Wichtige Verschaltungen von an der vegetativen Regulation beteiligten Strukturen: *„Central Autonomic Network“* (S.57)

Abbildung 3.3. Konventionelle viszerozeptive Bahnung (b), Schmerzsystem (a) und Lamina I spinothalamokortikale Bahnung (c) (S. 58)

Abbildung 3.4. Spinaler viszerosensorischer (sympathischer) Pfad und Hirnstamm-viszerosensorischer (parasympathischer) Pfad zum Thalamus und Kortex (S. 60)

Abbildung 3.5. Zwei wesentliche afferente, interozeptive Pfade – Grundlage für die bewusste Wahrnehmung interozeptiver Signale (S. 62)

Abbildung 3.6. Lage des Thalamus (S. 64)

Abbildung 3.7. Thalamische Projektionen zu höher gelegenen Hirnstrukturen (S. 65)

Abbildung 3.8. Lage des Hypothalamus (S. 66)

Abbildung 3.9. Hauptbestandteile des Limbischen Systems und Lage der Amygdala (S. 69)

Abbildung 3.10. Die Insula wurde durch die Entfaltung des Kortex in das Innere gedrängt und liegt unterhalb der temporalen Opercula (S.72)

Abbildung 3.11. Lage des Gyrus cinguli (S. 76)

Abbildung 3.12. Anteriorer cingulärer Kortex: kognitive und affektive Funktionen (S. 77)

Abbildung 3.13. Lage des somatosensorischen Kortex und „Homunculus“ (S. 80)

Abbildung 3.14. Präfrontalkortex (S. 83)

Kapitel 5

Abbildung 5.1. „Hoher“ und „Niederer Weg“ zur Amygdala nach LeDoux (S. 119)

Abbildung 5.2. Dorsaler und ventraler visueller Strom (S. 121)

Abbildung 5.3. Die Amygdala (A) erhält Inputs von den letzten Stadien der Verarbeitung innerhalb des visuellen sensorischen Systems und projiziert zu allen Stadien der kortikalen Verarbeitung zurück (S. 121)

Abbildung 5.4. „Self Assessment Manikin“ (SAM) (S. 138)

Abbildung 5.5.
(A) Der „affektive Raum“ der IAPS-Bilder: Mittlere SAM-Ratings des Arousals und der Valenz
(B) Regression der SAM-Ratings US-amerikanischer und deutscher Probandenstichproben für Arousal und Valenz (S. 139)

Abbildung 5.6.
(A) Reaktion der Hautleitfähigkeit (SCR) auf emotionale Bilder (aus: Hamm et al., 2003)
(B) Zusammenhang zwischen Arousal-Beurteilung und Hautleitfähigkeitsreaktionen (SCR) (S. 143)

Abbildung 5.7. Verlauf der Herzratenreaktivität während emotionaler Bildbetrachtung (S. 144)

Abbildung 5.8. Zusammenhang zwischen „Viewing Time“ von IAPS-Bildern und Arousal (S. 150)

Abbildung 5.9. Akustisch evoziertes Potential (S. 153)

Abbildung 5.10.
(A) Typischer Zeitverlauf eines visuellen „Target“ EKPs im Vergleich zu einem „Non-Target“ EKP
(B) Topographie einer visuellen „Target P3“ mit maximalen Amplituden über zentralen und parietalen Elektroden (S. 156)

Abbildung 5.11. Topographie der P3a (A) und der P3b (B) (S. 157)

Abbildung 5.12. Topographie der visuell evozierten P1 und N1 (S. 163)

Abbildung 5.13
(A) VEPs während passiver Betrachtung erregender emotionaler und neutraler Bilder
(B) Differenzierung der VEPs für niedrig-erregende und hoch-erregende emotionale IAPS-Bilder (S. 167)

Abbildung 5.14. Verlauf der „EPN“ über links- und rechts-okzipitalen Elektroden auf emotional erregende Bilder (S. 173)

Abbildung 5.15. „Difference Maps“ der EPN – Topographie der Spannungsdifferenzwerte der EPN für emotional erregende Bilder (S. 174)

Kapitel 7:

Abbildung 7.1. Layout der Elektrodenanordnung (S. 196)

Abbildung 7.2. Mittlere SAM-Arousal Ratings der guten (N = 17) und schlechten Herzwahrnehmer (N = 20) für positive, neutrale und negative IAPS-Bilder (S. 200)

Abbildung 7.3. Grand Averages der VEPs für positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode Pz (S. 201)

Abbildung 7.4. Visuell evozierte Potentiale (VEPs) der guten und schlechten Herzwahrnehmer am linken antero-inferioren Elektrodenpool (S. 202)

Abbildung 7.5. (A) Grand Means Topographie der Spannungsverteilung des P300-Latenzbereichs der guten und schlechten Herzwahrnehmer für positive, neutrale und negative Bilder (B) Grand Means Topographie der Spannungsverteilung des Slow Wave-Latenzbereichs der guten und schlechten Herzwahrnehmer für positive, neutrale und negative Bilder (S. 203/204)

Kapitel 8:

Abbildung 8.1. Layout der Elektrodenanordnung: schattierte Elektrodenpools repräsentieren temporo-okzipitale Cluster der EPN (S. 225)

Abbildung 8.2. Mittlere SAM-Arousal Ratings der guten (N = 21) und schlechten Herzwahrnehmer (N = 21) für positive, neutrale und negative IAPS-Bilder (S. 229)

Abbildung 8.3. Grand Means der EKPs: EPN für emotional positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode O1 (links-okzipital) und O2 (rechts-okzipital) (S. 230)

Abbildung 8.4. Topographie der frühen posterioren affektiven Modulation der EPN für emotionale Bilder (difference maps) (S. 231)

Abbildung 8.5. Grand Means der EKPs: EPN der guten und schlechten Herzwahrnehmer für emotional positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode O1 (links-okzipital) und O2 (rechts-okzipital) (S. 233)

Abbildung 8.6 Topographie der frühen posterioren, affektiven Modulation der EPN für emotionale Bilder („difference maps“) bei guten und schlechten Herzwahrnehmern (S. 234)

Abbildung 8.7. Regression zwischen EPN-Amplitude (Negativierung) und Herzwahrnehmungsscore für negative (A) und positive (B) Bilder (S. 235)

Kapitel 9:

Abbildung 9.1. Veranschaulichung des visuellen Oddball-Paradigmas (S. 256)

Abbildung 9.2. Grand Averages der VEPs für Target-, Standard- und Non-Target-Reize an Elektrode Fz, Cz und Pz (S. 259)

Abbildung 9.3. (A) VEPs der guten (rot) und schlechten (blau) Herzwahrnehmer auf Target-Reize an Elektrode Fz, Cz, und Pz (S. 262)

Abbildung 9.3. (B) VEPs der guten (rot) und schlechten (blau) Herzwahrnehmer auf Non-Target-Reize an Elektrode Fz, Cz, und Pz (S. 262)

Abbildung 9.4. Topographie der Spannungsverteilung der P300 auf Target-Reize und Non-Target-Reize (S. 265)

Kapitel 10:

Abbildung 10.1. Verteilung der normativen, affektiven Ratings (Valenz, Arousal) der verwendeten IAPS-Bilder (S. 293)

Abbildung 10.2. „Viewing Time“ für die positiven, neutralen und negativen Bilder für gute und schlechte Herzwahrnehmer (S. 297)

Abbildung 10.3. Mittlere Herzratenveränderungen (bpm) der guten und schlechten Herzwahrnehmer bei Betrachten positiver, neutraler und negativer Bilder (S.299)

Abbildung 10.4. Darstellung des Ablaufs des SAM-Ratings und der Erfassung der Bildbeurteilungszeiten für die Arousalskala des SAM (S. 310)

Abbildung 10.5. Darstellung der Bildbeurteilungszeiten (Arousal) der guten und schlechten Herzwahrnehmer für positive, negative und neutrale Bilder (S. 312)

Abbildung 10.6. Elektrodenanordnung und Messprinzip der Impedanzkardiographie (S. 322)

Abbildung 10.7. EKG, Impedanzsignal (IMP) und IKG (S. 323)

Abbildung 10.8. „Zurückgelegte Strecke“ in km im Fahrrad-Ergometer-Versuch der guten und schlechten Herzwahrnehmer (S. 327)

Abbildung 10.9. Korrelativer Zusammenhang zwischen der „zurückgelegten Strecke“ (in km) im Ergometer-Belastungs-Versuch und Herzwahrnehmungsscore (S. 328)

Abbildung 10.10. Veränderungswerte der mittleren Herzrate (HR) und des kardialen Outputs (CO) während des „Ergometer-Belastungs-Versuchs“ bei guten und schlechten Herzwahrnehmern (S. 330)

Tabellenverzeichnis

Kapitel 3:

Tabelle 3.1. Für die viszerale Sensation relevante anatomische Strukturen und Pfade: *„From the Periphery to the Cortex“* (S. 56)

Kapitel 7:

Tabelle 7.1. Geschlechterverteilung in den Gruppen der guten und der schlechten Herzwahrnehmer (S. 198)

Kapitel 8:

Tabelle 8.1. Geschlechterverteilung in den Gruppen der guten und der schlechten Herzwahrnehmer (S. 227)

Tabelle 8.2. Gemittelte Rohwerte der State- und Trait-Angst-Skalen des STAI für gute und schlechte Herzwahrnehmer (S. 227)

Kapitel 10:

Tabelle 10.1. Häufigkeitstabelle der Geschlechterverteilung für gute und schlechte Herzwahrnehmer (S. 296)

Tabelle 10.2. „Viewing Time“ für die positiven, neutralen und negativen Bilder in den Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer (S. 297)

Tabelle 10.3. Mittlere Herzratenveränderungen (bpm) der guten und schlechten Herzwahrnehmer bei Betrachtung positiver, neutraler und negativer Bilder (S. 298)

Tabelle 10.4. Häufigkeitstabelle der Geschlechterverteilung in den Gruppen guter und schlechter Herzwahrnehmer (S. 326)

Tabelle 10.5. Ergebnisse der Kovarianzanalysen mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ und der Kovariaten „PWC_{150}-Index“ (S. 329)

INHALTSVERZEICHNIS

Danksagung
Zitate
Abkürzungsverzeichnis

I. Theoretische Grundlagen

1. Einführung in das Thema 1

2. Periphere Emotionstheorien: Die Bedeutung körperlicher Rückmeldung 6

2.1. Einführung 6
2.2. Die „Gefühlstheorie“ von William James und ihre Bedeutung für die moderne Emotionsforschung 8
2.3. Die Emotionstheorie von Schachter und Singer: Die „Zwei-Faktoren-Theorie der Emotion“ 18
2.4. Antonio Damasios Emotionstheorie: Somatische Marker und Bewusstsein 22
2.4.1. Einführung: Die Bedeutung von Emotionen 22
2.4.2. Emotionsinduktion 27
2.4.3. „Körperschleife“ („body loop“) und „Als-Ob-Körperschleife“ („as if body loop“) 29
2.4.4. Gefühle („Feelings“) 30
2.4.5. Bewusstsein: Kernbewusstsein, Proto-Selbst und Gefühle 32
2.4.6. Somatische Marker: Entscheiden, Denken und Verhalten 42
2.4.7. Damasio´s Theorie: Eine periphere Emotionstheorie in der Tradition von William James 47

3. Neuroanatomische Grundlagen der Interozeption 50

3.1. Interozeption: Begrifflichkeiten und allgemeiner Überblick 50
3.2. Vermittlungspfade viszeraler und interozeptiver Signalverarbeitung: Viszerale Afferenzen und relevante Hirnstrukturen 54
3.2.1. Grundlagen 54

3.2.2. Rückenmark und Hirnstamm 59
3.2.3. Vom Hirnstamm zum Kortex 63
3.2.3.1. Thalamus 63
3.2.3.2. Hypothalamus 66
3.2.3.3. Cerebellum 67
3.2.3.4. Amygdala 68
3.2.4. Kortex 71
3.2.4.1. Insula 71
3.2.4.2. Cingulärer Kortex 76
3.2.4.3. Somatosensorischer Kortex 80
3.2.4.4. Präfrontaler Kortex 83
3.3. Interozeption: „Wie man sich fühlt“ 86

4. Viszerale Sensibilität: Kardiosensibilität 88

4.1. Verfahren zur Messung der Kardiosensibilität
4.2. Interindividuelle Unterschiede in der Kardiosensibilität 90
4.3. Kortikale Regionen als Empfänger kardialer Signale: „Heartbeat Evoked Potential“ 94
4.4. Kardiosensibilität und Emotion 99
4.4.1. Emotionales Erleben und physiologische Reaktivität 99
4.4.2. Kardiosensibilität und Verhalten 109

5. Emotionsverarbeitung: Theoretische Grundlagen und empirische Befunde 116

5.1. Emotional relevante Hirnstrukturen und empirische Befunde 116
5.1.1. Amygdala 116
5.1.1.1. Die Befunde und das Modell von LeDoux 118
5.1.1.2. Die affektive Beeinflussung der sensorischen Stimulusverarbeitung 123
5.1.2. Cingulärer Kortex 127
5.1.3. Insula 131
5.1.4. Präfrontaler Kortex 133

5.2. Visuelle Emotionsinduktion: Befunde und theoretische Grundannahmen 136
5.2.1. Das „International Affective Picture System“ (IAPS) und die dimensionale Sichtweise von Emotionen 136
5.2.2. Autonom-nervöse und behaviorale Reaktionen auf emotionale Bilder 143
5.2.3. Aufmerksamkeitsprozesse und Evozierte Potentiale 152
5.2.3.1. P300 154
5.2.3.2. P100 und N100 162
5.2.4. Emotionsverarbeitung und Evozierte Potentiale 165
5.2.4.1. “Late Positive Potentials”: P300 und „Positive Slow Wave“ 166
5.2.4.2. Frühe, visuelle Emotionsverarbeitung: „Early Posterior Negativity“ (EPN) 169

6. Theoretische Herleitung der empirischen Studien 180

II. Empirische Untersuchungen

7. Studie 1: Kardiosensibilität, subjektives Emotionserleben und die Verarbeitung emotionaler Stimuli im späten EKP-Latenzbereich (P300 und positive slow wave) 185

7.1. Einleitung und Hypothesen 185
7.2. Methode und Experimenteller Ablauf 192
7.3. Datenreduktion und Analyse 195
7.4. Ergebnisse 197
7.5. Zusammenfassung und Diskussion 209

8. Studie 2: Kardiosensibilität und die frühe, sensorische Verarbeitung emotionaler Reize („Early Posterior Negativity“) 213

8.1. Einleitung und Hypothesen 213
8.2. Methode und Experimenteller Ablauf 221
8.3. Datenreduktion und Analyse 224
8.4. Ergebnisse 226
8.5. Zusammenfassung und Diskussion 236

9. Studie 3: Kardiosensibilität und Aufmerksamkeitsprozesse untersucht in einem visuellen Oddball-Paradigma 247

9.1. Einleitung und Hypothesen 247
9.2. Methode und Experimenteller Ablauf 254
9.3. Datenreduktion und Analyse 257
9.4. Ergebnisse 260
9.5. Zusammenfassung und Diskussion 268

10. Studie 4 und 5: Kardiosensibilität und Verhaltensregulation untersucht in einem affektiven „Viewing Time Experiment“ (Studie 4a), anhand der Analyse von „affektiven Bildbeurteilungszeiten“ (Studie 4b) und in einem „Fahrrad-Ergometer-Versuch“ (Studie 5) 278

10.1. Theoretische Einführung zu Studie 4a,b und 5 278

10.2. Studie 4a: Kardiosensibilität und behaviorale Regulation psychischer Belastung im „Viewing Time Experiment“ 286
10.2.1. Einleitung und Hypothesen 286
10.2.2. Methode und Experimenteller Ablauf 291
10.2.3. Datenreduktion und Analyse 294
10.2.4. Ergebnisse 295
10.2.5. Zusammenfassung und Diskussion 300

10.3. Studie 4b: Analyse von „affektiven Bildbeurteilungszeiten“ 306
10.3.1. Einleitung und Hypothesen 306
10.3.2. Methode und Experimenteller Ablauf 308
10.3.3. Datenreduktion und Analyse 310
10.3.4. Ergebnisse 311
10.3.5. Zusammenfassung und Diskussion 312

10.4. Studie 5: Kardiosensibilität und behaviorale Regulation physischer Belastung im „Fahrrad-Ergometer-Versuch“ 314
10.3.1. Einleitung und Hypothesen 314
10.3.2. Methode und Experimenteller Ablauf 316
10.3.2.1. Prinzipien und Methode der Impedanzkardiographie 319

10.3.3. Datenreduktion und Analyse 324
10.3.4. Ergebnisse 325
10.3.5. Zusammenfassung und Diskussion 331

11. Zusammenfassung und Ausblick 336

12. Anhang (Weitere durchgeführte Studien und Befunde) i-vii

1. Einführung in das Thema

Die Geschichte ist lang, in der ein forschender, intellektueller Blick auf Emotionen geworfen wird. Eine traditionelle Sichtweise, die bis Plato zurückführt und bis zum heutigen Tage oft vertreten wird, geht davon aus, dass Emotionen eher hinderlich sind, verletzbar machen und den Verstand beeinträchtigen.
Emotionen wurden häufig als etwas zwar Mächtiges, jedoch Desorganisierendes und Beeinträchtigendes empfunden (z.B. Sartre). Diese Auffassung hat nicht nur den Menschen lange Zeit beeindruckt und die Sicht seines Selbst geprägt, sondern auch die Wissenschaft längerfristig davon abgehalten, sich eingehender mit der Erforschung von Emotion zu befassen (siehe Schulkin et al., 2003).

Eine dominante, rationalistische Sichtweise hatte lange Zeit hindurch das „Cogito, ergo sum“ (Descartes, Spinoza) zum Mittelpunkt des Seins erhoben, und Emotion verbannt. Mit Emotion war Passivität verbunden, während das „Cogito“ mit Selbstbestimmung assoziiert war.
Auch die kognitiven Neurowissenschaften, welche sich im späten 20. Jahrhundert entwickelten, vernachlässigten Emotionen, die auch dort als *„secretory“* (siehe Rey, 1980), körperlich und als mehr als irrational betrachtet wurden. Schulkin et al. (2003) schreiben hierzu:
„The cognitive revolution was obsessed with abstract rules, rules that guided behavior, multiple codes for internal representations.” (S.16).
Es wurde aber schnell offensichtlich, dass abstrakte Regeln nicht die einzigen psychologischen Ereignisse darstellten, die das alltägliche Denken und Urteilen bestimmten. Emotionen determinieren das Entscheidungsverhalten und Problemlösen in großem Ausmaß.

Forscher, die stark durch die Biologie beeinflusst waren, insbesondere durch Darwin (1934/2002), betrachteten Emotionen in funktionellen, adaptiven Begriffen. Besonders trifft dies auch für William James (1884; 1890/1950) und für John Dewey zu. Emotionen wurden dabei als wesentlich dafür betrachtet, wie sich jemand einem Problem gegenüber verhält, Probleme löst sowie Information verarbeitet. Emotionen wurden dabei nicht als einfacher sensorischer Druck oder Trieb verstanden. Organismen wurden nach dieser Sichtweise in der Evolution so ausgestattet, dass sie Signale an andere aussenden und diese wiederum verstehen können, sowie Ereignisse nach ihrer Bedeutung und Wichtigkeit in der Lage waren einzuschätzen. Emotionen werden demnach als Teil des allgemeinen Informationsverarbeitungssystems aufgefasst.

Ähnlich wie dies in Abbildung 1.1, des von Darwin benutzten Bilds, der sich anschmiegenden Katze dargestellt wird, werden Emotionen nicht als lästiges Beiwerk, welche kognitivem Problemlösen eher im Wege stehen, sondern als evolutionär sinnvolle „Bewegungen“ verstanden, die eine erfolgreiche Anpassung der Organismen gewährleisten. Emotionale Information ist vielmehr ganz wesentlich nicht nur bei persönlichen und sozialen Entscheidungen von Relevanz, sondern beeinflusst unmittelbar auch die oft davon getrennt gedachten „kognitiven“ Entscheidungsprozesse (Damasio, 1994, 1999):

Abbildung 1.1.

Fig. 1. A cat in a familiar position (Darwin, 1872/1965). This is a reflexive response rich in bodily sensibility and information processing.

(aus: Schulkin, Thompson & Rosen, 2003)

„Once the mythology of „perfect reason“ is eraducated from the pantheon of human expression and understanding, surely the emotions can be established as legitimate forms of problem solving“ (Schulkin, Thompson & Rosen, 2003, S. 16).

Emotionen wurden nicht nur bereits bei Darwin, sondern werden auch in modernen Emotionstheorien als “Handlungsdispositionen” betrachtet (z.B. Lang et al., 1997; Frijda, 1986). Es wird davon ausgegangen, dass Emotionen, vermittelt durch spezifische physiologische und behaviorale Reaktionen auf signifikante Reize den Organismus darauf vorbereiten, sich von bestimmten Umweltgegebenheiten weg- oder hinzubewegen („Avoidance“ vs. „Approach“).

William James (1884) hat als erster konkret darauf aufmerksam gemacht, dass „wir nicht weinen, weil wir traurig sind, sondern wir vielmehr traurig sind, weil wir weinen“, und damit diese, in jeder Vorstellung über Emotion ungeleugnete, evolutionär wesentliche Stimulus-Emotionsreaktions-Beziehung erweitert.
Mit den Aussagen von William James und Carl Lange wurde im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert, in den Geburtsstunden der akademischen Psychologie, eine Debatte eingeleitet, die sich vornehmlich darum drehte, welche Bedeutung der Körperperipherie und

den Viszera bei der Emotionsregulation zukommt (z.B. Bard, 1938; Cannon & Britton, 1927; James, 1884). Bis heute beschäftigt dieses Thema den wissenschaftlichen Diskurs.
Diese Thematik ist an sich jedoch schon sehr alt und hat gerade das Organ des Herzens betreffend eine bekanntlich lange historische Tradition: Das Herz wird seit langer Zeit als Hort der Gefühle beschrieben. Im alten Ägypten wurde dem Herzen eine noch wesentlichere Bedeutung zugeschrieben, indem das Herz sowohl als Sitz des Denkens, der Vernunft aber auch der Gefühle angesehen wurde. Auch den Chinesen galt das Herz als das intellektuelle Zentrum des Menschen. Augustinus erkannte im Herzen das Organ des Erkennens sowie des Fühlens und die Herzmetapher wurde im Christentum zum Symbol für Liebe und Gefühl (siehe Schandry, 2003b).

René Descartes (1596 -1650) war es, der im Zuge der zunehmenden wissenschaftlichen Aufklärung mit seinem „Cogito, ergo sum“ ein Primat des kühlen Denkens und Verstandes ausrief, was Antonio Damasio (1999, 2000) etliche Jahrhunderte später, im Jahre 1999, dazu veranlasste sein „Ich fühle, also bin ich“ entgegen zu setzen.
Physiologische, körperliche Information wird heute, im aktuellen wissenschaftlichen Denken als ganz fundamental für die Verhaltens- und Emotionsorganisation erachtet (z.B. Adolphs, Damasio, Tranel, Cooper & Damasio, 2000; Damasio, 1996; Ekman & Davidson, 1994). Die neuesten Arbeiten der Forschergruppe um Antonio Damasio (z.B. 1994, 2000), der die fundamentalen Gedanken von William James aufgegriffen hat, haben deutlich gemacht, dass periphere autonom-nervöse, viszerale und somatische Inputs das Entscheidungsverhalten bzgl. externer Objekte und interner Bedürfnisse wesentlich beeinflussen. Schädigungen des somatisch-viszeralen Rückmelde- und Verarbeitungssystems beeinträchtigen nicht nur die periphere autonom-nervöse Regulation sondern auch vorteilhaftes Entscheidungsverhalten in sozialen, ja alltäglichen Situationen (Bechara, Damasio & Damasio, 2000; Dolan, 2000).

Mit dem Aufkommen der „Affective Neuroscience“ steht nunmehr die neuronale Basis affektiver und sozialer Prozesse ganz im Mittelpunkt des Interesses.
In den letzten 10 Jahren haben sich eine Reihe an wesentlichen Befunden angesammelt, die deutlich machen, dass bestimmte Hirnstrukturen, wie z.B. die Insula und das Cingulum, in unverwechselbarer Art und Weise für die Integration von viszeralem Feedback und subjektivem Gefühl verantwortlich sind (z.B. Critchley et al., 2004; Lane et al. 1998).
Die zunehmende Integration von zentralem und peripherem Nervensystem spiegelt sich auch historisch in der Revolution der 1970er und 1980er Jahre, wo eine Wissensexplosion stattfand, die unser Verständnis der Strukturen und Netzwerke des Gehirns grundlegend veränderte. Diese Wissensexplosion nimmt seit einigen Jahren im Gefolge der Entwicklung neuer Bildgebungstechniken (z.B. MRI, fMRI, PET, MEG) weiter zu. Beispielsweise wurden

1960 noch sieben Nervenpfade von und zur Amygdala beschrieben (siehe Schulkin et al., 2003), während es heute fast 700 neuronale Verbindungen sind, die bekannt sind.

Es gibt keine kalte, emotionslose Wahrnehmung, schreibt Damasio in der ersten Abhandlung seiner Theorie (Damasio, 1994), und spricht W. James, dem Vorreiter einer peripheren Emotionstheorie damit sicherlich in doppelter Hinsicht aus dem Herzen.
Unsere zutiefst selbstverständliche Ahnung dessen, was uns „bewegt“, wenn wir etwa sagen „es fällt mir ein Stein vom Herzen“ oder „ich platze vor Wut“, signalisieren etwas von denjenigen Prozessen in uns, die unsere Gefühle, die uns selbst ausmachen. In diesen alltäglichen, körperbezogenen Aussagen, von denen es so viele gibt, zeigt sich, wie wir Emotionen erleben, nämlich körpernah. Diese Erkenntnis hat William James bewegt, als er über Emotionen nachdachte, wie ich in dem entsprechenden Kapitel zur James´schen Theorie beschreiben werde.
Diese Körperbezogenheit ist die „Conditio humana“, die Allgegenwart der Emotionen, welche in unserer Entwicklung und in unserer Alltagserfahrung praktisch jedes Objekt und jede Situation unserer Erfahrung mit den fundamentalen Werten der homöostatischen, physiologischen Regulation, nämlich Belohung oder Bestrafung, Lust oder Schmerz, Gut oder Böse verknüpft (Damasio, 1999, 2000).
Was passiert, wenn wir Menschen unserer Informationsquellen aus dem Körperinneren beraubt werden oder diese nicht mehr im Gehirn verarbeiten und wahrnehmen können, davon zeugen eine Reihe an klinischen Berichten und interessanten Fallbeschreibungen, welche sich wie Tragödien lesen (z.B. Damasio 1994, 1999, 2000). Je nachdem, wie dieser Informationsverlust verursacht ist, und welche Hirnregionen betroffen sind, leidet nicht nur etwa die Tiefe des Empfindens von Emotionen, sondern der gesamte Denk- und Handlungsvollzug bis hin zu verschiedenen Ebenen dessen, was als Bewusstsein bezeichnet wird. Besonders Antonio Damasio (1999) hat eindrucksvoll darauf aufmerksam gemacht, dass es ohne die Repräsentation des Körpers kein „Bewusstsein“ gibt.

Ebenso, wie es etwa durch Verletzungen oder Erkrankungen des autonomen Nervensystems, oder durch Läsionen zentraler Strukturen des Gehirns zu solchen Informationsausfällen bzw. –einbußen aus dem Körper kommen kann, gibt es generell in der individuellen Ausstattung zwischen gesunden Personen Unterschiede in ihrer Verarbeitung und Wahrnehmung körperlicher Prozesse. Die bessere oder schlechtere Wahrnehmungsfähigkeit dieser interozeptiven Informationen sollte entsprechende Auswirkungen auf wesentliche Lebensvorgänge besitzen, nicht zuletzt auf das emotionale Erleben, und die Verarbeitung von emotional bedeutsamen Reizen, sowie auf das Verhalten.

Und genau darum soll es gehen, was ich in den nächsten Kapiteln der vorliegenden Arbeit theoretisch bearbeiten und empirisch zeigen möchte.

Interozeptive Prozesse können anhand des Studiums der Wahrnehmung von Signalen aus verschiedenen Körpersystemen untersucht werden. Besonders bieten sich solche Prozesse an, welche noninvasiv und einfach untersucht werden können. Eine relativ einfache und gute Methode stellt deshalb die Untersuchung interozeptiver Prozesse der Herzaktion dar, da die Wahrnehmung des eigenen Herzschlags relativ einfach zu überprüfen ist.
Zur Testung der Herzwahrnehmungsfähigkeit bzw. Kardiosensibilität liegen zudem eine Reihe an Wahrnehmungstests vor, die eine Differenzierung von Personen mit guter oder schlechter Kardiosensibilität erlauben.
Diese Differenzierungsmöglichkeit zwischen Personen mit guter und schlechter Herzwahrnehmungsfähigkeit ermöglicht es, die Bedeutung des Feedbacks und der Wahrnehmung körperlich-viszeraler Signale auf die zentrale Emotionsverarbeitung, das emotionale Erleben sowie behaviorale Korrelate konkret zu untersuchen.

Ich habe in diesem einleitenden Kapitel, welches in das hier zu behandelnde Thema einführen soll, bereits wesentliche theoretische Modelle und Forscherpersönlichkeiten angesprochen, die die Bedeutung körperlichen Feedbacks auf die Entstehung von Gefühlen, die Emotionsverarbeitung und Verhaltensregulation erkannt haben. Ihre Theorien wurden deshalb auch als „periphere Emotionstheorien“ bezeichnet. Diese Theorien möchte ich an den Beginn der Arbeit stellen.
Anschließend werde ich auf neuroanatomische Grundlagen, vornehmlich des viszeralen Feedbacks von der Körperperipherie zum Gehirn sowie auf eine Kennzeichnung von Interozeption eingehen und zuletzt Befunde aus der Emotionsforschung zur zentralnervösen Verarbeitung emotionaler Reize sowie auf für diese Arbeit relevante Aufmerksamkeitsprozesse eingehen, um sodann die empirischen Studien der Arbeit vorzustellen.
Zuallererst sollen jedoch drei wichtige, und wegweisende Theorien besprochen werden, welche sozusagen den Grundbaustein bei der Entwicklung der in dieser Arbeit interessierenden Fragestellungen und Hypothesen bilden.

2. Periphere Emotionstheorien: Die Bedeutung körperlicher Rückmeldung

2.1. Einführung

Im Jahre 1970 führte Plutchik drei wesentliche Forschungstraditionen an, welche die Emotionsforschung bis dato wesentlich beeinflusst hatten:

1.) Die darwinistische Tradition, innerhalb derer die angeborenen Grundlagen emotional-expressiven Verhaltens betont werden.
2.) Die Freud´sche Tradition, in welcher die unbewussten Determinanten von Affekten betont werden, und
3.) die aus dem *„Sequenzproblem“* entstandene Forschungstradition: Das Sequenzproblem bezieht sich auf die Frage nach den zeitlichen Beziehungen zwischen dem körperlichen Ausdruck von Emotionen und dem subjektiven Gefühlserleben. Während viele Wissenschaftler die Auffassung vertreten, dass das subjektive Gefühlserleben sowohl physiologische Veränderungen als auch emotionales Verhalten verursache, haben andere, insbesondere zu nennen William James, behauptet, dass das Erleben eines Gefühls eine Folge bestimmter körperlicher, physiologischer Veränderungen sei.

Auch heute noch gelten diese drei Richtungen als wesentliche Einflussfaktoren innerhalb der Emotionsforschung. Allerdings hat sich in den letzten Jahren der Schwerpunkt der methodischen Untersuchungsmöglichkeiten wesentlich verändert und verbessert, so dass im Zuge des Aufkommens der Kognitiven und Affektiven Neurowissenschaften, welche sich des neuen methodischen Repertoires, v.a. der bildgebenden Verfahren bedienen, Theorien und Modelle einer neuen Prüfung und einer Weiterentwicklung unterzogen werden können. Interessant zu verfolgen ist auch das Wiederaufleben „älterer“ Emotionsmodelle, welche sich mit Hilfe des aktuellen Methodeninstrumentariums manchmal als aktueller als je zuvor erweisen.
Hierzu gehört auch die Vorstellung, dass körperliche, interne Prozesse Emotionen und Gefühle bedingen bzw. zumindest beeinflussen. Dieser Gedanke liegt so genannten „peripheren Emotionstheorien“ zu Grunde, welche in dem oben genannten Sequenzproblem angesprochen werden.

Beschäftigt man sich mit Viszerozeption und Emotion und Gefühlen, so ist interessant zu sehen, dass bereits Charles Darwin, der der Psychologie die vergleichende Verhaltensforschung als Methode präsentiert hat, in seinem Werk *„The Expression of the*

Emotions in Man and Animals" (Darwin, 1934/2002) einen interessanten Gedanken vorschlägt, welcher auf viele mit Emotionsforschung beschäftigte Wissenschaftlergenerationen unwiderstehlich gewirkt hat, und das von Plutchik erwähnte „Sequenzproblem" anspricht. Darwin beschrieb dort bereits seine Überlegung, dass bestimmte körperliche Reaktionen (*„responses of the sensorium"*) eine wesentliche Rolle bei der Generierung von emotionalen Zuständen spielen. Ein ganzer Teil von Darwins Arbeit befasste sich in „The Expression of the Emotions" mit der habituellen Verbindung eines spezifischen körperlichen Zustands mit einem spezifischen emotionalen Zustand. Darwin beschreibt dort, dass ein jahrelanger Prozess der Verbindung (wir würden heute sagen „Lernen") von Tränen mit Trauer zum Beispiel zu einer starken Verknüpfung beider Reaktionen führt (Darwin, 2002). Darwin ging sogar davon aus, dass, in einigen Fällen, körperliche Reaktionen auf eine emotionale Reaktion kognitive und Verhaltensänderungen verursachen können. Darwins Logik war am Beispiel eines Kindes, das sich sehr freut und dabei herumspringt, folgende: *„Joy quickens the circulation, and this stimulates the brain, which again reacts on the whole body"* (Darwin, 2002). Ein erregtes Sensorium verursache somit ein Überschießen an *„nerve-force"*, die emotionales Verhalten bedinge.
Darwin vertrat v.a. eine „somatische Feedback" Theorie, in der auch gezielt faziale Expression, also der Gesichtsausdruck, eine kausale Rolle bei der Produktion von Emotion spielt. Ein evolutionäres Modell der kommunikativen Rolle von Emotionen beschreibend, geht Darwin davon aus, dass der faziale Ausdruck den affektiven Gefühlszustand intensiviert (Ferguson & Katkin, 1995).

Moderne theoretische Ausführungen, wie die von Tomkins (1962) und Izard (1977) haben diesen Aspekt der Darwinschen Theorie zu dem weiterentwickelt, was heute unter dem Begriff *„facial feedback hypothesis"* bekannt ist. Nach Tomkins (1962) sind Emotionen das direkte Resultat sensorischen Feedbacks aus sensorischen Hautrezeptoren des Gesichts an das zentrale Nervensystem. Diese Hypothese geht davon aus, dass die willkürliche Veränderung des eigenen Gesichtsausdrucks die weiteren körperlichen, physiologischen Prozesse ändert und die entsprechende Emotion und das subjektive Gefühl anstößt (z.B. Izard, 1977; Tomkins, 1962; Zajonc, Murphy & Inglehart, 1989). Es hat sich gezeigt, dass die Art des momentan herrschenden mimischen Ausdrucks ihrerseits einen Einfluss auf das emotionale Befinden hat.
Zum Beispiel gibt es Befunde dafür, dass wenn Probanden Gesichtsausdrücke willentlich produzieren, die mit bestimmten Emotionen assoziiert sind, wie z.B. Lächeln, sich entsprechend ihre kognitiven Erfahrungen ändern, und sie bestimmte externe Reize, wie etwa Filme, angenehmer und lustiger empfinden, als wenn sie z.B. ihre Stirn runzeln (z.B. Laird, 1974; Zajonc Murphy & Inglehart, 1989). Weitere Belege demonstrieren, dass, werden

verschiedene emotionale Gesichtsausdrücke produziert, diese die damit üblicherweise assoziierten physiologischen, vegetativen Veränderungen evozieren, die denen gleichen (wenn auch schwächer ausgeprägt), die stattfinden, wenn Emotionen durch die Betrachtung von Filmen, Bildern oder Imagination hervorgerufen werden (Levenson, Ekman & Friesen, 1990).

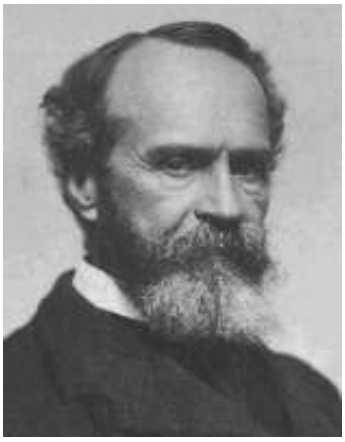
Die Idee, dass körperliche Reaktionen emotionalem Erleben und Verhalten vorausgehen und dieses determinieren, beeinflusste eine Reihe an Wissenschaftlern.
Vorreiter solcher „peripherer Emotionstheorien" waren William James und Carl Georg Lange, welche die sogenannte James-Lange Theorie der Emotion entwickelten. Diese Gedanken regten die wissenschaftliche Debatte bis heute darüber an, ob Emotionen nun die assoziierten körperlichen Veränderungen bedingen (was als zentrale Emotionstheorie bezeichnet werden kann) oder umgekehrt. Eine kognitiv-psychophysiologische Theorie entwickelten Mitte des 20. Jahrhunderts Schachter und Singer (z.B. 1962), die der Rückmeldung physiologischer Körpersignale zusammen mit attributionstheoretischen Aspekten bei der Entstehung von Gefühlen eine wesentliche Bedeutung zusprachen.
Eine moderne periphere Emotionstheorie, die das körperliche Feedback, dessen zentralnervöse Verarbeitung und Auswirkungen unter Spezifizierung von Hirnstrukturen und neurophysiologischer Grundlagen in den Mittelpunkt stellt, ist die „Somatic Marker Theorie" von Antonio Damasio (1994, 1999, 2000).
Im Folgenden und um auf die experimentellen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit hinzuführen, soll ein Überblick über die wesentlichen Charakteristika dieser genannten Theorien bzw. Modelle erfolgen.

2.2. Die „Gefühlstheorie" von William James und ihre Bedeutung für die moderne Emotionsforschung

William James (1842-1910) studierte zuerst Chemie, dann vergleichende Anatomie und Physiologie und schrieb sich dann an der Harvard Medical School ein. Sein Interesse für Psychologie wurde durch seine Deutschlandreise 1867-68 gefördert, auf der er in Berlin den berühmten Physiologen Du Bois-Reymond hörte, und in Heidelberg H. Helmholtz und W. Wundt. Sein psychologisches Hauptwerk „Principles of Psychology" (1890a, b) zählt zu den Gründungswerken der modernen Psychologie.

W. James war Mitbegründer des Funktionalismus und Anhänger des Evolutionismus. Sein Denken war nicht zuletzt deshalb schon stark durch die Gedanken Darwins, die Entstehung

von Emotionen betreffend, beeinflusst. James vertrat in seiner Gefühls- und Ausdruckspsychologie einen deutlichen Physiologismus.



W. James (1842 – 1910)

Interessant ist, dass W. James eine sehr ambivalente Figur zu sein schien. Er verfocht zum einen zwar eine experimentelle Psychologie, praktizierte diese jedoch selbst nie. Genauso vertrat er einen „radical empirism" und baute zugleich eine pragmatische Religionsphilosophie und –psychologie auf (Arnold, Eysenck & Meili, 1987).

Die James-Langesche Gefühlstheorie beschäftigt sich nunmehr mit der Beziehung zwischen den physiologischen Änderungen in emotionalen Erregungssituationen und den diese begleitenden Gefühlserlebnissen.

Der dänische Philosoph C.G. Lange (1887) stellte die Behauptung auf, Emotion sei identisch mit Änderungen des Kreislaufsystems. Es ist hier wesentlich anzumerken, dass Lange tatsächlich vornehmlich das kardiovaskuläre System im Auge hatte.

Zur gleichen Zeit baute William James diesen Gedanken weiter aus. Ein wesentlicher Unterschied zu Langes Idee ist, dass James vor allem viszerale Reaktionen fokussierte, während Lange v.a. vasomotorische Reaktionen für bedeutsam hielt.

Ähnlich wie Aristoteles, ging James davon aus, dass das emotionale Erleben aus der Wahrnehmung der verschiedenen körperlichen Veränderungen, die als Reaktion auf emotionsbezogene Stimuli auftreten, resultiere. Er vertrat den Standpunkt, körperliche Veränderungen seien weder das Resultat noch Begleiterscheinungen emotionalen Erlebens, sondern dessen Ursache. Demnach wäre es richtiger zu sagen, wir fürchten uns, weil wir fortlaufen, als zu behaupten, wir laufen, weil wir uns fürchten. Das Empfinden eines Gefühls besteht also in der Wahrnehmung der vom emotionalen Reiz ausgelösten körperlichen, insbesondere viszeralen Reaktion (siehe auch Bennet & Hacker, 2005).

Im Gegensatz zu der Vorstellung dass, „*.. the mental perception of some facts excites the mental affection called the emotion, and that this latter state of mind gives rise to the bodily expressions*" (James, 1884, S. 189), ist die These von James: *„… the bodily changes follow directly the perception of the exciting fact, and that our feeling of the same changes as they occur is the emotion"* (James, 1884, S. 189-190).

Die Theorie von James geht also davon aus, dass periphere somatische, vor allem viszerale Reaktionen notwendig sind, um der Wahrnehmung eines Ereignisses eine emotionale Qualität zu verleihen. Interospektive Evidenz scheint die James-Lange Theorie zu stützen.

William James bemerkt: *„…kann man sich den Zustand der Wut vorstellen, ohne gleichzeitig an ein Aufwallen in der Brust, ein gerötetes Gesicht, zusammengebissene Zähne und einen Impuls zu gewalttätigem Handeln zu denken? … Je genauer ich meine Gefühlszustände untersuche, desto mehr bin ich davon überzeugt, dass alle Stimmungen, Gefühle und Leidenschaften, die ich empfinde, in Wahrheit aus genau den körperlichen Veränderungen bestehen und zusammengesetzt sind, die wir gewöhnlich als ihren Ausdruck oder ihre Folge bezeichnen.“* (James, 1890, S. 452, zit. nach Leventhal, 1974) sowie:
„I now proceed to urge the vital point of my whole theory, which is this: If we fancy some strong emotion, and then try to abstract from our consciousness of all the feelings of its bodily symptoms, we find we have nothing left behind, no ´mind-stuff´ out of which the emotion can be considered, and that a cold and neutral state of intellectual perception is all that remains.” (James, 1890).

Wichtig zu bemerken ist ebenfalls, dass es in James´ Theorie um den wichtigen Prozess der *Wahrnehmung* von körperlichen, viszeralen Veränderungen bzw. Zuständen geht. Genau genommen sind es also nicht die physiologischen Reaktionen an sich, sonder vielmehr die *Perzeption* dieser Reaktionen, welche für die Entstehung von Gefühlen, also das „Fühlen einer Emotion“ ausschlaggebend ist (siehe Bennet & Hacker, 2005).
An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass heute die Begrifflichkeiten „Emotion“ und „Gefühl“ etwas anders benutzt werden, als dies zu James´ Zeiten der Fall war. William James spricht in seinen Ausführungen vornehmlich von Emotionen und der Entstehung von Emotionen, und meint nach heutiger Auffassung, welche eine Differenzierung dieser Prozesse vornimmt, eher das bewusste „Gefühl“. Wie noch ausführlicher beschrieben werden wird, bezeichnen bei Damasio (2000), welcher exemplarisch für diese Unterscheidung steht, Emotionen vornehmlich die automatisch ausgelösten Prozesse, welche unmittelbare physiologische Reaktionen erzeugen, während „Gefühl“ die wahrgenommene Emotion bzw. den emotionalen (körperlichen) Zustands beschreibt.

Beschäftigt man sich genauer mit der Primärliteratur, so stößt man auf einige Spezifikationen, die so nicht ohne weiteres in den üblichen, knappen Beschreibungen der Theorie zu finden sind:
James (1884) geht etwa davon aus, dass seine Anschauung vornehmlich für sogenannte „standard emotions“ gilt. Damit meinte James all jene Emotionen, welche körperliche Veränderungen provozieren bzw. einen körperlichen Ausdruck besitzen, die im Gefolge eines Umweltstimulus auftreten. Diese gröberen Standardemotionen, wie z.B. Zorn, Furcht, Freude etc., gehen demnach mit starken körperlichen Begleiterscheinungen einher, während feinere Emotionen, das sind moralische, intellektuelle und ästhetische Gefühle (z.B.

Dankbarkeit, Wissbegierde, Genugtuung etc.) dagegen nur mit schwachen körperlichen Reaktionen assoziiert seien.

Zudem ähneln die James´schen „standard emotions" dem, was Damasio als „primäre Emotionen" bezeichnen wird, also angeborene, präorganisierte Emotionen, welche sich im Rahmen der individuellen Entwicklung in Richtung „sekundäre Emotionen" entwickeln, welche auftreten, sobald wir „Empfindungen" haben und systematische Verknüpfungen zwischen Kategorien von Objekten und Situationen sowie primären Gefühlen herstellen (Damasio, 1994, S. 187).

Zudem ist bei James in seinem wesentlichen Artikel in *Mind* (1884) nachzulesen, dass die körperlichen Veränderungen, die er für wichtig bei der Generierung von Emotionen hielt, v.a. ein komplexes Zusammenspiel viszeraler Reaktionen (z.B. Magen-Darm, Blase, Herzrate, Blutgefäße und Atemfrequenz, Speicheldrüsen, die Leber und die Haut) waren.

Diese körperlichen Veränderungen werden nach W. James wahrgenommen bzw. „gefühlt", und zwar von sehr präzise bis vage. Dieses „Fühlen" der körperlichen Veränderungen müsse sensu James vor allem über eine Rückmeldung der körperlichen Modifikationen über sensorische Nerven zum Gehirn vor sich gehen, nachdem die körperlichen Veränderungen stattgefunden haben.

James erwägt interessanterweise noch eine andere Alternative, nämlich die, dass auch bereits eine „Rückmeldung" über Modifikationen möglich sein könnte, bevor die körperlichen Veränderungen bereits stattgefunden haben, und zwar *„… by our being conscious of the outgoing nerve-currents starting on their way downward towards the parts they are to excite… ."* (James, 1884, S. 192).

Obwohl James letztere Alternative als eher weniger wahrscheinlich ansieht, ist diese Idee sehr interessant. Wie bei der Beschreibung der Emotionstheorie von A. Damasio erkennbar wird, hat James mit seiner ersten Vermutung, nämlich, dass körperliche Veränderungen, finden sie denn in einer bestimmten Situation statt, zum Gehirn zurückgemeldet werden, etwas angedeutet, was Damasio als einen „body loop" bezeichnen wird. James´ zweite Vermutung, dass es auch „Feedbacks" zum oder innerhalb des Gehirns selbst gibt, ohne dass bzw. bevor eine körperliche Reaktion stattgefunden hat, könnte mit dem, was Damasio als „as if body loop" betitelt, assoziiert werden. Letzteres stellt, wie noch dargestellt werden wird, eine Möglichkeit dar, dass im Gehirn die „Abbilder körperlicher Veränderungen" bzw. „der Körper im Kopf" aktiviert werden, auch ohne dass eine unmittelbare Rückmeldung aus der Körperperipherie stattfinden muss, so dass Emotionsverarbeitung beeinflusst werden kann (Damasio, 1994, S. 214).

Ein Hauptkritikpunkt, der gegen W. James vorgebracht wurde, war die Vorstellung, dass wir den Körper immer als „Bühne" für die Gefühle (bei James: Emotionen) benutzen bzw. dass

der Körper in dem Prozess der Erzeugung von Empfindungen *stets* zwischengeschaltet sei (Damasio, 1994). Obiger Gedanke von W. James in seinem Artikel von 1884 lässt meines Erachtens aber sehr wohl noch gedanklichen und experimentellen Spielraum offen.
James erwog zumindest die Möglichkeit, dass es prinzipiell denkbar wäre, dass bereits eine Modifikation im Gehirn auftreten könne, noch bevor körperliche Veränderungen in der Peripherie in einer emotionalen Situation etwa, stattfinden (James, 1884, S. 192). James deutet somit mit seinem oben genannten Gedanken bereits an, dass es bestimmte neuronale Mechanismen geben könnte, die, ohne dass ein Körperprozess bereits stattgefunden hat, eine Beeinflussung des emotionalen Gefühls ermöglichen könnten, was mit Damasios „as if body loop" große Ähnlichkeit besitzt.

William James beschreibt in einem Abschnitt seiner Arbeit „What is an Emotion?" (1884) ebenfalls konkret auch den Prozess, wie Emotion entstehen soll. Er geht davon aus, dass zuerst ein Objekt in der Umwelt wahrgenommen wird und entsprechend sensorisch im Kortex verarbeitet wird (*„an object falls on a sense-organ and is apperceived by the appropriate cortical centre;…"*), wobei er auch konkret die Möglichkeit anspricht, dass ein solches Objekt nur vorgestellt werden muss, und die entsprechende kortikalen sensorischen Zentren erregt werden *(„or else the latter [the appropriate cortical centre – Anmerkung d. Verfasserin], excited in some other way, gives rise to an idea of the same object."*). Sodann sollen sehr schnell, die entsprechenden körperlichen, physiologischen Veränderungen ausgelöst werden, und diese wiederum vom Gehirn wahrgenommen werden, um zusammen mit dem ursprünglich in der Umwelt wahrgenommenen Objekt, dort zu einem „emotional gefühlten", also emotional relevanten Objekt verarbeitet zu werden.
James spricht davon, dass erst durch diesen Prozess aus einem bloß „wahrgenommenen Stimulus" ein „emotional bedeutsames, gefühltes Objekt" wird:
„… these alterations, apperceived like the original object, combine with it in consciousness and transform it from an object simply-apprehended into an object-emotionally felt." (James, 1884, S. 203).
Allein diese Ausführungen, welche James Ende des 19. Jahrhunderts zu Papier brachte, beinhalten bereits sehr vieles von dem, was heute in der modernen neurowissenschaftlichen Forschung und ihren Modellen mehr und mehr an Belegen erfährt (z.B. Critchley et al., Damasio, 1994, 1999, 2000).

Wie ich oben bereits angedeutet habe, war James, nach entsprechenden Angaben, ein eher intuitiver Denker, und hatte seine Aussagen nicht auf experimentellen Wege gewonnen. Er hatte aber sehr wohl darüber nachgedacht, wie eine Überprüfung seiner Hypothesen möglich wäre. James (1884) dachte dabei daran, dass, wenn sich ein Fall finden ließe, der eine

komplette interne und externe „Anästhesie“ zeigte, ohne dass jedoch motorische Veränderungen oder Veränderungen der kognitiv-intellektuellen Fähigkeiten vorhanden wären, aber eine emotionale Apathie existierte, so wäre dies eine relativ sichere Bestätigung für seine Ansichten.

Bis heute wurde dieser Vorschlag von James in vereinzelten und interessanten Studien untersucht. In diesen Untersuchungen werden etwa Patienten mit Läsionen des Rückenmarks (zumeist Patienten mit Querschnittslähmung) herangezogen, um zu überprüfen, inwieweit hier Beeinträchtigungen des emotionalen Erlebens auftreten (z.B. Hohmann, 1966; Montoya & Schandry, 1994; siehe Kapitel 4).

Wie noch dargestellt werden wird, gibt es hierzu heute jedoch auch heterogene Befunde (z.B. Bermond, Niewenhuyse, Fasotti & Schuerman, 1991; Cobos et al., 2002), welche, wie Damasio (1999, 2000) anmerkt, mitunter dadurch verursacht sind, dass bei Verletzungen des Rückenmarks nicht nur die Ebene der spinalen Verletzung von Relevanz ist, sondern bei spinalen Läsionen vornehmlich Nervenstränge des sympathischen Nervensystems aber nicht des parasympathischen Nervensystems (v.a. Vagus) beeinträchtigt werden. Des Weiteren werden wesentliche weitere physiologische, humoral vermittelte Signale aus dem Körper nicht davon tangiert (siehe Damasio, 2000).

Ich möchte hier auch kurz umreißen, dass es prinzipiell zwei Fassungen der James-Theorie gibt.

William James ursprüngliche Version (James, 1884) wird in folgendem Schema dargestellt:

Wahrnehmung eines Umweltereignisses/-objekts	→	emotionsspezifische körperliche a) willkürliche Reaktionen b) unwillkürliche, v.a. viszerale Reaktionen	→	Empfindung der körperlichen Veränderungen = Emotion

Bei seiner ursprünglichen theoretischen Fassung ging James noch davon aus, dass die Wahrnehmung einer erregenden Tatsache eine hinreichende Bedingung für das Auftreten körperlicher Veränderungen sei. Dies bedeutete erstens, es gibt keine vermittelnden Bewertungsprozesse zwischen der Wahrnehmung eines Ereignisses und den körperlichen Veränderungen. Die körperlichen Veränderungen sollen demnach reflexartig ausgelöst werden. In der deutschen Übersetzung seiner Arbeit von 1884 kann man hierzu etwa lesen:

„Wenn wir plötzlich eine dunkle, sich bewegende Gestalt im Wald sehen, bleibt uns sofort das Herz stehen und wir halten den Atem an, noch ehe eine deutliche Vorstellung der Gefahr auftreten kann“ (James, 1884, S.196).

Zum Zweiten ist in dieser ersten Fassung davon auszugehen, dass körperliche Veränderungen emotionsspezifisch sind, und jeder in der Lage ist, sie bewusst und

entsprechend differenziert zu erleben (James, 1890a,b). Diese Empfindung der körperlichen Veränderungen ist dann nach James die gefühlte „Emotion“. Unter körperlichen Veränderungen subsumierte James dort sowohl willkürliche als auch unwillkürliche, v.a. viszerale Reaktionen.
Anfängliche kritische Stellungnahmen zu seiner Theorie betrafen v.a. den Punkt, dass die Wahrnehmung von Objekten an sich nicht hinreichend ist für die Auslösung körperlicher Reaktionen, sondern dass bereits weitere Verarbeitungsprozesse hinzukommen müssten.
Interessant ist, dass aktuelle Forschungsarbeiten gezeigt haben, dass sehr wohl eine schnelle und reflexive konzeptuelle, sensorische Analyse von Reizen im Gehirn stattfindet, welche bereits ohne langfristige Bewertungsprozesse möglich ist (z.B. LeDoux, 1996). Im Falle eines visuellen Reizes werden affektive Bilder bereits sehr schnell und automatisch im visuellen Kortex intensiver verarbeitet als irrelevante neutrale Bilder (siehe Kapitel 5.2.4.2.; z.B. Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2000a,b, 2004).

Auf die damalige Kritik hin präzisierte James (1890a, b) seine Theorie in zwei Punkten:

Wahrnehmung eines Umweltereignisses/-objekts	→	emotionsspezifische viszerale Veränderungen	→	Empfindung der viszeralen Veränderungen = Emotion

In dieser revidierten Version geht James dann davon aus, dass nicht die Wahrnehmung des Objekts oder Ereignisses an sich, sondern die Wahrnehmung „als erregendes Element in der Gesamtsituation“ die emotionalen, viszeralen Reaktionen auslöst, und unwillkürliche, viszerale Reaktionen eine weitaus stärkere Bedeutung für das emotionale Erleben haben als willkürliche Reaktionen. Zudem beschränkt er emotionsspezifische körperliche Veränderungen vornehmlich auf viszerale, körperliche Veränderungen

Was die komplexen physiologischen, körperlichen Veränderungen angeht, so wird der Körper bei James als eine Art „sounding board“ betrachtet, das ausreichend komplex ist, um jede mögliche Variation an intensiver Emotion zu produzieren (James & Lange, 1922).
Bekanntlich blieb James´ Theorie nicht zuletzt auch aus diesem Grunde nicht unwidersprochen.

Die von Walter Cannon (1927) geäußerte Kritik umfasste vornehmlich vier Kritikpunkte und Gegenargumente:

1.) Die vollständige Trennung der Viszera vom ZNS lässt emotionales Verhalten unbeeinflusst.
2.) Dieselben viszeralen Veränderungen treten bei sehr verschiedenen emotionalen und auch bei nichtemotionalen Zuständen auf.
3.) Viszerale Veränderungen sind zu langsam, um als Quelle des Gefühlserlebens in Frage zu kommen.
4.) Die künstliche Induktion von viszeralen Veränderungen, wie sie für starke Emotionen typisch sind, führt nicht zum Auftreten dieser Emotionen.

Cannon vertrat den historischen Counterpart zu James´ „peripherer Emotionstheorie". Cannons *„Aktivationstheorie"* konzentrierte sich auf das Studium weniger Emotionsdimensionen, anhand derer Emotionen beschrieben werden konnten. Am meisten Aufmerksamkeit wurde der Dimension „Intensität" gewidmet. Man nahm an, dass man die Intensität durch Messung der Aktivität des retikulären Systems feststellen könne. Ursprünglich wurde auch vermutet, dass ein zu hohes Aktivationsniveau in Übererregung resultiere, während ein zu niedriges Aktivationsniveau zu Depression führen würde. Zudem ging man davon aus, dass die Intensität der Aktivation auch die Richtung des Verhaltens beeinflusst (Annäherung vs. Vermeidung). Diese Grundüberlegungen finden sich in vielen Emotionsmodellen (z.B. Gray, 1982; Lang et al.,1999).
Cannon betrachtete viszerale Veränderungen während emotionaler Erregung als Teil einer generellen Handlungsvorbereitung und ging davon aus, dass diese körperlichen Veränderungen zu unspezifisch für verschiedene Emotionen sind. Cannon beschrieb bekanntlich die sogenannte Notfallreaktion als einen Anpassungsvorgang des Organismus, als Reaktion auf plötzliche, schwere psychische oder physische Belastungen. Durch vorübergehende Verschiebung des vegetativen Gleichgewichts in Richtung Sympathikotonie bereitet sich der Organismus auf eine rasche Energiezufuhr zum Zweck des Kampfes oder der Flucht (fight/flight) vor und reduziert dabei die restitutiven Vorgänge. Die Notfallfunktion umfasst, wie bekannt ist, 3 Stadien (Alarmreaktion, Stadium der Resistenz und Stadium der Erschöpfung), welche je mit spezifischen autonom-nervösen und hormonellen Veränderungen assoziiert sind.

Die oben genannten Argumente Cannons wurden und werden oft als stichhaltig betrachtet (z.B. Mandler, 1975), obwohl es seit längerem Befunde dafür gibt, dass physiologische Erregung, wie James ja behauptete, zum Erleben eines Gefühls notwendig sind. Im Jahre 1966 berichtet Hohmann (1966) bereits, dass Patienten mit Rückenmarksverletzungen, die das viszerale (sympathische) Feedback ausschalten, weniger intensive Gefühle empfinden (siehe auch Mandler, 1975). Auch Montoya & Schandry (1994) konnten ein umso geringeres

Emotionserleben bei querschnittsgelähmten Patienten demonstrieren, je niedriger die vorhandene Herzwahrnehmungsfähigkeit war.

Wesentlich für den hier angesprochenen ersten Kritikpunkt Cannons waren Studienergebnisse von Sherrington (1900) und Cannon (1927), die bei Hunden zeigten, dass Durchtrennung des Vagus zu keinen emotionalen Verhaltensänderungen, wie Bellen, Jaulen oder Furchtreaktionen führte.

Betrachtet man James´ Theorie hinsichtlich dieses Kritikpunktes, so muss man sich dessen bewusst sein, dass James primär von der Entstehung bewusster, subjektiv erlebter Gefühle spricht. So betonen etwa Barbalet (1999) sowie Damasio (1999, 2000), dass die Betrachtung von emotionalem Verhalten immer auch die subjektive Ebene des Erlebens von Gefühlen beinhalten muss, möchte man diesen ersten Kritikpunkt von Cannon auf James´ Aussagen anwenden. Bei Hunden ist es bekanntlich schwierig, Aussagen über deren subjektives Emotionserleben zu machen.

Obwohl James ja seine ursprüngliche Ansicht, dass alle, nicht nur viszerale, körperliche Reaktionen, und vor allem deren Wechselspiel für die Genese von Emotion wichtig sind, revidiert hat, muss man auch diesen Aspekt mit betrachten, wendet man diesen Kritikpunkt an.

Cannon vermutete als zweiten Punkt ferner, dass verschiedenartige Emotionen nicht durch unterscheidbare Muster physiologischer Reaktionen charakterisiert sind, dass also die von James implizierte Korrespondenz zwischen bestimmten physiologischen Zuständen und bestimmten psychischen Phänomenen (Emotionen) nicht gegeben sei. Cannon zufolge sind alle Emotionen durch eine globale Entladung des sympathischen Nervensystems gekennzeichnet, was sich in seiner „globalen Reaktionstheorie“ niederschlug. Hierzu möchte ich nur ganz kurz andeuten, dass Cannon im Grunde keinen Nachweis für die Nicht-Existenz spezifischer physiologischer Reaktionsmuster hatte, und dass aktuelle Befunde durchaus für die Annahme spezifischer, emotionaler Reaktionsmuster sprechen, wenn diese auch nicht so spezifisch sind, wie dies im Rahmen von James´ Theorie zu Grunde gelegt wird.

Es existieren heute aber durchaus Belege und Studienergebnisse, welche dafür sprechen, dass spezifische emotionale Zustände mit unterschiedlichen physiologischen, viszeralen Reaktionen einhergehen (z.B. Collet et al., 1997; Critchley et al., 2005; Dimberg et al., 2000; Levenson et al., 1990; Surakka & Hietanen, 1998).

Der letzte Punkt der Kritik Cannons, dass die künstliche Herbeiführung viszeraler Veränderungen nicht zum Auftreten der entsprechenden Emotionen führt, war ausschlaggebend für die Entwicklung der Zwei-Faktoren-Theorie der Emotion von Schachter & Singer (1962), welche attributionstheoretische Aspekte ergänzten. Diese Kritik war

angeregt durch Befunde, wie die von Maranon (1929), der Probanden Adrenalin verabreichte und diese dann von „kalten“ und „als ob“-Gefühlen berichteten.
Es ist hier bereits vorgreifend zu erwähnen, dass Schachter (1964) davon ausging, dass die Art der Emotion (z.B. Wut oder Furcht) durch die entsprechenden kognitiven Attributionen bestimmt werde, während die Intensität der Emotion durch die körperlichen Veränderungen determiniert werde. Schachter und Singers (1962) Modell nimmt damit eine Zwischenposition zwischen peripheren und Aktivationsmodellen ein, als deren frühe Vertreter Cannon und Bard anzusehen sind. Das Modell von Schachter und Singer wird im Anschluss an dieses Kapitel noch kurz beschrieben werden.
Hier ist kurz anzumerken, was in Kapitel 4 noch ausführlicher erörtert werden wird, dass es mittlerweile sehr wohl Befunde dafür gibt, dass eine gute viszerale Wahrnehmungsfähigkeit die Intensität des Emotionserlebens positiv beeinflusst (z.B. Hantas et al., 1982; Critchley et al., 2004; Ludwick-Rosenthal & Neufeld, 1985; Wiens et al., 2000; Schandry, 1981).

Cannon und Bard stellten bekanntlich, beflügelt durch ihre Kritik an einem peripherem Emotionsmodell die „Thalamustheorie der Emotion“ vor, wobei für das subjektive Emotionserleben der Thalamus ein wesentliche Rolle spielt (siehe z.B. Ferguson & Katkin, 1994).
Obwohl die Cannon´sche Kritik die James´sche Theorie über Jahrzehnte hinweg aus dem Blickfeld der Emotionsforschung verdrängt hat, so zeigte sich spätestens ab den Experimenten von Schachter und Singer (1962) wieder ein Interesse an den spannenden Hypothesen, die W. James formuliert hatte.
Die von James begründete Idee, dass körperliche Prozesse, die an das Gehirn zurückgemeldet werden, für die Genese von Emotionen und bewussten Gefühlen eine wichtige Bedeutung haben, ist ein faszinierender Gedanke, der jeden, der sich mit dem Thema Emotion beschäftig, nicht loslässt.
Die zentralen Gedanken von W. James haben nicht zuletzt heute Eingang gefunden in eine aktuelle neurowissenschaftliche Theorie, die von Antonio Damasio (1994, 2000) formuliert wurde und momentan experimentell untersucht wird. Wie bei der Erörterung der Theorie von Damasio in dieser Arbeit dargestellt werden wird, ist der grundlegende Gedanke von James, dort wiederzufinden.

Bei einer Darstellung von Emotionstheorien, welche die Bedeutung der Körperperipherie bei der Genese von Emotion als wesentlich erachten, darf eine Erörterung der Theorie von Schachter & Singer nicht fehlen, der ich mich nun zusammenfassend zuwenden möchte, bevor ich die Theorie von Damasio umreißen möchte.

2.3. Die Emotionstheorie von Schachter und Singer: „Die Zwei-Faktoren-Theorie der Emotion“

Die Aktivationstheorie sensu Cannon hatte mit zwei ernsten Problemen zu kämpfen. Zum einen mit der Schwierigkeit einer unzweideutigen Bestimmung des jeweiligen Aktivationsniveau – so müssen bekanntlich z.B. Veränderungen der Herzrate nicht immer gleichzeitig einhergehen mit Veränderungen der Hautleitfähigkeit, der Muskelspannung, und des EEG – zum anderen mit dem Problem, dass Aktivation allein subjektives Gefühlserleben offensichtlich nicht hinreichend erklären kann. Bei gleichem Aktivationsniveau können sehr unterschiedliche Emotionen auftreten. Die Aktivationstheorie verfügte nicht über das begriffliche Werkzeug, um verschiedene Emotionen voneinander zu unterscheiden (siehe auch Weiner, 1988).
Stanley Schachter (1964) und Jerome Singer (Schachter & Singer, 1962) ergänzten die Aktivationstheorie deshalb durch attributionstheoretische, kognitive Aspekte, um eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Emotionen möglich zu machen.
Die Emotionstheorie von Schachter und Singer (1962) beschreibt somit ein Modell, in dem sowohl physiologische als auch kognitive Prozesse eine wesentliche Rolle spielen.
Die Autoren beschreiben, dass Emotionen eine Funktion von zwei Faktoren seien, weshalb ihre Theorie auch als „Zwei-Faktoren-Theorie der Emotion“ bezeichnet wird: ein Faktor ist das physiologische Erregungsniveau und der zweite Faktor die Kognition über die erregende Situation.
Die Kognitionen haben dabei eine „Steuer-Funktion“, d.h. sie bestimmen die Richtung oder die Qualität des subjektiven Gefühlserlebens, indem sie ein „Etikett“ (also eine Kausalerklärung) für die wahrgenommene, physiologische Erregung bereitstellen. Hier wird spätestens deutlich, dass ein wesentlicher Schwerpunkt der Theorie zum einen auf der jeweils wahrgenommenen physiologischen Erregung und zum anderen auf der entsprechenden Einordnung oder Attribution der Erregung im Hinblick auf die vorhandene Situation darstellt. Die Intensität des emotionalen Erlebens ist dabei vom Ausmaß der erfahrenen physiologischen Erregung abhängig. Die physiologische Erregung ist damit eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung für das Emotionserleben.

Die Autoren gehen davon aus, dass in alltäglichen emotionalen Situationen, die den Organismus erregenden Reize auch die zum Verständnis des Ereignisses notwendige Information liefern. Schachter und Singer manipulierten in Laborsituationen den Erregungsfaktor und den kognitiven Faktor unabhängig voneinander und versuchten zu demonstrierten, wie diese Faktoren zusammen zu emotionalen Zuständen führten.

Die exemplarischen und bekannten Experimente der Autoren sollen kurz beschrieben werden:

Im ersten Experiment einer Experimentalreihe injizierten Schachter und Singer (1962) Versuchspersonen unter dem Vorwand, die „Auswirkungen eines Vitaminpräparats auf die Wahrnehmungsfähigkeit“ zu untersuchen (S. 382), Adrenalin, was bekanntlich zu einer autonomen Erregungssteigerung führt. Einige Versuchspersonen wurden von den Wirkungen der Substanz in Kenntnis gesetzt und konnten somit die Ursache ihrer wahrgenommenen Erregung korrekt einordnen. Andere Versuchspersonen wurden aber entweder nicht über die Effekte des Adrenalins informiert oder erhielten falsche Symptominformation, während den Versuchspersonen in einer Kontrollgruppe ein Placebo verabreicht wurde.

Anschließend warteten alle Probanden zusammen mit einem anderen Versuchsteilnehmer (in Wirklichkeit ein Versuchsleiter) auf die angekündigten „Sehtests“. Der Versuchsleiter verhielt sich entweder in sehr euphorischer Weise oder zeigte Verärgerung. Die Verhaltensweisen der Probanden während dieses Zeitabschnitts wurden beobachtet und bzgl. des Grades an gezeigter Euphorie oder Verärgerung eingestuft. Zusätzlich beantworteten die Versuchspersonen einen Fragebogen zu ihrem gegenwärtigen Gefühlszustand.

Die Hauptbefunde des Experiments zeigten, dass die uninformierten Probanden, denen Adrenalin injiziert worden war (die also physiologisch erregt waren, jedoch keine Erklärung für die Erregung bekommen hatten) sich in der Ärger-Situation relativ stärker verärgert, und in der Euphorie-Situation relativ stärker euphorisch erlebten als die Probanden der Placebo-Kontrollbedingung. Schachter und Singer zeigten somit, dass bei unabhängiger Manipulation, das Erregungsniveau die Intensität, und die Attribution die Richtung erlebter Gefühle determinierten.

In einer Folgestudie replizierten Schachter und Wheeler (1962) die Effekte des Erregungsniveaus auf emotional-expressives Verhalten. Den Probanden wurde entweder Adrenalin, Placebo oder Chlorpromazin (eine Substanz, die die sympathische Aktivität dämpft) injiziert. Die Probanden sahen dann einen kurzen humorvollen Film und während der Filmpräsentation wurde ihr expressives Verhalten (Lachen) beobachtet. Wie erwartet, variierte die Intensität des gezeigten Humor-Ausdrucksverhaltens mit der Intensität des induzierten Erregungsniveaus. Am meisten wurde in der Adrenalin-Bedingung gelacht und am wenigsten in der Chlorpromazin-Bedingung.

Zusammenfassend kommt es nach der Theorie von Schachter und Singer (1962) also folgendermaßen so zu einem Gefühlszustand:

1.) Physiologische Erregung tritt auf
2.) die Person nimmt ihre Erregung wahr
3.) die Person spürt ein Bedürfnis, eine Erklärung oder Ursache für die Erregung zu finden
4.) eine externale Ursache wird identifiziert, und die internale Reaktion wird etikettiert. Diese Etikettierung verleiht dem Gefühlszustand seine Qualität.

Die Untersuchungen von Schachter und Singer sowie ihre Theorie haben sich von erstaunlicher, heuristischer Fruchtbarkeit erwiesen und trugen wesentlich zum zunehmenden Wiederaufleben der experimentellen Emotionsforschung bei. Es folgten eine Vielzahl an experimentellen Arbeiten, welche diese Prozesse weiter verfolgten (z.B. Valins, 1966, siehe Reisenzein, 1983). Insbesondere wurden zahlreiche Experimente durchgeführt, die den Prozess der Attribuierungen und Fehlattribuierungen weitergehend untersuchten (z.B. Nisbett & Schachter, 1966), jedoch zu unterschiedlichen, die Theorie nicht immer stützenden Aussagen gelangten (siehe Reisenzein, 1983).
Mit ihrer Theorie leiteten Schachter und Singer, im Anschluss an Aktivationstheorien, wieder eine Wende in der Emotionsforschung ein, welche den Prozess der Rückmeldung physiologischer Erregung wieder in das wissenschaftliche Blickfeld stellte.

Zusammenfassend lassen die zahlreichen Untersuchungen hierzu den Schluss zu, dass, davon ausgegangen werden kann, dass die Wahrnehmung der physiologischen Erregung das Erleben von Emotionen intensiviert (siehe Reisenzein, 1983), was mit der James´schen Theorie insofern übereinstimmt, als dass es ohne die wahrgenommene physiologische Erregung zu keiner Entstehung emotionalen Erlebens kommen könne (siehe Schandry, 2003a). Nach Schachter und Singer wird das Emotionserleben durch die Wahrnehmung von Körperveränderungen ausgelöst, wobei sich die Qualität der Emotion durch den kognitiven Prozess der Situationsanalyse erschließt.
Vor allem wesentlich im Rahmen der Zwei-Faktoren Theorie ist der Aspekt, dass eine physiologische, viszerale Erregung für das Emotionserleben wahrgenommen werden muss, und somit den „Arousal“-Aspekt des Emotionserlebens beeinflusst (Schachter, 1964) wie dies auch W. James als grundlegend erachtete. Dazu kommt bei Schachter und Singer die Aussage, dass die Qualität oder Valenz eines emotionalen Zustands bzw. des emotionalen Erlebens durch das kognitive Labelling, also die kognitive Attribution zustande kommt.

Fasst man somit diese wesentlichen Aussagen von Schachter und Singer auf der Basis der James´schen Grundaussage, dass das Wahrnehmen viszeraler Veränderungen das Emotionserleben bedingt, kann man davon ausgehen, dass Personen, welche ihr viszerales

Arousal adäquater und besser wahrnehmen, Emotionen intensiver erleben sollten als Personen, die eine schlechte viszerale Sensitivität besitzen.
Dies wird in Kapitel 4 ausführlich erörtert werden und bildet auch eine der Hypothesen und Fragestellungen der vorliegenden Arbeit.

2.4. Antonio Damasios Emotionstheorie: Somatische Marker und Bewusstsein

2.4.1. Einführung: Die Bedeutung von Emotionen

In Antonio Damasios Emotionstheorie spielt eine wesentliche Hypothese eine große Rolle, die sog. *„Somatic Marker Theorie"*.
Menschliches Urteilen und Handeln wird nach der „Somatic Marker Theorie" von somatischen Markern beeinflusst. Diese somatischen Marker entstehen in bioregulatorischen Prozessen als physiologische Reaktionen, zumeist ohne bewusst wahrgenommen zu werden (wie z.B. Hautleitfähigkeitsänderungen) und werden vornehmlich auf ein emotionales Ereignis hin generiert.

Antonio R. Damasio
University of Iowa
College of Medicine

Die somatischen Marker können sich physisch zeigen als schwitzende Hände, ein knurrender Magen, oder ein schneller Herzschlag etwa, und können bewusst aber auch unbewusst wirksam werden. Beispielsweise kann eine Person während einer Entscheidungsaufgabe auf bestimmte Lösungsalternativen physiologisch unterschiedlich reagieren, und diese Veränderungen entsprechend bewusst oder unbewusst wahrnehmen bzw. im Gehirn prozessieren, wobei letzteres das Entscheidungsverhalten beeinflusst. Somatische Marker können also auch, ähnlich wie dies W. James in seiner Theorie formuliert hat, das bewusste Emotionserleben beeinflussen.

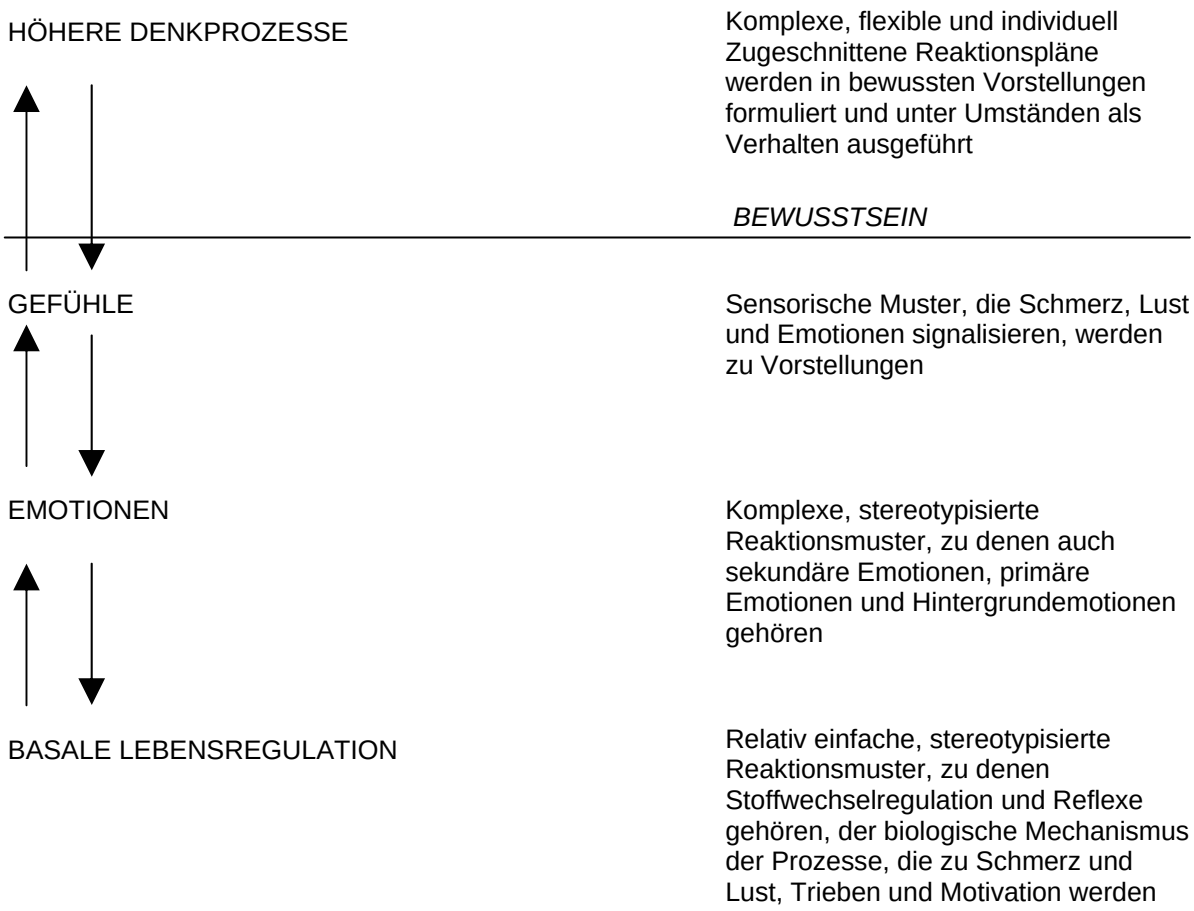
Im Laufe der vorliegenden Zusammenfassung der Emotionstheorie von Damasio wird auch deutlich werden, dass, wie dies bereits bei der Besprechung der James´schen Theorie bemerkt wurde, in Damasios Modell der Körper an sich nicht das einzige verursachende Element bei der Generierung von somatischen Markern ist, sondern vielmehr auch die Repräsentationen des Körpers im Gehirn sowie ein unabhängig von akuten körperlichen Veränderungen möglicher „Als-ob-„Mechanismus („as if body loop") eine wesentliche Rolle spielt.

Um Damasios Theorie so kohärent und zutreffend, aber auch so kompakt wie möglich darzustellen, habe ich mich bemüht, einen Bogen zu ziehen, der mit der Klärung verschiedener Begrifflichkeiten beginnt, sich über die Bedeutung von Emotionen und die Entwicklung von Grundvoraussetzungen in Damasios Theorie zum Bewusstwerden von Emotionen und Gefühlen spannt, und mit der Bedeutung von Emotion auf Denken, Urteilsprozesse und Verhalten endet. Da die wesentlichen Zusammenhänge der Theorie von Damasio nur klar werden, wenn man sich nicht nur den groben, in jedem Review über dieses

Thema nachgesprochenen Aspekten zuwendet, habe ich der Darstellung dieser Theorie ein wenig mehr Platz eingeräumt.

Zu Beginn ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass Damasio prinzipiell zwischen verschiedenen Begrifflichkeiten, nämlich zwischen Emotionen (emotions) und Gefühlen (feelings) sowie bewussten Gefühlen unterscheidet (Damasio, 1999, 2000).
Die aus Damasio (2000) entlehnte Skizze (Abbildung 2.1.) der Ebenen der Lebensregulation ist bei der Klärung der Begriffe und seiner Theorie behilflich:

Abbildung 2.1. Ebenen der Lebensregulation nach Damasio (Damasio, 2000, S. 73)



Die ***basale Ebene der Lebensregulierung*** – die Überlebensgrundausstattung – umfasst biologische Zustände, die bewusst als Triebe und Motivationen, als Lust und Schmerz erlebt werden.
Emotionen bilden nunmehr eine höhere, komplexe Stufe. Emotionen versorgen den Organismus automatisch mit überlebensorientierten Verhaltensweisen.

Damasio (2000) skizziert die Bedeutung von Emotionen in folgender Weise: Emotionen liegt ein gemeinsamer biologischer Mechanismus zu Grunde. Erstens ist davon auszugehen, dass Emotionen komplizierte Bündel von chemischen und neuronalen Reaktionen sind, welche ein Muster bilden und eine regulatorische Funktion besitzen. Des Weiteren besteht die Aufgabe von Emotionen darin, dem Organismus zu helfen, am Leben zu bleiben. Dabei sind Emotionen biologisch determinierte Prozesse, die von angeborenen Hirnstrukturen abhängen, welche ihre Existenz einer langen evolutionären Geschichte verdanken. Emotionale Reaktionen sind somit das Ergebnis einer langen Geschichte evolutionärer Feinabstimmung und sind Teil der bioregulatorischen Mechanismen, die unserem Überleben dienen.

Emotionen haben dabei eine doppelte biologische Funktion: Erstens, auf die auslösende Situation hin eine spezifisch Reaktion hervorzurufen und zweitens, den inneren Zustand des Organismus zu regulieren, so dass er auf die spezifische Reaktion vorbereit ist (Damasio, 2000, S. 71).

Auf der fundamentalsten Ebene sind Emotionen somit Teil homöostatischer Regulationen und dazu bestimmt, jenen Integrationsverlust von Unversehrtheit zu vermeiden, oder eine Quelle aufzusuchen, die Energie, Schutz oder Sex verspricht. Emotionen sind also eng verknüpft mit der Idee von Belohnung und Bestrafung, Lust oder Schmerz, Annäherung oder Vermeidung.

Wie unten noch ausgeführt wird, befinden sich diejenigen Strukturen im Gehirn, die Emotionen hervorbringen, in relativ eng umgrenzten Gebieten subkortikaler Regionen, welche in der Tiefe des Hirnstamms beginnen und in höhere, kortikale Hirnbereiche aufsteigen. Zudem existieren Hirnbereiche, welche für die Regulation der Körperzustände und deren Repräsentation zuständig sind.

Prinzipiell können alle emotionalen Mechanismen automatisch, also ohne bewusste Auslösung in Gang gesetzt werden. Emotionen sind, eingenommen individuelle Schwankungen und kulturelle Unterschiede, relativ stereotyp und automatisch und dienen einem regulatorischen Zweck.

Emotionen besitzen immer eine körperliche Verankerung und beeinflussen zudem auch zerebrale Regelkreise. Der Körper dient allen Emotionen als „Theater“, und Emotionen beeinflussen auch die Arbeitsweise zahlreicher Schaltkreise im Gehirn, wobei die Vielfalt der emotionalen Reaktionen für tief greifende Veränderungen in der Landschaft des Körpers und des Gehirns verantwortlich ist. Die Gesamtheit dieser Veränderungen bildet letztendlich das Substrat der neuronalen Muster, die dann zu gefühlten Emotionen werden.

Damasio unterscheidet des Weiteren so genannte *primäre* und *sekundäre Emotionen* sowie *Hintergrundemotionen*. Unter letzteren wären etwa Wohlbehagen oder Unbehagen, Ruhe

oder Anspannung zu nennen. *Hintergrundemotionen* werden dadurch konstituiert, dass Reaktionen durch Bedingungen des inneren Zustands verursacht werden, die durch dauernde physiologische Prozesse oder durch die Interaktionen des Organismus mit der Umwelt oder durch beides erzeugt werden. Die Auslöser für Hintergrundemotionen sind in der Regel intern und manifestieren sich vielfältig in Veränderungen des Bewegungsapparats, etwa in unauffälligen Merkmalen der Körperhaltung und im allgemeinen Ausdruck der Körperbewegung (Damasio, 1999, 2000). Hintergrundemotionen blieben auch erhalten, wenn Schädigungen des ventromedialen Präfrontalkortex oder der Amygdala vorhanden sind. Sie werden jedoch beeinträchtigt, wenn das „Kernbewusstsein", also die basale Bewusstseinsebene eingeschränkt ist. Hiervon wird später noch näher die Rede sein.

Unter ***primären Emotionen*** sind die 6 universellen Emotionen, nämlich Freude, Trauer, Furcht, Ärger, Überraschung und Ekel zu subsumieren.
Damasio geht davon aus, dass wir zu einem präorganisierten Gefühlszustand verdrahtet sind, wenn wir bestimmte Reizmerkmale in der Umwelt oder im Körper – allein oder kombiniert wahrnehmen. Solche Merkmale werden vornehmlich von der Amygdala entdeckt und verarbeitet, deren Neuronen über eine dispositionelle Repräsentation verfügen, die die Herstellung eines Körperzustands auslöst, wie er zum Beispiel für das Gefühl der Furcht charakteristisch ist, und die die kognitive Verarbeitung so verändert, dass sie dem Zustand der Furcht entspricht. Für primäre Emotionen ist somit charakteristisch, dass ein angemessener Reiz die *Amygdala* aktiviert hat und es dadurch zu einer Reihe von Reaktionen, v.a. internen Reaktionen (viszerale und des internen Milieus), Muskelreaktionen, sowie Neurotransmitterreaktionen in Kerngebieten des Hypothalamus kommt. Für die Muskelreaktionen seien die Basalganglien (v.a. ventrales Striatum) wesentlich beteiligt. Auch der anteriore Gyrus cinguli bzw. ACC spielt bei diesen Prozessen eine weitere bedeutsame Rolle. Der Hypothalamus löst endokrine und andere chemische Reaktionen aus, die sich über den Blutkreislauf ausbreiten. Primäre Emotionen stellen somit einfache, angeborene und automatisch auslösbare Emotionen auf markante Reize dar. Dabei ist die Amygdala wesentlich und triggert die entsprechenden somatischen Zustände (Bechara, Damasio & Damasio, 2003).
Entsprechend stellen so genannte *„primary inducers"* (primäre Auslöser) unkonditionierte oder erlernte Reize (z.B. konditionierte Reize und semantisches Wissen) dar, die einen aversiven oder angenehmen Zustand hervorrufen. Beispiele sind etwa der Anblick einer Schlange oder aber auch die semantische Information darüber, dass eine bestimmte Summe Geld gewonnen werden kann (Bechara, Damasio & Damasio, 2003).

Bei den ***sekundären Emotionen*** spielen bereits weitere, höhere kognitive Bewertungsprozesse eine Rolle. Wiederum wird ein Stimulus über die Amygdala verarbeitet. Zusätzlich wird auch der ventromediale Präfrontalkortex aktiviert. Sekundäre Emotionen beinhalten Vorstellungsbilder und vor allem Erinnerungsbilder, die mit einem Reiz assoziiert werden, und welche in frühen sensorischen Rindenfeldern (z.B. visuellen, akustischen) auftreten, die von dispositionellen Repräsentationen gebildet werden. Entsprechend stellen „secondary inducers“ (sekundäre Auslöser) Entitäten dar, die durch die Erinnerung an ein persönliches oder hypothetisches emotionales Ereignis oder dadurch, dass „primary inducers“ Gedanken oder Erinnerungen an diesen Auslöser produzieren, ausgelöst werden und einen somatischen Zustand induzieren. Beispiele für sekundäre Auslöser sind Erinnerungen an oder die Vorstellung einer Schlange oder etwa an einen großen Geldgewinn oder –verlust etc. (Bechara, Damasio & Damasio, 2003).

Für diesen Prozess ist besonders der ventromediale Präfrontalkortex relevant, um somatische Zustände durch sekundäre Auslöser hervorzubringen (Bechara, Damasio & Damasio, 2003; Damasio, 1994).

Auf einer nicht-bewussten Ebene reagieren Netzwerke des präfrontalen Kortex automatisch und unwillkürlich auf Signale, die bei der Verarbeitung der obigen Vorstellungsbilder entstehen. Die präfrontale Reaktion stammt von dispositionellen Repräsentationen, in denen gespeichert ist, welche Arten von Situationen in unserer persönlichen Erfahrung mit welchen emotionalen Reaktionen verknüpft waren, also von erworbenen und nicht von angeborenen dispositionellen Repräsentationen.

Der ventromediale Präfrontalkortex ist eine kritische Struktur innerhalb des neuronalen Systems, das für die Auslösung somatischer Reaktionen durch sekundäre Auslöser relevant ist. Dabei ist die Amygdala, welche ja bei der Auslösung somatischer Zustände durch primäre Auslöser wichtig ist, a priori notwendig für die normale Entwicklung des orbitofrontalen, präfrontalen Auslösesystems somatischer Reaktionen. Jedoch ist die Induktion somatischer Zustände durch sekundäre Auslöser über das ventromediale, orbitofrontale System immer weniger von dem Amygdala-System abhängig, sobald sich das orbitofrontale System erst einmal entwickeln konnte (Bechara, Damasio & Damasio, 2003).

Die Amygdala ist allerdings nicht nur für die automatische Induktion von somatischen Reaktionen auf signifikante Reize wesentlich, sondern erfüllt zudem auch eine weitere wichtige Funktion: nämlich die Koppelung von Stimuli bzw. Entitäten mit ihren emotionalen Attributen – also der Verarbeitung der von der Amygdala selbst durch primäre Auslöser evozierten somatischen Zustände (Bechara, Damasio & Damasio, 2003).

2.4.2. Emotionsinduktion

Wie werden Emotionen nun ausgelöst? Damasio beschreibt zwei Bedingungen bzw. Umstände: Zum einen werden Emotionen ausgelöst, wenn der Organismus bestimmte Reize oder Situationen mit einem seiner Sinnesapparate verarbeitet, wobei im Falle eines visuellen Reizes das Objekt visuell repräsentiert wird. Zum zweiten gibt es die Möglichkeit, dass der Organismus bestimmte Objekte oder Situationen aus der Erinnerung abruft und sie als Vorstellungen im Denkprozess repräsentiert (Damasio, 2000, S. 74; siehe oben).
Im Laufe der Evolution haben Organismen die Möglichkeit erworben, mit dem Reaktionsbündel, was Emotionen heißt, auf bestimmte Reize zu reagieren, besonders auf jene, welche unter dem Gesichtspunkt des Überlebens eine nützliche Rolle spielen oder besonders gefährlich sind (Damasio, 2000, S. 75). Über Konditionierung, also die Bildung von Assoziationen, werden Reize, die ehedem als neutral einzustufen wären, auch zu emotionalen Reizen. Damasio (2000, S. 77) fasst diesbezüglich zusammen, dass die Allgegenwart der Emotionen in unserer Entwicklung und in unserer Alltagserfahrung praktisch jedes Objekt und jede Situation durch Konditionierung mit den fundamentalen Werten der homöostatischen Regulation verknüpft: nämlich Belohnung oder Bestrafung, Lust oder Schmerz, Annäherung oder Rückzug.

Im Gehirn existiert nunmehr eine umgrenzte Zahl an Strukturen, welche Emotionen auslösen. Diese ***Emotionsinduktionsstrukturen bzw. „emotion induction sites“*** stellen nach Damasio *Hirnstammkerne*, der *Hypothalamus*, und das *basale Vorderhirn* (z.B. periaquäduktales Grau, PAG), die *Amygdala* sowie auf kortikaler Ebene der *anteriore cinguläre Kortex* (ACC) und der *ventromediale Präfrontalkortex* dar (Damasio, 2000, S. 80) (siehe Abbildungen 2.2. und 2.3., nächste Seite).
Diese Emotionsinduktionsstrukturen sind sozusagen darauf „programmiert“, um auf eine bestimmte Klasse an signifikanten Reizen zu reagieren. In diesen Strukturen, welche die neuronalen Dispositionen von Emotion darstellen, werden Emotionen also repräsentiert.
Dabei seien verschiedene dieser Gehirnstrukturen ganz vornehmlich bei der Generierung verschiedener Emotionen beteiligt. PET-Untersuchungen haben so auch gezeigt, dass Trauer durchgehend den ventromedialen Präfrontalkortex, Hypothalamus und Hirnstamm aktiviert, während Ärger oder Furcht vornehmlich Hirnstammareale aktiviert (z.B. Damasio, Grabowski, Damasio et al., 1998). Die Amygdala wurde bekanntlich auch als wesentlich bei der Verarbeitung aversiver, insbesondere furchtauslösender Stimuli und Emotionen aber auch emotionaler Reize positiver Qualität identifiziert (z.B. LeDoux, 1998).
Abbildungen 2.2. und 2.3. auf der nächsten Seite zeigen die wesentlichen Emotionsinduktionsstrukturen sowie die Lage der Amygdala.

Wird eine bestimmte Emotion ausgelöst, senden einige dieser genannten Emotionsinduktionsstrukturen, die zu einem weitgehend vorprogrammierten neuronalen System gehören, Befehle in die Körperperipherie (z.B. die Viszera und endokrine Drüsen) sowie an andere Hirnregionen aus (v.a. Monoaminerge Kerne, die somatosensorischen Kortizes und dem Cingulum). Die Informationsübertragung geschieht über die Blutbahn und über den neuronalen Weg, was zu einer globalen Veränderung des körperlichen Zustands führt (Damasio, 2000, S. 87, 89). Diese zentralnervösen und peripheren körperlichen Veränderungen lösen die gesamte Palette an körperlichen und zentralnervösen Reaktionen aus, welche Emotionen konstituieren.

Abbildung 2.2. Hauptregionen der Emotionsauslösung (Emotionsinduktions-Strukturen) (Damasio, 2000, S. 81)

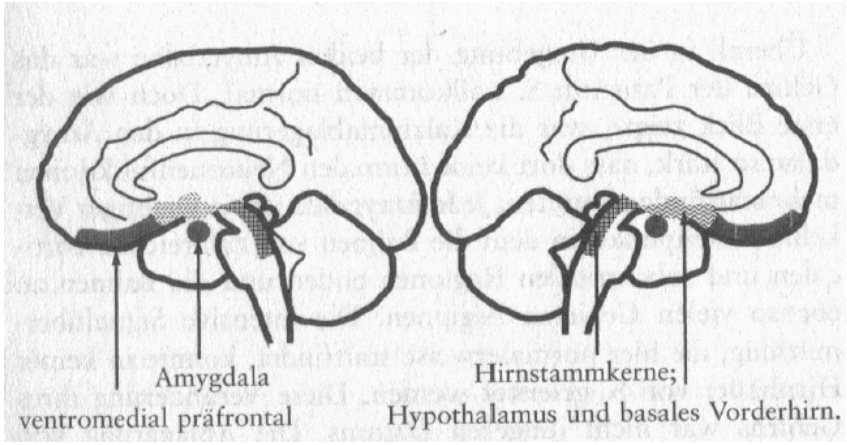
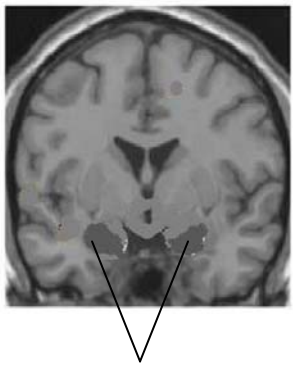
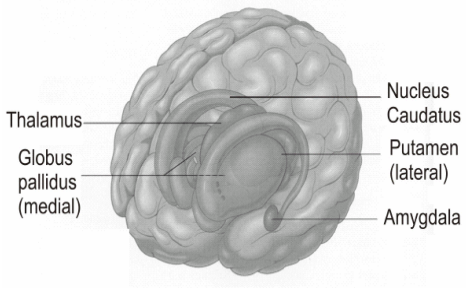


Abbildung 2.3. Lage der Amygdala





(aus: Schandry, 2003a, S. 129)

Diese Strukturen überlappen stark mit Strukturen, welche für homöostatische Regulationen im Körper zuständig sind (v.a. Hirnstammkerne, Amygdala Hypothalamus, basales

Vorderhirn). Diese Hirnregionen erhalten zugleich also fortlaufend Information und Signale aus der Körperperipherie, und bekommen somit ständig aktualisierte Informationen über den Zustand des Organismus. Einige dieser Signale werden direkt von Nervenbahnen übertragen und informieren über den Zustand der Viszera (Herz, Blutgefäße, Haut etc.) oder der Muskulatur. Andere Signale werden von der Blutbahn übertragen (z.B. Hormone, Glukose, O2, CO2, pH-Wert des Plasmas).

Damasio führt hier den bereits angesprochene Gedanken ein, dass es auch noch einen anderen Weg gibt, welcher nicht direkt den Körper mit einbezieht, was er als die „Als-ob-Körperschleife“ („as if body loop“) bezeichnet.

2.4.3. „Körperschleife“ („body loop“) und „Als-Ob-Körperschleife“ („as if body loop“)

Veränderungen, die den Körperzustand betreffen, werden nach Damasio durch zwei Mechanismen hervorgerufen. Der eine beruht auf dem was Damasio die *„Körperschleife“ („body loop“)* nennt, wobei es hier, wird eine Emotion evoziert, zu realen Veränderungen von Körperprozessen via humoraler Signale und neuronaler Signale kommt. Hierdurch verändert sich die Körperlandschaft und diese Veränderungen werden sodann in somatosensorischen Hirnregionen, vom Hirnstamm aufwärts, repräsentiert (Damasio, 2000, S. 102).
Die Veränderungen in den Repräsentationen der Körperlandschaft lassen sich nun aber nach Damasio auch noch über einen anderen Mechanismus bewältigen, den er *„Als-ob-Körperschleife“ („as if body loop“)* nennt (Damasio, 2000, S. 102). Bei diesem Mechanismus wird die Repräsentation körperbezogener Veränderungen direkt in somatosensorischen Karten des Gehirns hervorgerufen, die von anderen Hirnregionen, wie dem präfrontalen Kortex etwa kontrolliert werden. Dabei hat es den Anschein, als ob es tatsächlich zu Veränderungen im Körper gekommen wäre, was aber nicht – oder zumindest nicht auf so ausgeprägte Weise, wie innerhalb des „body loops“ – der Fall ist.

Damasio ist der Auffassung, dass Gefühle und Empfindungen in vielen Situationen den „Körperweg“ gehen, d.h. vom Gehirn zum Körper und wieder zurück zum Gehirn. Er ist aber auch davon überzeugt, dass das Gehirn lernt oder gelernt hat, das schwächere Vorstellungsbild eines emotionalen Körperzustands herauf zu beschwören, ohne dass der Körper diesen Zustand im engeren Sinne annehmen muss.
Hinzu kommt, dass die Aktivierung der Neurotransmitter-Kerne im Hirnstamm und ihre Reaktionen den Körper umgehen können, obwohl diese Kerngebiete „auf höchst merkwürdige Weise“ (Damasio, 1994, S. 214) zur Gehirnrepräsentation der Körperregulation

gehören. Sensu Damasio gibt es also neurale Mechanismen, die uns das Empfinden vermitteln, „als ob“ wir einen Gefühlszustand hätten, als ob der Körper aktiviert würde.
Derartige Mechanismen würden es uns ermöglichen, den Körper zu umgehen und einen langsamen energieaufwendigen Prozess zu vermeiden (Damasio, 1994). Diese „Als-ob-„ Mechanismen entstünden, nach Damasio, wahrscheinlich während wir uns entwickelten und uns an unsere Umwelt anpassten. Die Verknüpfung zwischen einem bestimmten Vorstellungsbild und dem Surrogat eines Körperzustands würde sich durch die wiederholte Assoziation der Vorstellungen von bestimmten Objekten oder Situationen mit den Vorstellungen von unmittelbar stattfindenden Körperzuständen vollziehen. Damasio geht davon aus, dass, damit eine bestimmte Vorstellung den „Umgehungsmechanismus“, also den „as if body loop“ auslösen kann, der Prozess zunächst auf der Körperbühne abgelaufen sein müsse – also zunächst die Schleife durch den Körper („body loop“) beschrieben haben müsse (Damasio, 1994).

Zusammenfassend werden emotionale Zustände grundsätzlich durch eine Vielzahl von Veränderungen im chemischen Profil des Körpers, durch Veränderungen im Zustand der Viszera und durch Veränderungen in der Kontraktion quergestreifter Muskulatur des Gesichts, des Rumpfes, und der Gliedmaßen charakterisiert. Emotionale Zustände werden aber auch durch Veränderungen in jenen neuronalen Strukturen, die diese Veränderungen verursachen (Emotionsinduktionsstrukturen) und weiteren Veränderungen in anderen Schaltkreisen des Gehirns (siehe unten) definiert (Damasio, 2000, S. 339).

2.4.4. Gefühle („Feelings“)

Der Prozess endet nun nicht mit den körperlichen Veränderungen, die Grundlage für das Entstehen von Gefühlen sind. Zumindest beim Menschen setzt sich der Zyklus fort.
Dem Organismus ist nun sein innerer emotionaler Zustand auf zweierlei Weise zugänglich, d.h. er kann eine Emotion fühlen: die Emotion ist zum einen als neuronales Objekt (also das Aktivierungsmuster in den Emotionsinduktionsstrukturen) sowie als Empfinden der Aktivierungskonsequenzen, als ein *Gefühl* existent.
Die neuronalen Muster, die das Substrat eines Gefühls darstellen, erwachsen nach Damasio aus zwei Klassen von biologischen Veränderungen: Zum einen aus Veränderungen, die mit dem Körperzustand zu tun haben und zum anderen aus Veränderungen, die den kognitiven Zustand betreffen. Veränderungen des Körperzustands können, wie oben erörtert, auf zwei verschiedene Weisen repräsentiert werden, zum einen über den „body loop“, und zum anderen über den „as if body loop“.

Ich möchte and dieser Stelle noch einmal genauer auf Damasios „as if body loop“ zurückkommen, denn es ist nun interessant hierzu bei Damasio genauer nachzulesen: Damasio ist durchaus davon überzeugt, dass die reguläre Empfindung, ein Gefühl, beim Registrieren von Körperveränderungen entsteht. Er räumt jedoch ein, dass es eine andere Möglichkeit gäbe, sich die Entstehung von Gefühlen vorzustellen, welche der „Als-ob-Schleife“ eine wichtige Bedeutung zuweisen. Die Empfindung würde demnach nicht unmittelbar aus den Veränderungen des Körpers erwachsen, sondern vielmehr könne die gleiche Gehirnsubstanz, welche die Körperveränderungen in Gang setzt, eine andere Hirnregion, v.a. das somatosensible System, über die Art der vom Körper veranlassten Veränderungen informieren. Damit würden Gefühle unmittelbar aus diesen Signalen innerhalb des Gehirns entstehen, *obwohl* begleitende Körperreaktionen stattfinden. Die körperlichen Veränderungen entstehen in diesem Modell parallel zu Gefühlen, verursachen diese im engeren Sinne jedoch nicht. Demnach wäre es also möglich, dass alle Gefühle über diesen Wege entstehen könnten, also nur über den „Als-ob-„Weg generiert werden, ohne dass eine direkte Rückmeldung aus dem Körper stattfinden muss.
Damasio lehnt dies allerdings ab, und sieht den „as if body loop“ primär als eine Ergänzung des „body loops“ (Damasio, 1994, S. 216). Damasio geht zum Beispiel davon aus, dass Körperzustände vom Gehirn sicher nicht algorithmisch vorhersagbar seien, sondern dass das Gehirn abwarte, was der Körper über die Ereignisse zu berichten habe. Das Gehirn könne nicht genau vorhersagen, welche Landschaften der Körper annehmen werde, nachdem es eine Fülle von neuronalen und chemischen Signalen auf ihn losgelassen hätte (Damasio, 1994). Das Gehirn scheint vielmehr eine Bestätigung zu brauchen, ob wir noch am Leben sind, bevor es sich die Mühe macht, wach und bei Bewusstsein zu bleiben (Damasio, 1994, S. 217).
Ich möchte allerdings hier anmerken, dass Damasio anhand des „as if body loops“ eine Möglichkeit aufzeigt, wie der „Körper im Kopf“ sozusagen, wichtige Umweltereignisse wichtigen Gefühlen zuordnet, die selbst, wenn keine aktuellen körperlichen „Updates“ der Körperperipherie vorhanden sind, stattfinden.

Zurück zur zweiten Klasse biologischer Veränderungen, die ein Substrat eines Gefühls bilden, zu den Veränderungen innerhalb des kognitiven Zustands. Diese finden nach Damasio statt, wenn der emotionale Prozess bewirkt, dass bestimmte chemische Stoffe in den Emotionsinduktionsstrukturen (z.B. basales Vorderhirn, Hypothalamus, Hirnstammkerne) sezerniert werden und auf andere Hirngebiete, wie z.B. Kortex, Thalamus, Basalganglien) einwirken. Diese Einwirkungen führen a) zur Auslösung bestimmter Verhaltensweisen (z.B. Bindung, Ernährung, Exploration etc.) sowie b) zu einer Veränderung der ständig stattfindenden Verarbeitung von Körperzuständen (etwa dass bestimmte

Körpersignale ausgefiltert oder zugelassen werden), und c) zu Veränderungen der kognitiven Verarbeitung, dergestalt, dass etwa die Produktionsrate und Schärfe von akustischen oder visuellen Vorstellungen verändert wird (Damasio, 2000; S. 102; 338).

Alle die bisher genannten Prozesse gewährleisten, dass Emotionen erlebt, gezeigt und vorgestellt, d.h. gefühlt werden können.
Ein Gefühl besteht somit aus einer Reihe von Veränderungen des Körperzustands, verknüpft mit bestimmten Vorstellungsbildern, die ein spezifisches Hirnsystem aktiviert haben. Die Empfindung eines Gefühls ist die Erfahrung solcher Veränderungen in Juxtaposition zu den Vorstellungsbildern, die den Zyklus in Gang gesetzt haben (Damasio, 1994). Vervollständigt wird das Substrat einer Empfindung durch Veränderungen kognitiver Prozesse, die gleichzeitig durch neurochemische Stoffe hervorgerufen werden.
Die bisherige Zusammenfassung ermöglicht die Erklärung der Auslösung von Emotionen und des Fühlens von Emotion (feelings), verrät jedoch noch nichts darüber, wie der Organismus erkennen kann, dass er ein Gefühl bewusst erlebt. Der Organismus kann nach Damasio (2000, S. 103) nur erkennen, dass er ein Gefühl hat, wenn sich an die Prozesse der Emotion und des Gefühls der Prozess des Bewusstseins („consciousness“) anschließt, so dass ein Gefühl auch (bewusst) gefühlt werden kann.
Emotionen können, so Damasio, von dem Subjekt, das sie hat, nicht erkannt werden, bevor Bewusststein vorliegt.
An dieser Stelle beschäftigt sich Damasio näher mit den Begriffen und Phänomenen des Bewussteins und des Selbst.

2.4.5. Bewusstsein: Kernbewusstsein, Proto-Selbst und Gefühle

Emotionen und Kernbewusstsein oder *„Kernselbst“ („core self“)*, wie unten erklärt werden wird, treten laut Damasio gewöhnlich zusammen auf, und er geht davon aus, dass beide teilweise auf die gleichen neuronalen Substrate angewiesen sind. Diese überlappen sich mit den neuronalen Substraten des „*Proto-Selbst*“, das von Strukturen unterstützt wird, die die inneren Zustände des Körpers sowohl regulieren als auch repräsentieren.
Ein Fehlen von Emotionen ist für Damasio ein Zeichen dafür, dass wichtige Mechanismen der Körperregulation ausgefallen sind und mit ihnen das Kernbewusstsein. Emotionen und Kernbewusstsein sind miteinander verknüpft. Patienten, deren Kernbewusstsein beeinträchtigt ist, lassen in Gesichtsausdruck, Körperhaltung und Vokalisation keine Emotionen erkennen. Außerdem ziehen Störungen des Kernbewusstseins alle geistigen Aktivitäten und den gesamten Bereich der sensorischen Modalitäten in Mitleidenschaft.

Beeinträchtigungen des „erweiterten Bewusstseins“ sind dagegen nicht von einer Unterbrechung der Emotion begleitet (Damasio, 2000, S. 125).

Nach Damasio ist das innere Milieu der Vorläufer des *Selbst*. Die Konstanz und die Regulation der homöostatischen Mechanismen ist nicht nur ein entscheidender Faktor für die Erhaltung des Lebens, sondern ist zugleich Entwurf und Ansatzpunkt für das Selbst (Damasio, 2000, S. 167).

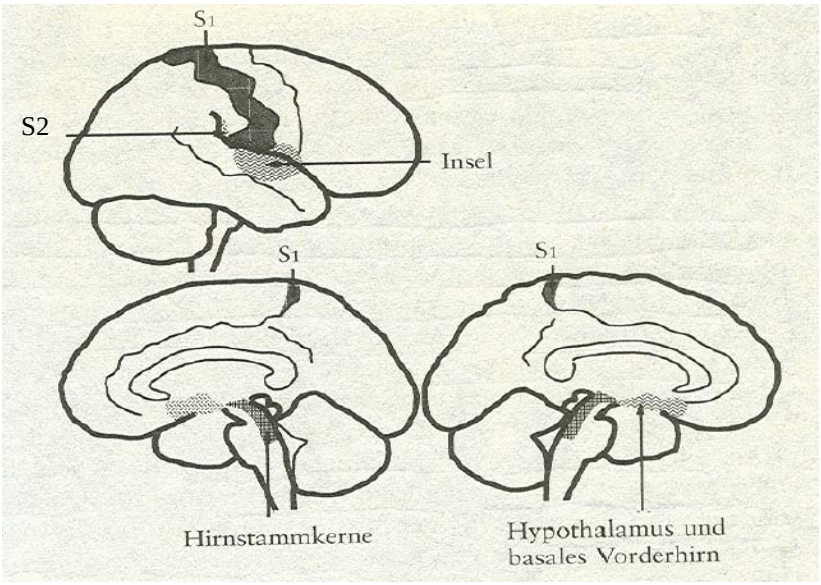
Das ***Proto-Selbst*** besteht dabei aus einer zusammenhängenden Sammlung von neuronalen Mustern, die den physischen Zustand des Organismus in seinen vielen Dimensionen fortlaufend abbilden und repräsentieren. Diese Strukturen im Gehirn haben zum einen wesentlichen Anteil daran, den Zustand des Organismus zu regulieren, wobei die Operationen, die der Einwirkung auf den Organismus und der sensorischen Erfassung seines Zustands dienen, eng miteinander verknüpft sind.

Zu den Gehirnstrukturen, welche für die Konstituierung des Proto-Selbst erforderlich sind, gehören nach Damasio verschiedene *Hirnstammkerne* (z.B. monoaminerge und cholinerge Kerne), welche Körperzustände regulieren und Körpersignale abbilden. Der Hirnstamm bildet die erste aller Hirnregionen, in der ein Kerngebiet den allgemeinen Körperzustand signalisiert, der über neuronale Übertragung von der Körperperipherie zurück zum Gehirn gesendet wird. Eine weitere wichtige Struktur ist der *Hypothalamus*, der in enger Verbindung zu den Hirnstammkernen steht sowie das basale Vorderhirn. Der Hypothalamus trägt zur aktuellen Repräsentation des Körpers bei, indem er den Zustand des inneren Milieus in einem mehrere Dimensionen umfassenden und ständig aktualisierten Register festhält (z.B. Konzentration zirkulierender Glukose, Hormone, pH-Wert etc.). Des Weiteren sind die *Insula bzw. der insuläre Kortex*, sowie der *sekundäre somatosensorische Kortex (S2)* und *mediale parietale Kortex*, welcher ebenfalls zum somatosensorischen Kortex gehört, wichtige, das Proto-Selbst konstituierende Hirnstrukturen. Damasio ist der Auffassung, dass diese zusammenspielenden Kortexregionen (v.a. in der rechten zerebralen Hemisphäre) den aktuellen Zustand des Organismus am vollständigsten auf der Ebene der Großhirnrinde repräsentieren (Damasio, 2000, S. 190). Diese das Proto-Selbst konstituierenden Strukturen bilden nach Damasio die so genannten ***„Repräsentationen erster Ordnung“*** bzw. ***„first-order neural maps“*** von aktuellen Körperzuständen. Diese „first order neural maps“ in subkortikalen und kortikalen Regionen repräsentieren somit die Veränderungen des Körperzustands, welche entweder über den „body loop“ oder den „as if body loop“ oder beiden zusammen produziert werden (Damasio, 2000, S. 282). Aus diesem Prozess können Gefühle („feelings“) entstehen.

Abbildung 2.4. auf der nächsten Seite zeigt einige wichtige Proto-Selbst-Strukturen.

Dabei ist dieses Proto-Selbst uns nicht bewusst zugänglich (Damasio, 2000, S. 1988). Wichtig ist, dass sich das Proto-Selbst nach Damasio nicht an einem bestimmten Ort manifestiert, sondern dynamisch und fortlaufend aus vielfältig interagierenden Signalen, die sich über verschiedene Bereiche des Nervensystems erstrecken entsteht. Damasio betont nochmals, dass es völlig falsch wäre, sich Selbst und Bewusstsein als einen aus phrenologischem Denken erwachsenden Homunculus vorzustellen, sondern dass solche Funktionen, welche etwa das Proto-Selbst konstituieren das Ergebnis der Interaktionen von neuronalen und chemischen Signalen zwischen verschiedenen Hirnregionen sind (Damasio, 2000, S. 188).

Abbildung 2.4. Lokalisierung einiger Proto-Selbst Strukturen („first order neural maps“) (nach Damasio, 2000, S. 189)



Hier stellt sich nun die Frage, wie es kommt, dass wir bewusst werden. Oder, wie Damasio es formuliert, wie es kommt, dass wir jemals im Akt des Erkennens das Selbst empfinden (Damasio, 2000, S. 204). Die Antwort ist nach Damasio die folgende Hypothese: das „***Kernbewusstsein“*** liegt vor, wenn die Repräsentationsmechanismen des Gehirns einen vorgestellten, nicht sprachlichen Bericht erzeugen, in dem niedergelegt ist, wie der eigene Zustand des Organismus davon beeinflusst wird, dass er ein Objekt verarbeitet, und wenn dieser Prozess die Vorstellung von dem verursachenden Objekt verstärkt, so dass es in einem räumlichen und zeitlichen Kontext hervorgehoben wird (Damasio, 2000, S., 205). Die Hypothese beschreibt zwei Teilmechanismen: nämlich die *Erzeugung des vorgestellten nichtsprachlichen Berichts über die Objekt-Organismus-Beziehung (der „Selbst-Sinn“)*, und

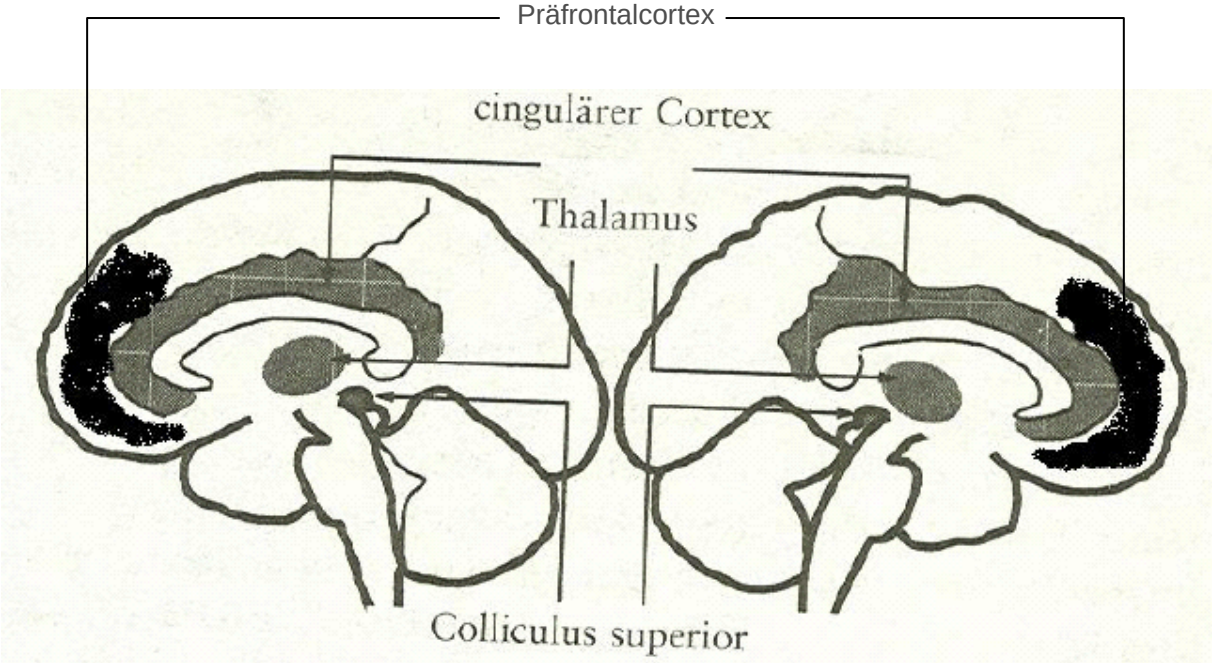
die *Verstärkung der Vorstellungen von einem Objekt*. Auf letzteres werde ich unten näher eingehen.
Was den „Selbst-Sinn“ angeht, so bedeutet dies anders ausgedrückt, dass nach Damasio, Bewusstsein von der inneren Konstruktion von neuem Wissen über eine Interaktion zwischen dem Organismus und einem Objekt abhängt.
Dieser Prozess läuft somit genauer beschrieben folgendermaßen ab: Der Organismus wird im Gehirn in „first order neural maps“ kartiert und zum anderen wird auch das Objekt in sensorischen und motorischen Strukturen (z.B. frühe sensorische Kortexgebierte wie etwa die visuellen Kortizes Area 17,18, 19), die durch die Interaktion des Organismus mit dem Objekt aktiviert werden, und Karten erster Ordnung darstellen, repräsentiert.
Alle diese neuronalen Muster können nach Damasio zu Vorstellungen werden. Unter Vorstellungen versteht Damasio im Übrigen ein „mentales Muster“ im Gegensatz zu einem „neuronalen Muster“, das die neuronale Aktivierung in spezifischen Hirnstrukturen anzeigt (Damasio, 2000, S. 381).
Dabei rufen die sensomotorischen Karten erster Ordnung, welche das Objekt betreffen, auch Veränderungen in den „first order neural maps“ hervor, welche den Organismus betreffen (das ist das Proto-Selbst, welches ja den Zustand des inneren Milieus, der Viszera, auch des Bewegungsapparats repräsentiert). Diese Veränderungen wiederum lassen sich in anderen Karten, so genannten ***„Karten zweiter Ordnung“ („second order maps“)*** repräsentieren, die dann die dynamische Beziehung zwischen Objekt und Organismus herstellen und repräsentieren (Damasio, 2000, S. 205).

Das bedeutet somit also, dass zum einen das Objekt in sensomotorischen Karten erster Ordnung sowie das Proto-Selbst, das den Körperzustand in Karten erster Ordnung repräsentiert, separat im Gehirn repräsentiert werden, und dass in Karten zweiter Ordnung sowohl das Proto-Selbst als auch das Objekt in ihrer Beziehung zueinander nochmals re-repräsentiert werden. Dies sorgt dafür, dass der Organismus überhaupt erkennen kann, was ihm tatsächlich widerfährt (siehe Damasio, 2000, S. 215).
Hirnstrukturen, welche diese Funktionen als „Karten zweiter Ordnung“ übernehmen können, stellen nach Damasio (2000, S. 219) die gesamte Region des *cingulären Kortex*, der *Thalamus*, die *Colliculi superiores* im Tectum, sowie einige *präfrontale Rindenareale* dar.
Abbildung 2.5. auf der nächsten Seite demonstriert die Lokalisation von den wichtigsten Hirnstrukturen für „Karten zweiter Ordnung.

Wie in den nächsten Kapiteln dieser Arbeit noch ausführlicher erörtert wird, stellt gerade der cinguläre Kortex eine ausgesprochen somatosensorische Struktur dar, der Inputs aus allen Bereichen des somatosensorischen Systems erhält, wie etwa Signale aus dem internen

Milieu und den Viszera, aber auch wichtige Signale aus dem Bewegungsapparat. Der cinguläre Kortex ist zudem aber auch eine motorische Struktur, die direkt und indirekt an der Ausführung einer Vielzahl von komplexen Bewegungen beteiligt ist, etwa Bewegungen des Stimmapparats und der Gliedmaßen sowie auch der Viszera (Damasio, 2000, S. 314). Das Cingulum ist des Weiteren ganz offensichtlich auch an Aufmerksamkeitsprozessen, an emotionalen Prozessen, autonom-nervöser Kontrolle und am Bewusststein beteiligt.

Abbildung 2.5. Lokalisierung von Strukturen für „Karten zweiter Ordnung“, welche das Kernselbst konstituieren (nach Damasio, 2000, S. 219)



Damasio (2000, S. 317) geht davon aus, dass der cinguläre Kortex eine besonders wesentliche Struktur zweiter Ordnung darstelle, da er durch seine intensiven somatosensorischen Inputs die integrierteste Abbildung des gesamten Körperzustands eines Organismus zu einem gegebenen Zeitpunkt entstehen lasse. Insbesondere auch da der cinguläre Kortex Signale aus den wichtigsten sensorischen Kanälen empfange, könne diese Region auch dazu beitragen, dass ein neuronales Muster erzeugt wird, in dem die Beziehung zwischen dem Erscheinungsbild eines Objekts und den Modifikationen, die im Körper hervorgerufen werden, in die entsprechende Kausalsequenz abgebildet werden. Damasio geht sogar davon aus, das der cinguläre Kortex den entscheidenden Beitrag zum „Gefühl des Erkennens“ leiste, also dem was das Kernbewusststein definiere (Damasio, 2000, S. 318).

Diese neuronalen Muster, die in Karten zweiter Ordnung abgelegt werden, können nunmehr ebenso zu Vorstellungen werden. Das bedeutet also, dass sich der „Bericht“ über die kausale Beziehung zwischen Objekt und Organismus in Karten zweiter Ordnung einfangen lässt. Dabei wird diese Beziehung in den Karten zweiter Ordnung, also im ***Kernselbst*** konstituiert (Damasio, 2000, S. 211).
Das Kernselbst ist uns im Gegensatz zum Proto-Selbst bewusst. Der Vorstellungsbericht, der im Kernselbst präsent wird, gibt also eine Antwort auf die Frage, welche Beziehung zwischen den Repräsentationen von Dingen und diesem Körper vorhanden ist (Damasio, 2000, S. 235).
Für das Proto-Selbst als auch für das Kernselbst gilt gleichermaßen, dass beide von Augenblick zu Augenblick rekonstruiert werden; das nicht bewusste Proto-Selbst durch die immer neu stattfindenden „Updates“ über den Zustand aus der Körperperipherie und das bewusste Kernselbst durch die immer wieder neu geknüpften Beziehungen zwischen Veränderungen des Proto-Selbst und eines Objekts (Damasio, 2000, S. 210).

Die Vorstellungen, welche nun diese Beziehung zwischen Objekt und Organismus beschreiben, stellen die Grundlage für das Gefühl des Erkennens dar, wobei die Organismuskarten als auch die Karten zweiter Ordnung *körperbezogen* sind (Damasio, 2000, S. 206).

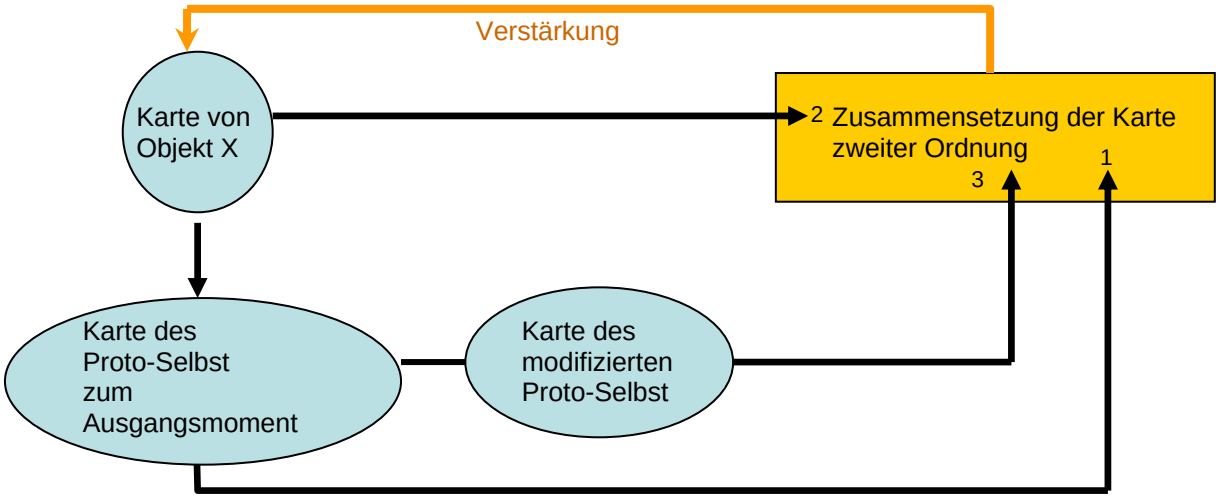
An dieser Stelle, möchte ich auf den *zweiten Teilmechanismus* von Damasios Hypothese zum Kernbewusstsein zurück zu kommen: nämlich die Verstärkung der Vorstellungen von einem Objekt. Der oben beschriebene vorgestellte nichtsprachliche Bericht über die Beziehung zwischen einem Objekt und Organismus hat nach Damasio zwei Konsequenzen: Erstens das *Fühlen* unseres Selbst-Sinns sowie zweitens die Verstärkung der Vorstellung von dem verursachenden Objekt. Dieser zweite Prozess sorgt nun dafür, dass die Aufmerksamkeit von einem Objekt angezogen wird, was dazu führt, dass die Vorstellungen von diesem Objekt besonders hervorgehoben werden. Das bedeutet also, dass dieses spezifische Objekt gegenüber anderen Objekten abgesetzt bzw. ausgewählt wird.

Aus diesen sowie obigen Ausführungen wird deutlich, dass die oben genannten Hirnstrukturen zweiter Ordnung (z.B. Cingulum, Thalamus, präfrontaler Kortex) um ihre Funktion, nämlich die Erzeugung eines nichtsprachlichen Vorstellungsberichts von der Beziehung zwischen Organismus und Objekt zu erfüllen, konsequenterweise eine Reihe von Voraussetzungen erfüllen müssen: Unter anderem müssen sie zum einen Signale von Hirnregionen empfangen können, welche an der Repräsentation des Proto-Selbst beteiligt (z.B. Hirnstamm, Hypothalamus, Insula, sekundärer somatosensorischer Kortex) sind, als

auch von Gebieten, welche ein Objekt repräsentieren können. Zudem müssen diese Strukturen zweiter Ordnung auch diejenigen Strukturen, die das Objekt verarbeiten (am Beispiel eines visuellen Objekts etwa: die visuellen Kortizes), direkt oder indirekt mit Rückmeldungen versorgen können, so dass die Vorstellung von dem Objekt verstärkt werden kann.

Dieser Prozess, von der Entstehung der Vorstellung von einem Objekt, welches den Zustand des Proto-Selbst verändert, bis zur Re-Repräsentation beider und deren Beziehung zueinander in Strukturen zweiter Ordnung, dem, was das Kernbewusstsein ausmacht, zeigt Abbildung 2.6. schematisch:

Abbildung 2.6. Komponenten des Musters zweiter Ordnung (adaptiert nach Damasio, 2000, S. 216)

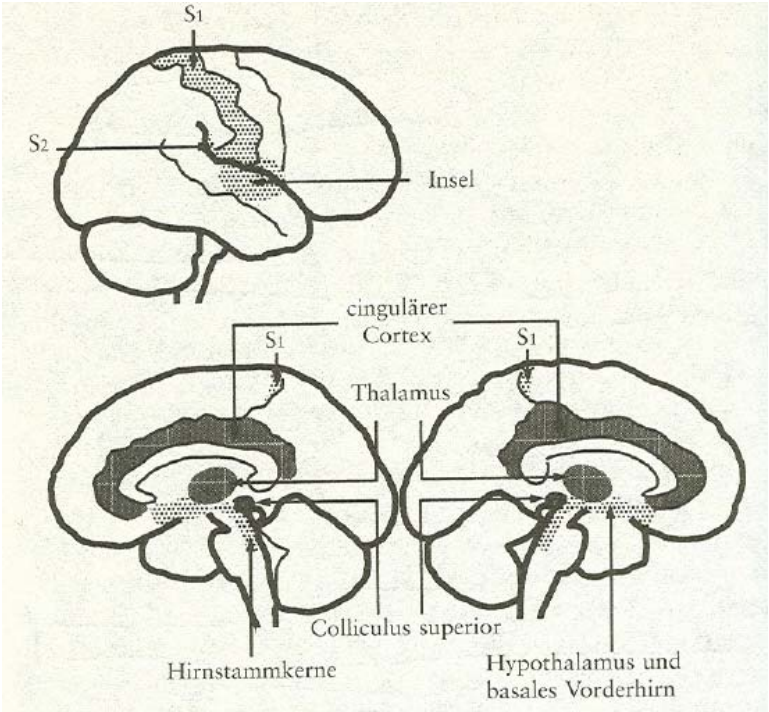


Dieser zweite Mechanismus, nämlich die Verstärkung der Vorstellung von einem Objekt, ist nach Damasio somit das zweite Resultat des Kernbewusstseins. Es bringt nicht nur ein intensiveres Wachsein, sondern auch eine stärkere Fokussierung auf das verursachende Objekt mit sich, indem die Karten erster Ordnung, in denen das Objekt repräsentiert wird, verstärkt werden. Nach Damasio lautet die implizite Botschaft: „Die Aufmerksamkeit muss auf das Objekt X gerichtet werden“ (nach Damasio, 2000, S. 221).

Ganz explizit bedeutet dies somit, dass das Interesse des Organismus für ein Objekt seine Fähigkeit verstärkt, dieses Objekt sensorisch zu verarbeiten, und erhöht auch die Chance, dass er von anderen Objekten angesprochen wird, so dass der Organismus auf weitere Begegnungen und detailliertere Interaktionen vorbereitet wird. Das Ergebnis ist nach Damasio größere Wachheit, schärfere Aufmerksamkeit und bessere Vorstellungsverarbeitung (Damasio, 2000, S. 221).

Abbildung 2.7. zeigt noch einmal zusammengefasst die wichtigsten Hirnstrukturen, welche Proto-Selbst (Karten erster Ordnung) und Kernselbst (Karten zweiter Ordnung) repräsentieren.

Abbildung 2.7. Wichtige Strukturen von Proto-Selbst und Karten zweiter Ordnung (Damasio, 2000, S. 234)



All diese, für Proto-Selbst und Kernselbst wesentlichen Strukturen zeigen eine Überlappung von biologischen Funktionen. Alle diese Strukturen sind auf die eine oder andere Weise mit der Regulation von Homöostase, dem Feedback aus der Körperperipherie bzw. über den Zustand des Körpers, an Prozessen der Emotion und des Gefühls, sowie an Aufmerksamkeitsprozessen, sowie den Prozessen des Wachseins und Schlafens als auch am Lernprozess beteiligt (Damasio, 2000, S. 327).

Damasio beschreibt, neben den hier besonders relevanten Mechanismen des Kernbewussteins und des Proto-Selbst auch noch eine weitere wichtige Art des Selbst, nämlich das ***autobiographische Selbst***. Während das Proto-Selbst, das den gegenwärtigen Zustand des Organismus repräsentiert, sowie das Kernselbst, welches zu Stande kommt, wenn ein Objekt das Proto-Selbst modifiziert, und die Vorstellung über das verursachende Objekt und die Veränderungen des Körperzustands zusammenführt, beide immer neu konstruiert werden, beruht das autobiographische Selbst auf permanenten, dispositionalen Aufzeichnungen von Kernselbst-Erfahrungen, wobei diese Erfahrungen durch weitere

Erfahrungen abgeändert werden können. Es beruht auf dem autobiographischen Gedächtnis und ist aber auf das Vorhandensein eines Kernselbst angewiesen, damit es schrittweise entwickelt werden kann (Damasio, 2000, S. 211-212). Damasio geht davon aus, dass es in frühen Phasen unserer Existenz, also in unserer frühen Kindheit, kaum mehr als wiederholte Zustände des Kernselbst gebe. Mit zunehmender Erfahrung weite sich das autobiographische Gedächtnis aus, und das autobiographische Selbst könne sich entfalten (Damasio, 2000, S. 213).

Nach Damasios Auffassung werde Bewusstsein pulsartig erzeugt; jedes Objekt, sei es erinnert oder extern, löse dabei einen solchen Puls aus. Die Kontinuität des Bewussteins beruhe auf der stetigen Hervorbringung von Bewusstseinspulsen, welche der endlosen Verarbeitung von unzähligen Objekten entsprechen. Die unmittelbare oder erinnerte Interaktion mit diesen Objekten modifiziere das Proto-Selbst, und der Fluss an nichtsprachlichen Berichten des Kernbewusstseins sorgen für die Kontinuität des Bewusstseins (Damasio, 2000, S. 214). Das erweiterte Bewusstsein reiche dagegen über das Hier und Jetzt des Kernbewusstseins hinaus, und kann das gesamte Leben eines Individuums umfassen. Damasio beschreibt das erweiterte Bewusstsein als alles das, was das Kernbewusstsein auch ist, nur dazu fähig, mit der Lebenserfahrung jedes Individuums zu wachsen. Der Autor malt ein verständliches Bild davon, indem er beschreibt, dass das Kernbewusstsein uns einen kurzen Augenblick lang die Erkenntnis schenkt, dass wir es sind, die einen Vogel fliegen sehen oder einen Schmerz empfinden, während das erweiterte Bewusstsein diese gleichen Erfahrungen in einen größeren zeitlichen Zusammenhang stellt. Das Selbst, das diese weite Einbettung der Ereignisse ermöglicht, ist das autobiographische Selbst (Damasio, 2000, S. 237). Das erweiterte Bewusstsein lässt sich nach Damasio anhand der Untersuchung von Wiedererkennen, Abruf aus dem Gedächtnis, Arbeitsgedächtnis, Emotion und Gefühl sowie Denken und Entscheidungsfindung über längere Zeiträume bei einem Individuum bewerten. Relevante Hirnstrukturen für das erweiterte Bewusstsein stellen insbesondere präfrontale Kortexfelder sowie temporale Kortizes, die der Aktivierung des autobiographischen Selbst zu Grunde liegen.

Gefühle fühlen

Wie in obigen Erläuterungen klar geworden sein dürfte, können wir erst wissen, dass wir eine Emotion fühlen, wenn wir spüren, dass diese Emotion in unserem Körper gespürt wird. Letzteres ist möglich, da das Proto-Selbst und seine Veränderungen – ausgelöst durch ein Objekt – in Strukturen zweiter Ordnung repräsentiert werden.

Eine Emotion zu fühlen sei nunmehr eine relativ einfache Angelegenheit. Dies geschehe dadurch, dass die neuronalen Muster, welche Veränderungen in Körper und Gehirn

repräsentieren und gleichzeitig eine Emotion konstituieren zu Vorstellungen werden (Damasio, 2000, S. 336).

Zu erkennen, dass wir ein Gefühl haben, also das Gefühl zu fühlen, gelingt nach Damasio erst, nachdem Repräsentationen zweiter Ordnung vorhanden sind, welche für das Kernbewusststein erforderlich sind. Dabei handelt es sich ja bekanntlich um Repräsentationen der Beziehung zwischen dem Organismus und dem Objekt und der ursächlichen Auswirkung dieses Objekts auf den Organismus. Eine Emotion kann nun wie ein Objekt gespürt werden, weil die Aktivitätsmuster in den Emotionsinduktionsstrukturen (v.a. Hirnstammkerne, Hypothalamus, basales Vorderhirn, Amygdala, ventromedialer und präfrontaler Kortex) wiederum in Strukturen repräsentiert werden, die für Repräsentationen zweiter Ordnung zuständig sind (v.a. Thalamus, cingulärer Kortex) (Damasio, 2000, S. 335).

Dies bedeutet somit also, dass zum einen das Proto-Selbst auf einer Ebene zweiter Ordnung repräsentiert wird, sowie die Emotion, welche als „Objekt“ das Proto-Selbst verändern wird (entspricht dem neuronalen Muster in Emotionsinduktionsstrukturen) ebenso auf einer Ebene zweiter Ordnung repräsentiert wird, und die entsprechenden Veränderungen im Proto-Selbst (ausgelöst über „body loop“ und/oder „as if body loop“) zusätzlich auch auf einer Ebene zweiter Ordnung repräsentiert werden.

Ist nach Damasio (2000, S. 339) eine Emotion also eine spezifisch verursachte, vorübergehende Veränderung im Zustand des Organismus, so sei ein Gefühl eine Repräsentation der vorübergehenden Veränderungen im Zustand des Organismus (also der Emotion) in Form neuronaler Muster und daraus folgender Vorstellungen. Werden diese Vorstellungen dann vom „Selbst-Sinn“ erkannt und verstärkt, so gelangen sie ins Bewusstsein, und so entstehen bewusst gefühlte Gefühle (Damasio, 2000, S. 339).

Neben der Funktion von Emotionen, sei dieses bewusste Fühlen von Gefühlen nach Damasio von zusätzlichem und außerordentlichem Wert für den Organismus, indem sie Ausgangspunkt für das Gefühl des Erkennens, dass wir Gefühle haben darstellen. Dieses Erkennen sei der Ausgangspunkt für das Planen spezifischer und nicht stereotyper Reaktionen, die über eine Emotion hinausgehen und damit neue spezifische Anpassungsreaktionen fördert. Das Bewusstwerden über unsere Gefühle, ermöglicht eine Flexibilität der Reaktionsfähigkeit, die auf der besonderen Geschichte unserer Interaktionen mit der Umwelt beruht (Damasio, 1994, S. 186).

Machen wir uns die Mühe und blicken auf den Ausgangspunkt von Damasios Modell zurück, sowie auf die bislang hier beschriebenen Mechanismen, die den gesamten Weg von der Emotion zum Gefühl, und zum bewussten Fühlen des Gefühls beschreiben. Es lassen sich die hier abgehandelten Prozesse in 5 Schritten zusammenfassend beschreiben:

Ein 1.) Objekt bzw. Stimulus, der z.B. visuell verarbeitet wird, aktiviert 2.) Emotionsinduktionsareale im Gehirn, welche 3.) eine Anzahl an Reaktionen in der Körperperipherie und in anderen Gehirnarealen (über den „body –„ oder „as if body loop“) hervorrufen (das gesamte Spektrum an diesen Reaktionen konstituieren das was Damasio einen „emotionalen Zustand“ nennt), wobei diese Veränderungen 4) in Karten erster Ordnung repräsentiert werden, unabhängig davon ob sie über den „ body loop“ oder den „as if body loop“ oder beiden hervorgerufen wurden (Gefühle entstehen). Zuletzt wird 5.) das Muster neuronaler Aktivität aus den emotionsauslösenden Hirngebieten in neuronalen Strukturen zweiter Ordnung abgebildet. Dadurch wird auch das Proto-Selbst verändert und diese Veränderungen werden wiederum in neuronalen Strukturen zweiter Ordnung abgebildet, so dass ein Bericht zu Stande kommt über die Beziehung zwischen dem „Emotions-Objekt“ (das ist die Aktivität in den emotionsauslösenden Hirngebieten) und dem Proto-Selbst (den Repräsentationen der Veränderungen des Organismus); Gefühle können bewusst gefühlt werden.

Damasio betont in seinen Abhandlungen prinzipiell die unausweichliche und bemerkenswerte Körperbezogenheit aller drei Phänomene: Emotion, Gefühl und Bewusststein (Damasio, 2000, S. 341). Beginnend mit dem Ausgangszustand des Organismus, welcher sowohl Gehirn als auch Körperperipherie ist, über die Repräsentationen des Körpers im Gehirn und deren Veränderungen ausgelöst durch Objekte und Emotionen, bis zur integrierten Repräsentation des Organismus in einem Proto-Selbst und der repräsentierten Beziehung zwischen Organismus und seiner Interaktionen mit der umgebenden Umwelt, ist das, was Bewusststein ermöglicht, bei Damasio eine tiefe körperliche Erfahrung. Emotionen, Gefühl und Bewusstsein sind alle auf Repräsentationen des Organismus angewiesen; ihr gemeinsames Wesen ist der Körper (Damasio, 2000, S. 341).

2.4.6. Somatische Marker: Entscheiden, Denken und Verhalten

Die Somatic Marker Hypothese bzw. das Emotionsmodell entwickelte Damasio als Reaktion auf die Beobachtung zahlreicher neurologischer Patienten, welche Läsionen des Gehirns, v.a. des Präfrontalkortex aufwiesen.
Besonders Regionen des Präfrontalkortex (v.a. ventromedialer Präfrontalkortex) sind für Denken, Planen und soziale und persönliche Entscheidungsprozesse besonders relevant. Patienten mit umschriebenen Läsionen des ventromedialen Präfrontalkortex zeigen neben den typischen Beeinträchtigungen in Planungs- und Entscheidungsprozessen im Alltag zudem eine Beeinträchtigung in der Fähigkeit, Emotionen auszudrücken und Gefühle zu

empfinden. Wie oben ausführlich dargestellt wurde, geht Damasio (z.B. 1996) davon aus, dass „somatic markers“, welche in bioregulatorischen Prozessen entstehen – sei es dass sie direkt über den Körper (body loop) oder indirekt über die Repräsentation des Körpers im Gehirn (as if body loop) erzeugt werden - die Reaktionsprozesse auf spezifische Reize bewusst oder unbewusst beeinflussen. Damasio (2000, 1996) betont zudem, dass besonders der ventromediale Präfrontalkortex eine Verbindung herstellt, eine Art Erinnerung, zwischen einem Abbild eines bestimmten Situations- oder Verhaltensaspekts und dessen Verknüpfung mit einer bestimmten Emotion und einem bioregulatorischen Zustand, die in der Vergangenheit mit dieser Situation oder diesem Verhalten gekoppelt waren. Diese Hirnstruktur stelle diese Verbindung her über das ihr eigene Potential, Emotionen zu reaktivieren indem sie die dazu relevanten subkortikalen und kortikalen Hirnstrukturen (Emotionsinduktionsstrukutren) aktiviert (Damasio, 1994; Damasio & Damasio, 1994; Damasio, 1996).

Der ventromediale Präfrontalkortex sei deshalb auch besonders gut geeignet für eine derartige integrierende „Hauptrolle“, da er Projektionen von fast allen sensorischen Modalitäten erhalte, sowie Projektionen zu wichtigen autonomen Kontrollzentren im Gehirn sendet, welche die viszerale Regulation steuern. Zudem besitze dieser Teil des Präfrontalkortex bidirektionale Verbindungen zu Hippocampus und Amygdala (z.B. Damasio, 1996).

Nach Damasio ist auch davon auszugehen, dass emotionsbezogene, somatosensorische Muster Aufmerksamkeitsprozesse sowie Prozesse des Arbeitsgedächtnisses verstärken (Damasio, 1996).

Zusammenfassend besagt die „Somatic Marker Theorie“ mit dem Fokus auf Urteils- und Entscheidungsprozesse also, dass die durch Lernen und Erfahrung ausgebildeten Assoziationen zwischen komplexen Situationen und „somatischen Markern“, welche im ventromedialen Präfrontalkortex repräsentiert werden, in späteren Situationen wieder reaktiviert werden können. Diese Reaktivierung kann dabei über den „body loop“ oder den „as if body loop“ stattfinden sowie verdeckt (ohne bewusste Erfahrung von Gefühlen) oder bewusst (mit der bewussten Erfahrung von Gefühlen) ablaufen (Bechara et al., 2000; Bechara et al., 2005).

Aus den Aussagen der Theorie lässt sich somit ableiten, dass auch logisches Denken durch somatische Marker beeinflusst wird (z.B. Damasio, 2000, Damasio, 1996). Dabei spiele der ventromediale Präfrontalkortex, aufgrund seiner „Erinnerungsfähigkeit“ der Verknüpfungen zwischen bestimmten Situationen und bestimmten emotionalen Zuständen und deren Bewertung als positiv und negativ für den Organismus, eine entscheidende Rolle. Das heißt, somatische Marker beeinflussen auch die Auswahl oder Abweisung von bestimmten

Situations-Emotions-Alternativen, und zwar so dass „… *somatic markers normally help constrain the decision-making space by making that space manageable for logic-based, cost-benefit analyses* (Damasio, 1996, S. 1415).

Besonders in Situationen, in denen der zukünftige Ausgang der Situation unklar oder uneindeutig ist, und Entscheidungsprozesse damit von den vorhergegangenen individuellen Erfahrungen abhängig sind, erlauben diese genannten Vorgänge, welche durch somatische Marker beeinflusst sind, eine effiziente und schnelle Entscheidungsfindung. Ohne die Anwesenheit von somatischen Markern werden die verschiedenen Entscheidungsoptionen sozusagen gleichermaßen verstärkt und es fehlt eine frühzeitige, und effiziente, spezifische Verstärkung von ausschlaggebenden Entscheidungsalternativen, so dass nur rein logische Operationen angesichts sehr vieler, gleichwertiger Entscheidungsoptionen möglich bleiben (z.B. Damasio, 1996). Genau dieses Muster eines langsamen und irrtumbehafteten Entscheidungsverhaltens findet sich nach Damasio u.a. bei Patienten mit Schädigungen des ventromedialen Präfrontalkortex. Dabei ist es wichtig anzumerken, dass diese Beeinflussung von Denk- und Entscheidungsprozessen, welche ja über somatische Marker geschieht, bewusst, aber auch unbewusst, also ohne dass wir ein Gefühl bewusst empfinden würden, stattfinden kann.

Damasio fomuliert diese „verdeckte“ („covert“) Beeinflussung auf treffende Weise folgendermaßen: *„While the hidden machinery underneath has been activated, we may never know it*” (Damasio, 1996, S. 1416).

Eine weitere “verdeckte” Beeinflussung auf das Denken und Entscheidungsverhalten stellen, wie in obigen Abschnitten erörtert wurde, auch diejenigen biologischen Veränderungen dar, welche zu Veränderungen direkt innerhalb des kognitive Zustands führen – wenn Neurotransmitter in den Emotionsinduktionsstrukturen sezerniert werden und an Kortex, Thalamus, und andere Hirngebiete einwirken (Damasio, 2000, S. 102, 338; Damasio, 1996) und somit kognitive Prozesse und Entscheidungen beeinflussen (Damasio, 2000, S. 102, 338; Damasio, 1996).

Die Forschergruppe um Antonio Damasio arbeitet seit einigen Jahren an Experimenten zur Prüfung der „Somatic Marker Hypothese“ und es liegen einige sehr spannende Untersuchungsergebnisse vor, welche sehr eindrücklich die Bedeutung von somatischen Markern für alltagsrelevantes Verhalten aufzeigen.

Einige Experimente stützen die zuvor formulierten Ausführungen, und demonstrieren, dass Patienten mit Läsionen des ventromedialen Präfrontalkortex, welche beeinträchtigte Entscheidungsprozesse aufweisen, in der Tat die normalerweise vorhandene Fähigkeit zur Generierung von somatischen Markern in Reaktion auf emotionale Bildreize hin fehlt. Damasio und Mitarbeiter (Damasio et al., 1990; Damasio et al., 1991; Tranel, 1994; Tranel et

al., 1995) untersuchten dabei die autonome Reaktivität anhand der elektrodermalen Aktivität (SCRs). Patienten mit ventromedialen Schädigungen produzierten keine adäquaten Hautleitfähigkeitsreaktionen auf hoch erregende emotionale Bilder. Die Patienten unterschieden sich aber nicht von gesunden Personen in ihrer grundlegenden Funktionsweise der autonom-nervösen Reaktivität (z.B. laute auditorische Schreckreize, tiefes Ein- und Ausatmen).

Ein Ansatz, der von den Wissenschaftlern mit Nachdruck verfolgt wird, um die Theorie zu überprüfen, zielt auf die Untersuchung von komplexen, aber nicht-bewussten Entscheidungsprozessen ab. Die Experimente zeigen, dass zahlreiche Entscheidungen, die am Ende durch Rückgriff auf einschlägige Kenntnis und Logik getroffen werden, durch nicht bewusste Einflüsse gebahnt werden können, bevor Wissen und Logik zum Tragen kommen. Außerdem zeigen diese Versuche, dass Emotionen eine wichtige Rolle für die nicht bewussten Signale spielen (Damasio, 1999, 2000).

Für diese Entscheidungsexperimente wurde ein Kartenspiel-Verfahren, die so genannte „Iowa Gambling Task“ (z.B. Bechara et al., 1994; Bechara et al., 2005) entwickelt und benutzt. Die Task wurde erdacht, um eine möglichst realistische Situation herzustellen, in der Personen graduell lernen, wie das Kartenspiel mit dem Ziel des höchsten Gewinns funktioniert (siehe Damasio, 1996). Die „Gambling Task“ ähnelt ein wenig dem „Wisconsin Card Sorting Test“, welcher ja auch kognitive Frontalhirndysfunktionen anzuzeigen in der Lage ist, nicht jedoch die spezifischen Risikokalkulationen, sowie das „verdeckte“ Abwägen von schädlichen und positiven Handlungskonsequenzen erfassen kann.

Die „Gambling Task“ (siehe Damasio, 1996) besteht darin, dass die entsprechenden Personen vier Kartenstapel vor sich liegen haben. Alle erhalten zu Beginn 2000 $ Spielgeld. Es wird ihnen mitgeteilt, dass sie während des Spiels Karten aus den vier Stapeln wählen dürfen, bis ihnen mitgeteilt wird, dass sie stoppen sollen. Zudem erhalten sie die Information, dass das Ziel des Spiels die Maximierung des finanziellen Profits sei und dass sie so oft sie wollen den Kartenstapel wechseln dürften. Allerdings wird ihnen nicht gesagt, wie viele Karten ausgewählt werden müssen. Wenn der Proband 100 Karten ausgewählt hat, wird die Aufgabe beendet. Für jede Karte erhält der Proband eine gewisse Summe Geld, wobei die Geldmenge davon abhängt, von welchem Stapel die Karte stammt: Stapel A oder B erbringt 100 $, Stapel C oder D 50 $. Wenn der Proband allerdings eine bestimmte Anzahl Karten von einem Stapel gezogen hat, erhält er sowohl das entsprechende Geld sowie zusätzlich eine Geldstrafe, die er bezahlen muss. Er bekommt dann nur den Betrag mitgeteilt, den er noch erhält. Die Stapel, welche hohe Belohnungen erbringen, bringen aber auch eine hohe Geldstrafe mit sich und umgekehrt. Zudem variieren die Kartenstapel in der Häufigkeit, in der die Geldstrafen stattfinden. Das bedeutet somit, dass einige Kartenstapel eher „gute“, also profitable und andere eher „schlechte“, also riskante Konsequenzen mit sich bringen. Das

Wissen, welche Stapel „gut“ oder „schlecht“ sind, müssen sich die Spieler allmählich im Laufe des Spiels erwerben, während sie Karte um Karte von verschiedenen Stapeln nehmen. Die Quelle der Erkenntnis ist der Umstand, dass die Wahl bestimmter Karten von bestimmten Stapeln zu finanziellen Belohnungen oder Bestrafungen führt.

Damasio und Mitarbeiter haben Untersuchungen sowohl an gesunden als auch an Patienten mit Läsionen des ventromedialen Päfrontalkortex durchgeführt (siehe Damasio, 2000; Bechara, 2004; Bechara et al., 1996; 1997; 1999; North & O´Carroll, 2001). Interessant ist die Tatsache, dass wenn gesunde Spieler in dem Kartenspiel beginnen, die „guten“ Stapel zu wählen, haben sie noch kein bewusstes Erkennen der Situation und warum sie dies tun. Zu diesem Zeitpunkt werden im Gehirn der Probanden aber bereits systematisch autonom-nervöse Reaktionen (Hautleitfähigkeitsreaktionen; SCRs) produziert, und dies bevor die Pobanden eine Karte von dem „schlechten“ Kartenstapel wählen. Keine Hautleitfähigkeitsreaktionen treten vor der Wahl einer Karte aus dem „guten“ Stapel auf (Bechara et al., 1996; 1997; 1999; Damasio, 2000, Damasio, 1996). Damasio schließt daraus, dass es eine den Probanden nicht bewusste Tendenz gibt, welche die „guten“ und „schlechten“ Kartenstapel erkennt. Dies geschehe dadurch, dass die neuronalen Muster über frühere Erfahrungen mit angenehmen und unangenehmen Situationen und körperlichen Zuständen mit der aktuellen Situation verknüpft werden (Damasio, 2000). Somatische Marker werden dann entsprechend generiert und im Gehirn prozessiert, so dass dies das Verhalten beeinflusst, noch bevor es einem Probanden bereits bewusst ist, weshalb er eine Entscheidungsalternative präferiert und eine andere vermeidet.
Wie aktuelle Studien gezeigt haben (Bechara et al., 1996, 1997, 1999), haben Patienten mit Läsionen des ventromedialen Präfrontalkortex und Patienten mit Läsionen der Amygdala dagegen dieses „verborgene“ Präferenzsystem und damit auch die antizipatorische Generierung und Verarbeitung von somatischen Markern verloren, wodurch ihre Entscheidungsprozesse beeinträchtigt werden (Damasio, 2000). Patienten mit Schädigungen des ventromedialen Präfrontalkortex zeigten in den Untersuchungen keine antizipatorischen SCRs und entschieden sich im Kartenspiel uneffektiv, indem sie zu den finanziell riskanten Entscheidungsalternativen tendierten.
Das gleiche Entscheidungsproblem wurde zudem auch bei Patienten mit autonomer Neuropathie nachgewiesen, einer Patientengruppe, welche unter einer Beeinträchtigung bei der efferenten und afferenten Übertragung autonom-nervöser Signale leidet (North & O´Carroll, 2001).
Eine ausführlichere Zusammenfassung der Befunde der Arbeitsgruppe um Damasio und Ergebnisse, welche zeigen, dass somatische Marker einen wesentlichen Beitrag zur Verhaltenssteuerung liefern, werde ich in Kapitel 4.4.2. erörtern.

Zusammengefasst beinhaltet die „somatic marker Hypothese“ ganz konkret, dass automatisch generierte, körperliche Arousal-Reaktionen zum Gehirn zurückgemeldet werden, dort wie oben gezeigt verarbeitet werden, wobei konkret davon ausgegangen wird, dass ein nicht-vorhandenes körperliches Arousal zu Defiziten in der Verhaltenssteuerung führt (Damasio et al., 1991; Damasio, 1994; Bechara et al., 1996, 1997, 1999, Bechara, Damasio & Damasio, 2003; Tranel, 2000) und die Emotionsverarbeitung beeinträchtigt (Damasio, 1994; Blair & Cipolotti, 2000).

Zuletzt möchte ich nicht versäumen, darauf hinzuweisen, dass die Untersuchungen der Forschergruppe um Damasio zur Somatic Marker Hypothese anhand der „Iowa Gambling Task“ aktuell zunehmend kritisiert werden (z.B. Dunn et al., 2006). Hauptkritikpunkte bilden dabei ausdrücklich nicht die Relevanz körperlicher Feedbackprozesse sowie die beteiligten zentralnervösen Prozesse und Strukturen, sondern die Art der Testung anhand der Iowa Task. Diesem Test werden eine Reihe von Mängeln vorgeworfen, welche sich unter anderem um die Möglichkeit drehen, dass die Strategie des Tests auch rein „logisch“ ohne Beteiligung somatischer Marker gelöst werden könnte (Maia & McClelland, 2004; Bowman et al., 2005). Des Weiteren wird die Problematik der Interpretation des zeitlichen Ablaufs psychophysiologischer Reaktionen bei Durchführung des Tests kritisch diskutiert (Crone et al., 2004; Dunn et al., 2006). Einen ausführlichen und interessanten Überblick zu dieser Thematik bietet der Artikel vom Dunn et al. (2006).

2.4.7. Damasios Theorie: Eine periphere Emotionstheorie in der Tradition von William James

Die vorliegenden Ausführungen demonstrierten einige wesentliche Punkte in Damasios Theorie, welche sie als würdigen Nachfolger in der Tradition von W. James erkennen lassen. Zum ersten verdeutlicht die Quintessenz der Theorie, dass das gemeinsame Wesen von Emotionen, Gefühl und Bewusstsein der Körper ist (Damasio, 2000) sowie dass Damasio, genauso wie W. James die Relevanz der körperlichen Erfahrungen für das Bewusstsein als auch die behavioralen Konsequenzen betont.
Damasio vertritt des Weiteren ganz konkret die Auffassung, dass es keinen zentralen Gefühlszustand gibt, bevor die entsprechende Emotion auftritt, was bedeutet, dass der Ausdruck (Emotion) dem Gefühl vorangeht. Auch dies nahm W. James in seinem Denken bereits klar voraus.
Die Mechanismen, die Damasios Hypothesen zufolge Emotionen sowie Gefühle produzieren, lassen sich mit W. James´ Ausführungen durchaus vereinbaren. Damasio

(1999, 2000) merkt hierzu selbst an, dass seine Theorie über James hinausgehe, jedoch mit der Grundidee, dass Gefühle im Wesentlichen Veränderungen des Körperzustands repräsentieren, wie W. James dies erstmals konkretisierte, nicht im Widerspruch steht.
Diese neuen Aspekte, die Damasios Theorie beinhaltet, betreffen neben der Tatsache, dass Damasio konkrete, falsifizierbare, neurowissenschaftliche Aussagen die entsprechenden Hirnstrukturen betreffend macht, vornehmlich die Tatsache, dass sich die emotionalen Reaktionen *sowohl* auf den Körper *als auch* auf das Gehirn richten (Damasio, 2000, S. 345).
Der Körper ist bei Damasio eine wichtige, aber nicht die einzige Bühne für Emotionen und damit auch nicht die einzige Quelle von Gefühlen, wie dies W. James formuliert hat. Zudem kann bei Damasio der Körper auch virtuell wirksam sein, indem er die Repräsentation über den „as if body loop“ betont.
Allerdings habe ich bereits zu diesem Punkt in der Besprechung der Theorie von W. James erörtert, dass, liest man genauer in den Originaltexten von James nach, W. James (1884, S. 192) einen ganz ähnlichen Gedanken erwähnt, der an den „as if body loop“ von Damasio erinnert (James, 19884, S. 192). Auch wenn James, diesen Gedanken nur fast spielerisch in einem Satz erwähnt, steckt darin bereits eine Ahnung dessen, was Damasio den „as if body loop“ nennt.

Damasio (1999, 2000) grenzt sich in zwei weiteren Hauptpunkten von W. James ab. Er verweist darauf, dass bei James zum einen keine deutliche Unterscheidung zwischen Emotion und Gefühl existiere, was auch in der Cannon´schen Kritik und deren Nachfolger immer wieder zu Missverständnissen in ihren Untersuchungen führte. Damasio (2000, 2004) führt Cannons Argumentation, welche sich bekanntlich auf Gegenbeweise gegen James in Untersuchungen bei Hunden und Katzen mit durchtrenntem Rückenmark und Vagus aufbauten, als ein Musterbeispiel für die Verwirrung an, die eintritt, wenn nicht zwischen Außen (also einer Emotion) und Innen (einem Gefühl) unterschieden wird. Abgesehen davon, dass Durchtrennungen des Rückenmarks und/oder des Vagus noch längst nicht alle Feedback-Möglichkeiten aus der Körperperipherie ausschalten, gebe ein unverändert auftretendes Mienenspiel bei den Tieren mit durchtrenntem Rückenmark in einer Aggressionssituation noch längst keinen Aufschluss über die „Gefühle“ der Tiere. Sensu Damasio (2000, S.346), wäre dieser Kritikpunkt gegen seine Theorie, und damit indirekt auch gegen James´ Theorie somit entkräftet.
Der zweite Hauptunterschied, den Damasio zwischen seiner und James´ Theorie betont, ist dass W. James sich ausschließlich auf die Viszera als Quelle der körperlichen Rückmeldung beziehe, während Damasio das interne Milieu sowie die Skelettmuskulatur als weitere wichtige Quellen der Repräsentation von Gefühlen betrachtet.

Prinzipiell, trotz der nicht verwunderlichen Tatsache, dass eine Emotionstheorie heute, mit all den neuen Erkenntnissen, Methoden und Möglichkeiten der neuen Technologien einen weiteren Pool und Horizont an Wissen zu Grunde legen kann, und damit verfeinerte und genauere Aussagen über physiologische und anatomische Prozesse zu liefern in der Lage ist, als dies Ende des 19. Jahrhunderts, also zu William James Zeit, der Fall war, ist es erstaunlich, wie grundlegend sich der Gedanke von der „Körperlichkeit“ emotionalen und gefühlsmäßigen Geschehens, den James formuliert hat, in diese neuen, verfeinerten, Erkenntnisse und theoretischen Ausführungen Damasios einfügt und unwidersprochen bleiben kann.

3. Neuroanatomische Grundlagen der Interozeption

3.1. Interozeption: Begrifflichkeiten und Allgemeiner Überblick

Bevor ich näher auf die Vermittlungswege und zentralnervöse Regulation interozeptiver Prozesse sowie auf die Thematik der Herzwahrnehmung an sich eingehe, soll hier zuerst einmal der Begriff „Interozeption“ geklärt werden.
Danach möchte ich die neuroanatomischen und –physiologischen Grundlagen der Interozeption kurz darlegen, um sodann im nächsten Hauptkapitel wesentliche Charakteristika der Kardiosensibilität, also der Herzwahrnehmungsfähigkeit, herauszuarbeiten.

Die Geschichte der „Interozeption“ beginnt bereits bei Bernard, der vor gut 150 Jahren mit seinem Konzept des „inneren Milieus“ ein identifizierbares Set physiologischer Parameter annahm, das den normalen internen Zustand des Organismus bezeichnete (siehe Cameron, 2001). Damit assoziiert war die Hypothese, dass der Körper danach strebe, diesen Zustand und diese Parameter konstant zu halten. Cannon (1953) bezeichnete diesen Aufrechterhaltungsprozess später als „Homöostase“. Diese Konzepte des internen Milieus und der Homöostase implizieren Mechanismen, anhand derer der Organismus die ständigen Fluktuationen der physiologischen Parameter registrieren und kontrollieren kann. Ohne eine reliable Information aus dem Körper an das Nervensystem und an das Gehirn, ist keine Kontrolle oder Aufrechterhaltung von Homöostase denkbar.
Dabei gehen „interozeptive Prozesse“ weit über eine physiologische, homöostatische Kontrollfunktion hinaus, indem körperliche Signale, wie dies bereits in den drei wesentlichen peripheren Emotionstheorien deutlich geworden ist, Einfluss nehmen auf höher geordnete kognitive und emotionale Prozesse (Kapitel 2).
Bereits Sherrington (1900) zeichnete das Bild eines *„material me“* und ging davon aus, dass alle diese ´Gefühle´, die wir aus dem Körper wahrnehmen, aufeinander bezogen seien und das Bewusstsein eines „physical self“ begründen. William James sowie Damasio hatten, wie erörtert, ebenfalls ähnliche Argumente und betrachten die Gefühle, welche aus unserem Körperinneren entstehen als Grundlage für das bewusste Fühlen.

Ursprünglich geht der Begriff „Interozeption“ auf Sir Charles Sherrington (1948) zurück, der erstmals Extero- Proprio- und Enterozeptoren unterschied. Exterozeptoren dienen der Aufnahme von Umgebungsreizen, Propriozeptoren sind sensibel für Information aus den Gelenken, Sehnen und quergestreifter Muskulatur, und Enterozeptoren (Interozeptoren) verarbeiten Reize aus dem Körperinneren. Sherrington versteht unter Interozeption also

enger gefasst die Wahrnehmung von Zuständen und Prozessen, die im Körperinneren mit Ausnahme der Skelettmuskulatur und der Gelenke, lokalisiert sind.
Bereits vor Sherrington gibt es Anhaltspunkte von Sechanov (siehe Cameron, 2001), der über körperliche Empfindungen, im Sinne von *„dim feelings", „faint sensations"* und einem *„obscure muscular sense"* schrieb.

Cameron (2001) fasst zusammen, dass die Untersuchung derjenigen Prozesse, welche eine Rückmeldung vom Körper zum Gehirn und deren Verarbeitung ermöglichen, üblicherweise als Interozeption bezeichnet wird. Ursprünglich ist damit die Wahrnehmung von Vorgängen aus dem Körperinneren gemeint. Dabei werden unter diesem Begriff zwei verschiedene Wahrnehmungsformen zusammengefasst: *Propriozeption* und *Viszerozeption* (z.B. Vaitl, 1995; Jones, 1994).
Im Rahmen der *Propriozeption* wahrgenommene Körpersignale stammen vorwiegend aus dem Bereich der Haut und aus dem Bewegungsapparat (Muskeln, Sehnen, Gelenke).
Bei der *Viszerozeption bzw. viszeralen Interozeption* (Vaitl, 1995) haben die wahrgenommenen Körpersignale ihren Ursprung in den inneren Organen, den Viszera.
Die Erforschung und Deskription der Interozeption bezieht sich fast ausschließlich auf die inneren Organe, den Viszera, so dass die Begriffe „Interozeption" und „Viszerozeption" häufig synonym verwendet werden.

Es gibt noch weitere Begriffe, die eine Ähnlichkeit und Affinität zur Interozeption aufweisen. Dabei handelt es sich zum Beispiel um den älteren, heute nicht mehr verwendeten Begriff der *„Organempfindung"* (siehe Schandry, 1988). Darunter werden bestimmte Empfindungen aus dem Körperinneren auf der einen Seite, und relativ unspezifische Körpergefühle wie Übelkeit, Mattigkeit o.ä., auf der anderen Seite subsumiert.

Der Begriff Interozeption bezieht sich prinzipiell auf *zwei Prozesse*, nämlich die *Repräsentation* physiologischen Feedbacks bzw. physiologischer Signale sowie die *Perzeption* dieser Signale (Wiens, 2005).
Daran knüpft auch die Unterscheidung Camerons (2002) an: Cameron (2002) definiert Viszerozeption als die Möglichkeit, dass afferente viszerale Information das Bewusstsein erreicht und/oder indirekt oder direkt das Verhalten beeinflusst und unterscheidet zwei Vorgänge, welche mit zwei Begrifflichkeiten belegt werden: *Viszerale Empfindung bzw. Sensation* und *viszerale Wahrnehmung bzw. Perzeption:*
Viszerale Empfindung/Sensation stellt dabei die Repräsentation der Aktivation eines sensorischen Rezeptors und der Strukturen, welche mit der sensorischen Verarbeitung dieses Rezeptors verbunden sind, dar. Viszerale Wahrnehmung bzw. Perzeption bedeutet

die bewusste Wahrnehmung bzw. Erfahrung, die sich aus der Aktivierung der sensorischen Rezeptoren und der diese Aktivität verarbeitenden Strukturen, ergibt.
Ich werde in Kapitel 4 die Fähigkeit der kardialen Perzeption noch ausführlicher beschreiben. Ich benutze entsprechend den Begriff *Kardiosensibilität* für die Fähigkeit der bewussten Wahrnehmung der eigenen kardialen Aktionen bzw. des eigenen Herzschlags.

Prinzipiell können drei grundlegende Aspekte der „bewussten Interozeption", also der *Perzeption* interozeptiver Prozesse unterschieden werden (Pennebaker, 1982):

(1) *„Encoding*": Umwandlung von Reizen (z.B. Dehnung, Druck, Wärme) an den Interozeptoren in Impulsmuster (afferente Signale) und deren Weiterleitung bzw. Transmission an das ZNS
(2) *„Awareness"*: Bewusstwerden der interozeptiven Prozesse im Verlauf der kortikalen Verarbeitung der afferenten Signale
(3) *„Reporting"*: Verbale und/oder motorische Äußerung von interozeptiven Wahrnehmungen (Bericht)

Die Enkodierung der distalen Reize erfolgt in den Interozeptoren. Interozeptoren werden üblicherweise in 4 bis 5 Haupttypen unterteilt, je nach der Art des Stimulus, auf den sie reagieren: Mechanorezeptoren, Chemorezeptoren, Thermorezeptoren und Osmorezeptoren, zum Teil auch Nocizeptoren (Vaitl, 1995; Cameron, 2001).
Wie wir sehen werden (Kapitel 3.2.), werden die afferenten Signale von den Interozeptoren in wesentliche subkortikale und kortikale Projektionsregionen weitergeleitet, was unter anderem Voraussetzung dafür ist, dass diese Signale bewusst wahrgenommen werden können („Awareness"), worüber eine verbale (verbale Schilderung oder Mitteilung) oder motorische (z.B. Knopfdruck) Äußerung möglich ist („Reporting").

Ich möchte an dieser Stelle anmerken, dass über diese bislang vereinfachte, schematische Darstellung von Interozeption hinaus, aktuelle Erkenntnisse gezeigt haben, dass neben spezifischen Interozeptoren auch „multimodale" Rezeptoren, welche auf mehr als einen Stimulustypus reagieren (Cameron, 2001) existieren. Zudem können „cross-organ" interozeptive Reaktionen auftreten, also eine Integration interozeptiver Reaktionen verschiedener Interozeptoren, welche nach Cameron wahrscheinlich in höheren Hirnstrukturen verarbeitet werden (Cameron, 2001).

Cameron (2001, 2002, 2003) führt an, dass Interozeption betreffend sich in den letzten Jahren eine konzeptuelle Wende andeutet, wobei neuere Ergebnisse darauf hinweisen, dass

die Transmission und Repräsentation sowie das „Fühlen“ von Körpersignalen in einem phylogenetisch noch relativ jungen System bei Primaten repräsentiert ist. Dabei ist davon auszugehen, dass sich dieses „neue“ System aus dem afferenten Teil eines evolutionär alten, hierarchisch aufgebauten homöostatischen Systems entwickelt hat, welches die Aufrechterhaltung der körperlichen, internen Integrität gewährleistete (Cameron, 2001). Wie ich im anschließenden Kapitel noch erörtern werde, spielt hierfür das Lamina-1-spinothalamische System eine wichtige Rolle, welches Signale aus Afferenzen, die den physiologischen Status aus den verschiedensten Teilen des Körpers repräsentiert und bis zum Kortex weiterleitet. Somit kommt es zu einer interozeptiven Detektion und Perzeption prinzipiell des *gesamten* Körpers, und nicht nur viszeraler Prozesse (Cameron, 2001).

Die biologischen und physiologischen Prozesse der Interozeption, also das, was am ehesten unter Punkt (1) und (2) bei Pennebaker (1982) benannt wurde, sollen, wie erwähnt im nächsten Kapitel näher beleuchtet werden, wobei ich mich hier mit dem Prozess der Viszerozeption und der viszeralen Sensibilität, jedoch nicht mit der Propriozeption und der somatischen Sensibilität beschäftigen werde.

Vor jeder Frage nach der Wahrnehmbarkeit viszeraler Prozesse, wie der Herztätigkeit, steht die Frage nach den Vermittlungspfaden und den „Verarbeitungszentralen“ dieser Signale im Gehirn. Deshalb möchte ich mich nun den neuroanatomischen Grundlagen der viszeralen Interozeption zuwenden.

3.2. Vermittlungspfade viszeraler und interozeptiver Signalverarbeitung: Viszerale Afferenzen und relevante Hirnstrukturen

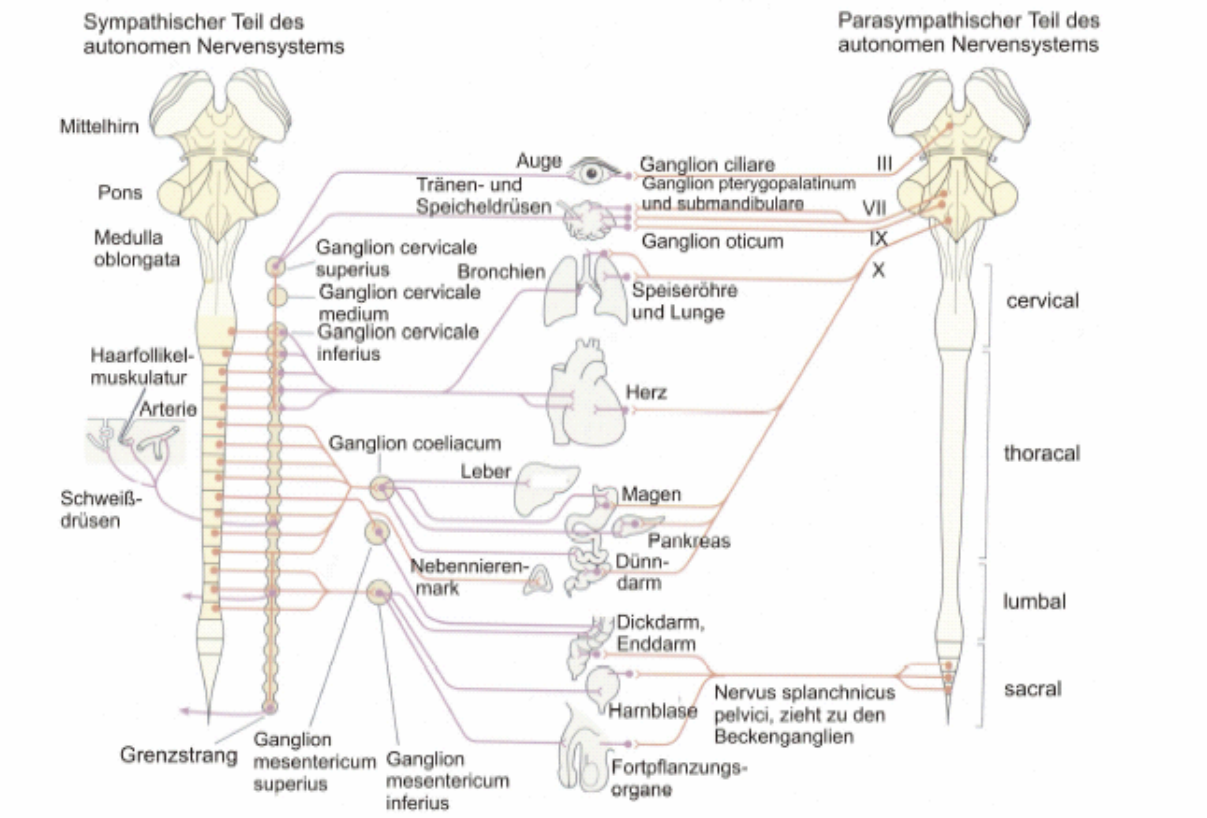
In der vorliegenden Arbeit geht es konkret um die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Emotionsverarbeitung, Verhalten und Viszerozeption, was am Beispiel der Kardiosensibilität untersucht wird.
Haben wir bislang vornehmlich theoretische Ausführungen zu diesem Themenkomplex betrachtet, so ist es nunmehr wesentlich, die anatomischen Vermittlungspfade zu kennen, über welche zum einen die Rückmeldung vegetativer Signale aus dem Körper zum Gehirn gelangt um dort weiter verarbeitet zu werden, so dass viszerale Signale auf höherer Ebene bewusst werden können sowie zum anderen das Wissen über für Emotionsverarbeitung wichtige Hirnstrukturen zusammenzufassen.
Ich möchte zuerst einen Überblick über die Vermittlungspfade und wichtigen Hirnstrukturen geben, welche für die Rückmeldung und die Verarbeitung v.a. vegetativer Informationen zuständig sind. Zuallermeist handelt es sich dabei um Hirnbereiche, welche gleichzeitig für die efferente vegetative Kontrolle des internen Milieus zuständig sind sowie auch im Prozess der Emotionsverarbeitung beteiligt sind.
Beschäftigt man sich mit Interozeption und Emotionsverarbeitung, so ist eine solipsistische Betrachtung von Emotion ohne physiologische Prozesse kaum möglich.
Um jedoch eine Struktur beizubehalten werde ich im Folgenden vornehmlich auf die neuronale Basis interozeptiver Prozesse eingehen und in einem getrennten Kapitel (Kapitel 5), in dem es um Prozesse der Emotionsverarbeitung geht, hierfür wichtige Hirnstrukturen diskutieren.

3.2.1. Grundlagen

Das autonome Nervensystem wurde lange Zeit als ein rein effektorisches System betrachtet (Cameron, 2001). Was die sensorischen Funktionen angeht, so hat man sich lange vornehmlich mit den „externen Sinnen“ beschäftigt und das Innere des Körpers eher vernachlässigt. In den letzten Jahren haben sich zunehmend Befunde angesammelt, die Einblick über die kortikalen Projektionen und die funktionelle Organisation viszeraler Signale geben. Heute ist bekannt, dass das autonome Nervensystem, neben der seit langem bekannten efferenten Kontrolle, auch ganz wesentliche afferente Funktionen erfüllt. Dies ist allein schon zum Zwecke homöostatischer Prozesse lebensnotwendig.
Man geht davon aus, dass es im vegetativen Nervensystem rund dreimal so viele afferente wie efferent Fasern gibt (Schandry, 2003). Abbildung 3.1. zeigt ein übliches Schema zur

Darstellung des sympathischen und parasympathischen Astes des autonomen Nervensystems.

Abbildung 3.1. Sympathisches und Parasympathisches Nervensystem: Innervationswege (aus: Schandry, 2003a, S. 159).



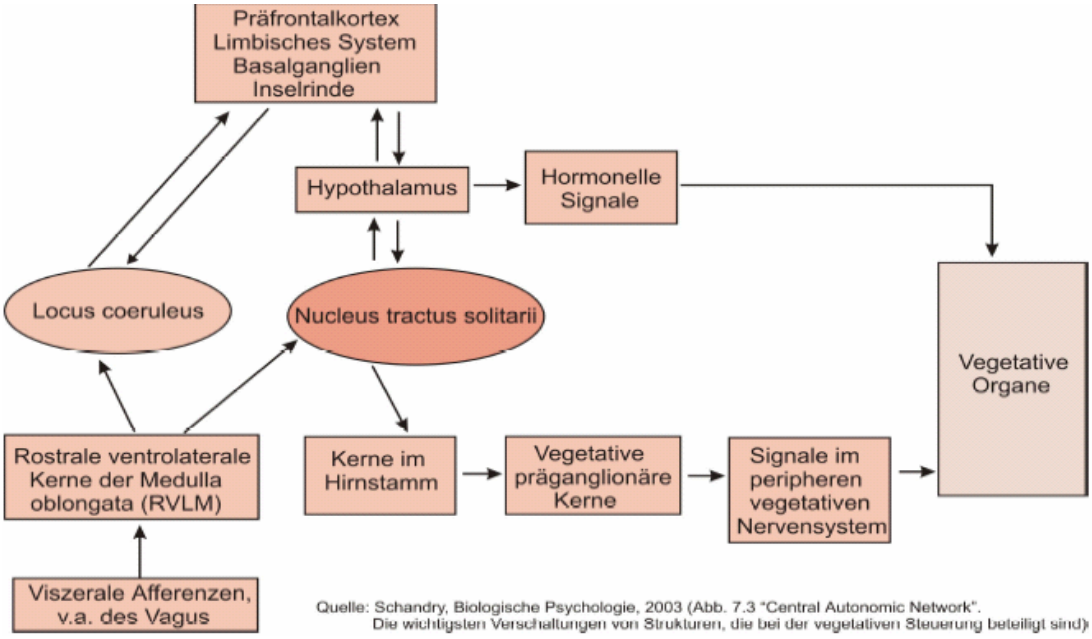
In Abbildung 3.1. wird ein Ausschnitt der vielfältigen Innervationspfade von Sympathikus und Parasympathikus, sowie dem X. Hirnnerven (N. vagus), der für die Innervation wichtiger Organe im Kopf-, thorakalen (u.a. des Herzens) und Oberbauchbereich relevant ist, gezeigt. Ebenfalls erkennbar ist die Verschaltung der im Thorakalmark und oberen Lumbalmark befindlichen präganglionären sympathischen Neurone in den Grenzsträngen auf postganglionäre Neurone. Beide Systeme, sympathisches und parasympathisches, weisen zumeist einen funktionellen Synergismus auf (Birbaumer & Schmidt, 1991; Schandry, 2003a). Die an der viszeralen Sensation beteiligten anatomischen Strukturen und Pfade von der Peripherie bis zum Kortex lassen sich in folgender Tabelle zusammenfassen (Tabelle 3.1.).

Tabelle 3.1. Für die viszerale Sensation relevante anatomische Strukturen und Pfade: *„From the Periphery to the Cortex“* (nach: Cameron, 2001, S. 703)

Periphery
Visceral sensory pathways
Receptors-pain, physiological, specialized (chemo-, osmo-, and thermo-receptors)
Fibers-sympathetic, parasympathetic
Enteric nervous system
Spinal cord
Sympathetic, some parasympathetic (from pelvis nerves)
Via laminae I, V, VII and VIII
Brainstem
Tracts
Major-spinothalamic, spinoreticular, spinomesencephalic
Others-spinocervical, spinohypothalamic
Nuclei
Nucleus of the solitary tract-entry point of some parasympathetic fibers (e.g, vagus nerve)
Parabrachial nucleus
Adrenergic, especially A6 (also known as locus coeruleus)
Central gray
From brainstem to cortex
Thalamus
Hypothalamus
Cerebellum
“Limbic system”
Amygdala
Cortex
Somatosensory-SI, SII
Cingulate-anterior, medial
Frontal-medial orbitofrontal, lateral
Insula

Diese Tabelle wird ergänzt durch Abbildung 3.2, die darstellt, dass an der Regulation vegetativer Prozesse eine ganze Reihe an peripheren und zentralnervösen Strukturen beteiligt sind, um nicht nur Homöostase und Tonus sondern auch entsprechende adaptive Veränderungen im Körper unter Anforderungsbedingungen zu regulieren. Die Abbildung zeigt eine vereinfachte Darstellung des *„Central Autonomic Network“ (CAN)*.

Abbildung 3.2. Wichtige Verschaltungen von an der vegetativen Regulation beteiligten Strukturen: *„Central Autonomic Network“* (aus: Schandry, 2003a, S. 163)



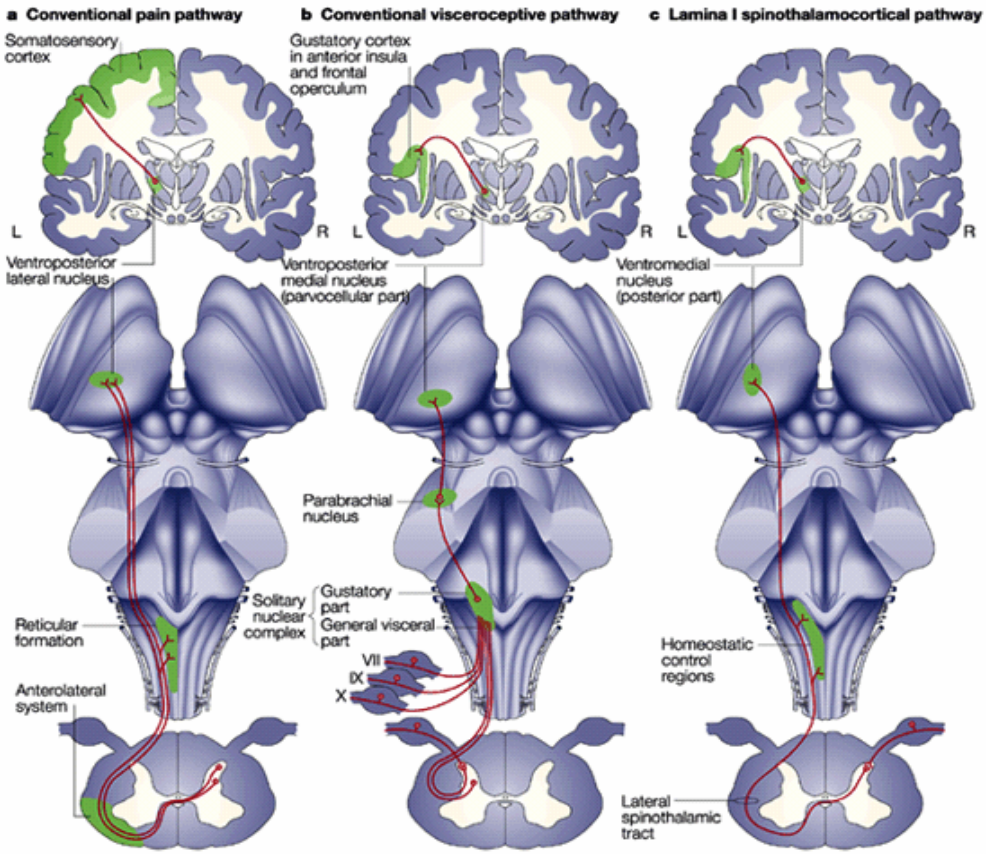
Das Netzwerk an Gehirnstrukturen (CAN), welches für vegetative Regulation relevant ist, geht im Grunde noch über die obige Abbildung 3.2. hinaus und umfasst Strukturen wie das *Cerebellum*, das *Limbischen Systems (v.a. Amygdala)*, den *Hypothalamus,* das *Septum*, sowie Teile der *Basalganglien,* den *orbitofrontalen und ventromedialen Präfrontalkortex*, den *insulären Kortex*, Bereiche des *somatosensorischen Kortex*, sowie Teile der *Formatio reticularis* und den *Nucleus tractus solitarii* und *Nucleus ambiguus, medulläre Kerne* und *medulläres Tegmentum* (Thayer & Lane, 2000; Schandry, 2003a). In Abbildung 3.2. wird übrigens auch noch die hormonelle Funktion des Hypothalamus (was die HPA-Achse anspricht) angedeutet.

Das „central autonomic network“ (CAN) ist ein dynamisches nonlineares System, wobei die Strukturen des CAN reziprok miteinander verbunden sind, was kontinuierliche positive und negative Feedbackinteraktionen ermöglicht, sowie eine Integration autonom-nervöser Reaktionen (Thayer & Lane, 2000).

Neuere Erkenntnisse bzgl. der funktionellen Anatomie des sog. „Lamina I spinothalamokortikalen Systems“ legen nunmehr ***zwei Hauptsysteme*** nahe, welche für die Vermittlung von Information aus dem Körper zuständig sind (siehe Abbildung 3.3.):
Das *Lamina I spinothalamokortikale System* ermöglicht nach Craig (2002) sozusagen einen *„sense of the physiological condition of the whole body, not just the viscera“* (Craig, 2002, S. 655) und stellt neben dem *konventionellen viszerozeptiven Pfad,* der in Abbildung 3.2. über

die rostralen ventrolateralen Kerne der Medulla oblongata (RVLM) verlaufend angedeutet ist, eine homöostatische afferente Bahnung dar, welche Signale aus primären Afferenzen mit geringem Durchmesser erhält und den physiologischen Status verschiedenster Körpergewebe repräsentiert (Craig, 2002). Dieses System projiziert zu autonomen und homöostatischen Zentren im Rückenmark und im Hirnstamm und zusammen mit afferenter Information, welche aus dem Nucleus Tractus solitarii (NTS) übermittelt wird, wird so eine direkte thalamokortikale Repräsentation des gesamten Körperzustands generiert (Craig, 2002). Zudem unterscheidet Craig (2002) ein drittes konventionelles System, nämlich das *Schmerz-System*, wobei traditionellerweise hierfür besonders Verschaltungen über die Formatio reticularis zum Thalamus (posteriorer ventrolateraler Nucleus) bis zum somatosensorischen Kortex als relevant erachtet werden.

Abbildung 3.3. Konventionelle viszerozeptive Bahnung (b), Schmerzsystem (a) und Lamina I spinothalamokortikale Bahnung (c) (aus: Craig, 2002)



Nach Craig (2002, 2003) bildet das Lamina I System die wesentliche Grundlage für die Möglichkeit, dass körperliche, interne Signale bewusst wahrgenommen und gefühlt werden können. Wie spätere Abschnitte dieses Kapitels zeigen, unterstützen Bildgebungsstudien diese Annahme, dass spezifische Kortexgebiete Abbilder dieser afferenten Information aus

dem Körper verarbeiten. Vor allem der insuläre Kortex (der rechten Hemisphäre) besitzt scheinbar Repräsentationen dieser Informationen und scheint eine Basis für die bewusste, subjektive Bewertung des eigenen Befindens, des eigenen Zustands darzustellen (z.B. Craig, 2002; Critchley et al., 2004).

Genauere Aspekte des Lamina I Systems und des herkömmlichen, konventionellen viszerozeptiven Pfades sollen im folgenden Kapitel bei der Besprechung von interozeptiven Afferenzen in Rückenmark und Hirnstamm erläutert werden

Im folgenden Überblick sollen kurz einige der wesentlichsten, anatomischen, für die viszerale Sensation relevanten Pfade und Strukturen besprochen werden, welche in Tabelle 3.1. zusammengefasst sind.

3.2.2. Rückenmark und Hirnstamm

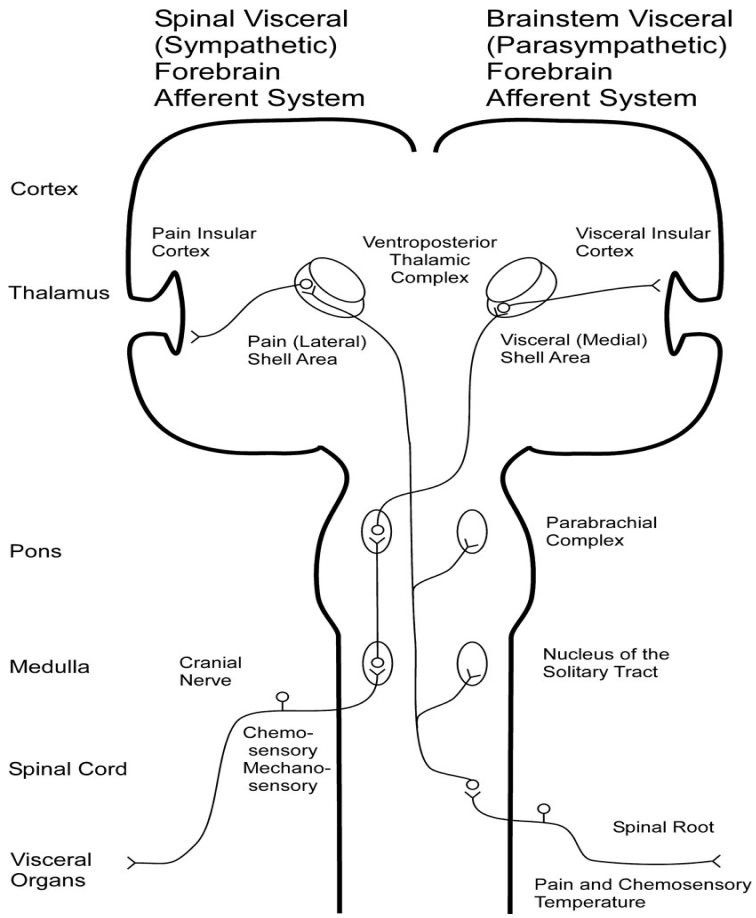
Auf unterster Ebene (siehe Tabelle 3.1.) werden viszerale sensorische Rezeptoren in so genannte frei-endende Schmerzrezeptoren (Nocizeptoren) und physiologische Rezeptoren eingeteilt. Letztere überwachen die ständig stattfindenden Funktionen viszeraler Organe und vermitteln viszerale Reflexe, wie z.B. den Baro(rezeptoren)reflex (Cameron, 2001). Es existieren entsprechend auch spezialisierte viszerale Rezeptoren, wie Chemorezeptoren, Osmorezeptoren und Thermorezeptoren. Die Sensoren des vegetativen Systems befinden sich meist in den Wänden der inneren Organe und der Blutgefäße. Die afferenten Signale erreichen das Gehirn über spinale Verbindungen (v.a. sympathische afferente Fasern) sowie über sensorische Fasern der Hirnnerven, v.a. dem X. Hirnnerven, den N. vagus. Im Gehirn existiert sodann eine Reihe an Projektionsgebieten für viszerale afferente Information (Cameron, 2002; 2002).

Nach Saper (2002) wird sensorische viszerale Information sowohl über das spinale, sympathische als auch das parasympathische afferente System (v.a. kraniale Nerven, u.a. N. vagus) zum Gehirn transportiert

Abbildung 3.4. zeigt den sympathischen (spinalen) und parasympathischen viszerosensorischen Pfad zum Thalamus und zerebralen Kortex. Spinale Afferenzen kreuzen im Rückenmark und projizieren bilateral zum Hirnstamm und zum Nucleus tractus solitarii (NTS) und zum Nucleus parabrachialis. Spinale (sympathische) viszerale Afferenzen werden zusammen mit anderen spinothalamischen Afferenzen (v.a. Schmerzreize) im ventroposterioren thalamischen Komplex umgeschaltet. Viszerale parasympathische Afferenzen (v.a. N. vagus) werden im NTS und im N. parabrachialis umgeschaltet und kreuzen dann zur anderen Hirnseite im ventroposterioren thalamischen Komplex.

Viszerale sensorische Afferenzen aus dem Hirnstamm terminieren im anterioren Teil des insulären Kortex, während der spinale Pfad im kaudalen Abschnitt der Insula terminiert (nach Saper, 2002).

Abbildung 3.4. Spinaler viszerosensorischer (sympathischer) Pfad und Hirnstamm-viszerosensorischer (parasympathischer) Pfad zum Thalamus und Kortex (aus: Saper, 2002)



Was in dieser Abbildung nicht ersichtlich wird, ist die Tatsache, dass der spinale sympathische Pfad auf fast allen Ebenen Kollaterale zu den kranialen viszeralen sensorischen Afferenzen besitzt und damit beide Pfade miteinander konvergieren (Gamboa-Esteves et al., 2001).

Abbildung 3.2. (siehe oben) zeigt die wichtigste Eingangsstation für afferente vegetative Signale v.a. für viszerale Afferenzen des N. vagus, nämlich den rostralen ventrolateralen Teil der Medulla oblogata (RVLM) (Schandry, 2003a; Jaening, 1995). Von dort aus ziehen Fasern zum Nucleus tactus solitarii (NTS) in der Medulla oblongata (siehe Abbildung 3.3. und 3.4.). Axone aus kardiovaskulären Strukturen (v.a. Barorezeptoren des Carotis Sinus und des Aortenbogens) terminieren im dorsomedialen Teil des NTS. Vom NTS aus projiziert der größte Teile der Fasern zum Nucleus parabrachialis in der Pons (Abbildung 3.5.). Von

diesem Kern aus ziehen Projektionen zu zahlreichen höheren Hirnregionen, z.B. Thalamus, Hypothalamus, Insula, Amygdala, cingulärer Kortex, Basalganglien, Präfrontalkortex – wo viszerale Information weitergeleitet, dort prozessiert und integriert wird (George et al., 2000; Jaening, 1995; Saper, 2002; Schandry, 2003a). Hierbei handelt es sich bereits um Strukturen, die zum größten Teil für die Repräsentaton viszeraler Signale sowie für Emotionsregulation wesentlich sind. Durch diese Verschaltungen erklärt sich etwa auch die antikonvulsive und antidepressive Wirkungswiese der elektrischen Vagusstimulation (George et al., 2000).
Die Abbildung 3.4. von Saper (2002) ergänzend ist wichtig anzumerken, dass es zusätzlich auch direkte Projektionen vom N. parabrachialis zum zerebralen Kortex, v.a. zur Insula und zum lateralen Präfrontalkortex gibt (Allen et al., 1991).

Der N. Vagus (X. Hirnnerv) selbst besteht aus gemischten Nervenfasern, wobei die Mehrzahl (80-85 %) der vagalen Fasern afferente Nervenfasern sind, welche zum Nucleus tractus solitarii (NTS) im Hirnstamm projizieren und Information aus dem Kopf- und Halsbereich sowie Thorax und Abdomen zum Gehirn transportieren (z.B. Jaening, 1995, 1996; Saper, 2002).
In den sympathischen Nerven leiten so genannte Aδ- und C-Fasern, welche mit einem geringen Durchmesser ausgestattet sind, vielfältige physiologische Informationen, wie den chemischen, hormonellen und mechanischen Zustand der Muskeln, der Gelenke, der Haut und der Viszera zum Gehirn weiter (Craig, 2003).
Die Aδ- und C-Fasern terminieren monosynaptisch in Lamina I im spinalen und trigeminalen Hinterhorn (Craig, 2003; Saper, 2002), wobei die Lamina I Neurone dicht zu Hirnstammzentren projizieren und v.a. ebenfalls den Nucleus parabrachialis, die Integrationsstation für die gesamte afferente, homöostatische Aktivität (kardiovaskuläre, respiratorische Regulation, Glukose-, Nahrungs- und Flüssigkeitsregulation) erreichen (siehe Abbildung 3.5.).

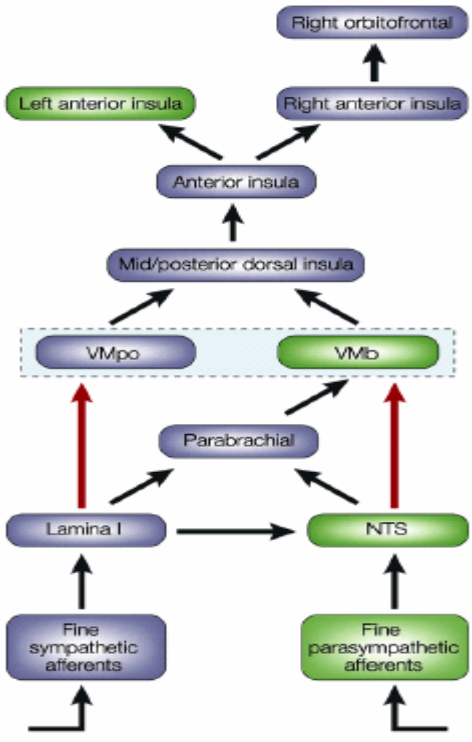
Wie in Abbildung 3.3. (siehe oben) gezeigt wird, beschreibt Craig (2002) diese soeben erörterten Verbindungen als die konventionelle viszerozeptive Bahnung, welche sowohl die sympathischen als auch die parasympathischen Bahnen umfasst. Craig (2002, 2003) betont nunmehr jedoch noch eine weitere wichtige Bahnung, die vor allem den spinalen, sympathischen Weg betrifft. Dieser distinkte interozeptive Pfad, *die Lamina I spinothalamokortikale Bahnung* übermittelt, wie erwähnt nicht nur viszerale Afferenzen, sondern generell Informationen aus dem Inneren des Körpers und ist vornehmlich bei Primaten vorzufinden: Dabei projizieren Lamina I Neurone aus homöostatischen Kontrollzentren im Hirnstamm – auch ohne Umschaltung im NTS und N. parabrachialis -

topographisch direkt zu einer Relaisstation im posterioren Thalamus, dem *ventromedialen posterioren Nucleus (VMpo)*, der eine topographische Gliederung besitzt. Menschen besitzen im Vergleich zu Affen einen deutlich größeren VMpo (Craig, 2003). Nach Craig (2003) stellt diese Bahnung einen direkten thalamokortikalen Input zur Verfügung, der den physiologischen Zustand des Körpers reflektiert.

Auf dem parasympathischen Weg, der den herkömmlichen, konventionellen Bahnungen noch ganz entspricht, erwähnt Craig (2002, 2003) noch eine weitere direkte Projektion zwischen NTS und dem *parvozellularen Teil des ventromedialen Nucleus des Thalamus (VMb)* – ohne Umschaltung im N. parabrachialis – (siehe Abbildung 3.5.)

Diese Erweiterungen werden in folgender Abbildung 3.5. deutlich, welche Craigs Modell zusammenfassen: Hier kann man erkennen, dass sympathische Afferenzen Input an Lamina I liefern und parasympathische Afferenzen Input an den NTS senden. Bei Säugetieren wird diese Aktivität im Nucleus parabrachialis integriert und von dort aus via den pervozellularen, ventromedialen thalamischen Nucleus (VMb) zum insulären Kortex geleitet. Bei Primaten existiert zudem eine direkte Projektion von Lamina I zum posterioren ventromedialen Nucleus des Thalamus (VPpo) sowie eine weitere direkte Projektion vom NTS zum VMb, wobei so der gesamte homöostatische afferente Input topographisch zum insulären Kortex geschickt werden kann.

Abbildung 3.5. Zwei wesentliche afferente, interozeptive Pfade – Grundlage für die bewusste Wahrnehmung interozeptiver Signale (aus: Craig, 2002)



Craig (2002) veranschaulicht in seiner Grafik (Abbildung 3.5.), dass das so entstehende kortikale Bild in der dorsalen posterioren Insula re-repräsentiert wird, und zusammen mit dem anterioren insulären Kortex somit die Grundlage für eine subjektive Evaluation des eigenen interozeptiven Zustands liefert. Letzteres betont auch Damasios Theorie (siehe Kapitel 2.4.). Craigs Modell zeigt ebenfalls, dass die Information sympathischer Afferenzen in der linken und die Information parasympathischer Afferenzen in der rechten anterioren Insula repräsentiert werden. Diese schematisierte Lateralität würde auch Befunden entsprechen, die eine kortikale linkshemisphärische Dominanz für parasympathische Regulation und eine rechtshemisphärische Dominanz für sympathische Kontrolle eruieren konnten (z.B. Avon et al., 2004; Hagemann, Waldstein & Thayer, 2003). Endpunkt der Repräsentation der interozeptiven Signale stellt nach Craig (2002) der orbitofrontale Kortex dar. Auf die höhere kortikale Verarbeitung körperinterner Signale wird genauer in folgenden Kapiteln eingegangen.

Nach aktuellen Erkenntnissen (z.B. Critchley et al., 2001; 2004) scheinen besonders der anteriore insuläre Kortex aber auch der anteriore cinguläre Kortex (ACC) sehr wichtig für das subjektive Bewusstsein von interozeptiven Zuständen, Gefühlen und Emotionen zu sein (siehe unten).

Afferente, viszeral relevante Bahnen sind bis zur Ebene des Hirnstamms noch relativ eindeutig zu identifizieren (Cameron, 2001). Oberhalb des Hirnstamms jedoch ist das Tracking spezifischer Nervenbahnen weitaus schwieriger und die Verschaltungen und Synaptierungen werden immer komplexer, so dass eine Unterscheidung zwischen afferenten vs. efferenten Tracti immer schwieriger wird (Cameron, 2001). Nichtsdestoweniger sind die höher gelegenen, für die Verarbeitung viszeral afferenter Signale gelegenen Hirnstrukturen zunehmend bekannt.

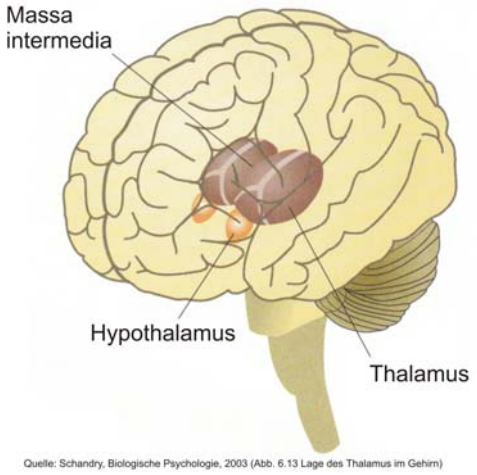
3.2.3. Vom Hirnstamm zum Kortex

3.2.3.1. Thalamus

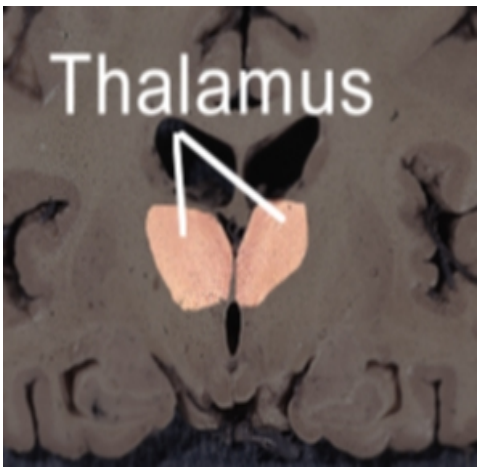
Der zum Diencephalon gehörige taubeneigroße, in beiden Hemisphären angelegte Thalamus bildet den größten Teil des Diencephalons, befindet sich etwa in der Höhe des 3. Ventrikels (siehe Abbildung 3.6.), lässt eine deutliche Gliederung in einzelne Kerngebiete erkennen und ist nach heutigen Erkenntnissen primär zur Integration des Inputs von exterozeptiven, sensorischen Informationen der externen Umgebung (visuell, auditorisch, sensorisch) sowie auch zur Verarbeitung viszeraler, afferenter Information befähigt (z.B. Karnath & Thier, 2003; Craig, 2002; Cameron, 2001, 2002; Schandry, 2003a). Mit Ausnahme der Geruchsinformation, werden alle sensorischen Informationen über den Thalamus,

nachdem sie dort sortiert und gefiltert werden, zum Kortex weitergeleitet, weshalb diese Struktur gemeinhin als „Tor zum Bewusstsein“ bezeichnet wird (Cameron, 2001).

Abbildung 3.6. Lage des Thalamus



a) Schematische Darstellung
(aus: Schandry, 2003a, S. 119)



b) MR-Aufnahme
(aus: ahsmail.uwaterloo.ca)

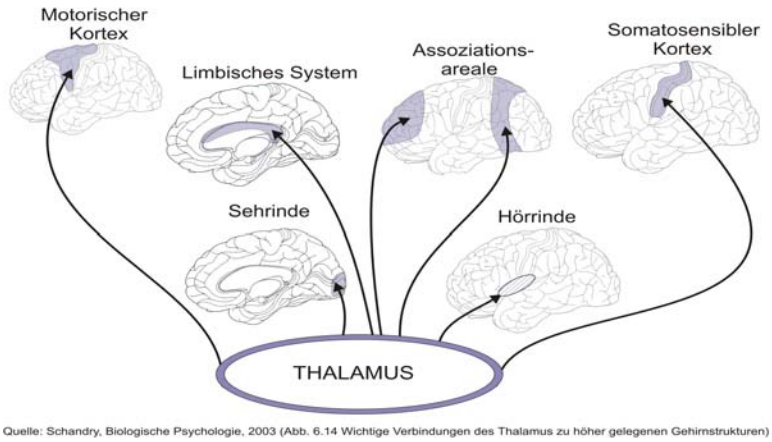
Die Verbindung der paarig angelegten Thalami bildet die Adhesio interthalamica, die früher auch als Massa intermedia bezeichnet wurde (siehe auch Abbildung 3.6.). Nach groben anatomischen Kriterien kann man von einer Dreiteilung des Thalamus in einen anterioren, medialen und lateroventralen Bereich ausgehen (Karnath & Thier, 2003):
Der *anteriore Bereich* weist Verbindungen zum limbischen System auf und ist in den sog, Papez-Kreis eingebunden, der Verbindungen zwischen Hippocampus über den Fornix mit den Mammillarkörpern und anterioren thalamischen Kerngruppen herstellt. Die Kerne des *medialen Bereichs* sind mit kortikalen frontalen Arealen und limbischen Strukturen, wie dem Hypothalamus und der Amygdala verbunden (Karnath & Thier, 2003). Der *lateroventrale Bereich* umfasst die laterale und ventrale Kerngruppe. Die *laterale thalamische Kerngruppe* erhält somatosensorische und gustatorische Informationen, wobei v.a. die ventralen Nuclei für die Weiterleitung spezifischer viszeraler Sensationen und von Schmerzreizen von Bedeutung zu sein scheint (Cameron, 2002). Die *ventrale Kerngruppe* leitet v.a. motorische Informationen aus den Basalganglien und dem Kleinhirn weiter zum motorischen und prämotorischen Kortex sowie sensorische Information von den Rezeptoren zur kortikalen Postzentralregion (Karnath & Thier, 2003). Vom *ventrolateralen posterioren Thalamus* wird eine somatotopische Organisation viszeraler afferenter berichtet (Cechetto, 1987).
Die *mediale Kerngruppe* spielt für motivationale und emotionale Prozesse, sowie Geruchsreize und das Ich-Erleben eine wichtige Rolle (Cameron, 2002; Schandry, 2003a). Nach Läsionen thalamischer Kerne werden etwa auch eine starke Affektlabilität mit Euphorie

und Agitiertheit oder aber Gleichgültigkeit und Verflachung der Persönlichkeit beobachtet (Karnath & Thier, 2003).

Nach Cameron (2002) sind die medialen thalamischen Kerne zudem relevant bei der Weiterleitung homöostatischer viszeraler Information und für emotionsbezogene Prozesse von Nozizeption.

Wie Abbildung 3.7. zeigt, existieren zahlreiche Verbindungen vom Thalamus zu höher gelegenen Hirnstrukturen:

Abbildung 3.7. Thalamische Projektionen zu höher gelegenen Hirnstrukturen (aus: Schandry, 2003a)



Quelle: Schandry, Biologische Psychologie, 2003 (Abb. 6.14 Wichtige Verbindungen des Thalamus zu höher gelegenen Gehirnstrukturen)

Der Thalamus wurde lange Zeit als eine einfache Relaisstation betrachtet, die sensorische und limbische Information zum Kortex weiterleitet, ohne sie lokal zu verarbeiten. Jedoch wird durch seine Einbindung in die beschriebenen kortiko-subkortikalen Schaltkreise klar, dass der Thalamus nach heutigen Kenntnissen die letzte Stufe der Integration auf subkortikaler Ebene darstellt, von der aus Informationen zurück zum Kortex projiziert werden. Neue Befunde verweisen unter Berücksichtigung der Verbindungen des Thalamus zum medialen Temporallappen auf eine wesentliche Bedeutung des Thalamus für mnestische Funktionen (Karnath & Thier, 2003). Auch bei der Schmerzwahrnehmung sowie der Koordination motorischer Regulation spielt der Thalamus ein wichtige Rolle, indem Verbindungen und Modulationen des Informationsflusses zwischen verschiedenen Zentren des Gehirns hergestellt werden (z.B. Cerebellum, Basalganglien, Frontalkortex) (Cameron, 2002; Schandry, 2003a). Prinzipiell besitzen thalamische Kerne durch großzügige Assoziationen mit frontalen Kortexgebieten Einfluss auf kognitive sowie motivationale und emotionale Prozesse.

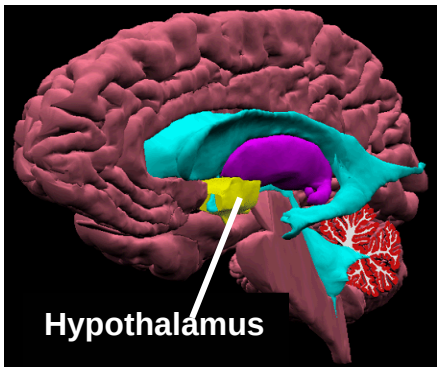
Besonders Studien der Forschergruppe um Cechetto und Hachinski (z.B. Cechetto & Saper, 1987; King et al., 1999) verweisen darauf, dass der Thalamus, v.a. posteriore Kerne, bei der Prozessierung und Kontrolle viszeraler Prozesse bedeutsam ist. Eine aktuelle PET-Studie

von Teves et al. (2004) konnte eine erhöhte Aktivierung u.a. thalamischer Kerne während hypoglykämisch evozierten autonomen Arousals nachweisen.
Der Thalamus ist somit ebenfalls eine für interozeptive Prozesse relevante Struktur (King et al., 1999; Rosen et al., 1994; Rosen et al., 1996).

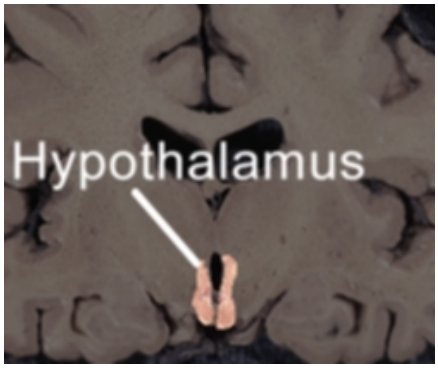
3.2.3.2. Hypothalamus

Ähnlich wie der Thalamus, verfügt der Hypothalamus, unterhalb der Thalamuskerne befindlich (siehe Abbildung 3.8.), ebenfalls über gut identifzierbare, viszeral relevante Nuclei, die sich bzgl. Zytoarchitektonik und Zytochemie unterscheiden (Schandry, 2003a). Dabei sind ein medialer Teil und ein diffuser, abgrenzbarer lateraler Teil des Hypothalamus differenzierbar.

Abbildung 3.8. Lage des Hypothalamus



a) Schematische Darstellung
(aus: mail.biocfarm.unibo.it)



b) MR-Aufnahme
(aus: ahsmail.uwaterloo.ca)

Der Hypothalamus ist mit allen übergeordneten und untergeordneten Bereichen des ZNS efferent und afferent nervös verschaltet. Zwei große übergeordnete Bereiche sind das limbische System und das thalamokortikale System, während zwei dem Hypothalamus untergeordnete Bereiche etwa der Hirnstamm und das Rückenmark sind (z.B. noradrenerger Locus coeruleus, serotonerge Raphekerne) (Karnath & Thier, 2003; Schandry, 2003a).
Wichtige *afferente Informationen* erhält der Hypothalamus aus der externen Umwelt über Sinnesorgane (auditorisch, visuell, Geruch-, Geschmackssinn und Somatosensorik) sowie besonders aus dem inneren Milieu über die viszeralen Afferenzen (Schmidt, 1987). Dabei handelt es sich z.B. konkret um Neurone im Hypothalamus, die die Temperatur des Blutes, die Salzkonzentration der extrazellulären Flüssigkeit oder auch die Konzentration der Hormone endokriner Drüsen im Blut messen.

Hypothalamische Kerne erhalten direkte Projektionen aus dem Rückenmark und Hirnstamm, wobei diese über Lamina I, V und X im Rückenmark verlaufen und direkt zu medialen und lateralen Hypothalamuskernen projizieren. Dieser Pfad soll sowohl für Schmerzreize aber auch andere viszerale und somatische Reize relevant sein (Cameron, 2002; Craig, 2002). Des Weiteren existieren Verbindungen zwischen dem NTS, dem Nucleus parabrachialis und dem Hypothalamus, sowie wichtige afferente Pfade zu hypothalamsichen Kernen aus der Fornix, v.a. aus dem Hippocampus, der Stria terminalis, der Amygdala, Nucelus accumbens und Septum (Cameron, 2002). Neben noradrenergen Projektionen gibt es auch Hinweise auf die Bedeutung von Cholecystokinin, CRF (Cortioctropin-Releasing-Factor) sowie Substanz P (Cameron, 2002). Die meisten erwähnten Verbindungen sind dabei reziproker Natur.
Bekanntlich bildet der Hypothalamus für die Kontrolle und Regulation von autonomen, vegetativen und hormonellen, reproduktiven, behavioralen, immunologischen, thermoregulatorischen, und biorhythmischen Körperfunktionen das wichtigste Steuerzentrum. Er ist das lebenswichtigste Zentrum für die Steuerung aller vegetativen Funktionen und für die Koordination dieser vegetativen Regulationen mit den übrigen Aktivitäten des Organismus (Birbaumer & Schmidt, 1991; Cameron, 2001; Schandry, 2003a). Der Hypothalamus stellt also einen ganz wesentlichen Integrator viszeral-autonomer-homöostatischer und damit auch interozeptiver Inputs aus vielen Orten des ZNS und der Peripherie dar (Cameron, 2001, 2002). Diese Inputs umfassen viszerale sensorische, olfaktorische, visuelle, limbische Systeme sowie Inputs aus Chemorezeptoren und Osmorezeptoren.

3.2.3.3. Cerebellum

Das Cerebellum oder Kleinhirn ist vom übrigen Gehirn deutlich abgegrenzt und mit diesem über dicke Stränge afferenter und efferenter Bahnen verbunden. Efferenzen der Kleinhirnkerne beeinflussen teils über den Thalamus den motorischen Kortex, teils direkt motorische Zentren im Hirnstamm. Der cerebelläre Kortex besitzt im Gegensatz zum zerebralen Kortex einen drei- statt sechs-schichtigen Aufbau und ist auch anders eingefaltet als die Großhirnrinde (Schmidt, 1987). Traditionell wurde das Kleinhirn als eine für Motorik zuständige Struktur verstanden, heutige Erkenntnisse zeigen jedoch ganz konkret die wichtige Bedeutung des Kleinhirns nicht nur bei der Kontrolle zielgerichteter Augenbewegungen, sondern auch komplexer Aspekte der visuellen Wahrnehmung (Schandry, 2003a) sowie des Gedächtnisses sensomototorischer Muster (Pinel, 2005). Das Cerebellum ist für interozeptive Verarbeitung interessant, da es nachweislich bei bestimmten Formen der klassischen Konditionierung und der Speicherung von Erinnerungen an konditionierte Reize eine wichtige Rolle spielt. Zudem hat es eine Bedeutung für höher

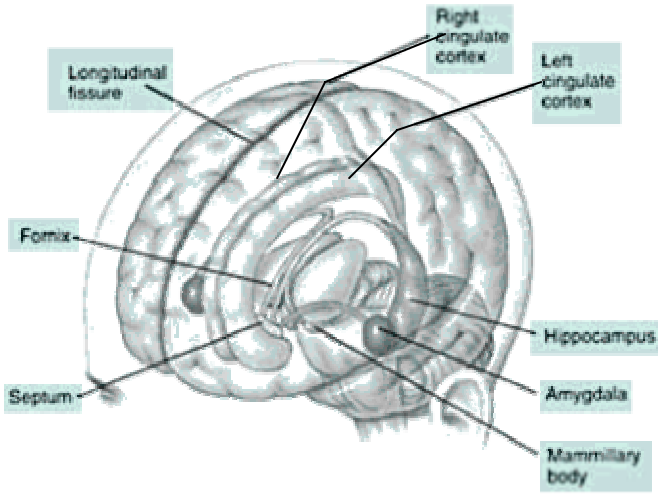
geordnete Verhaltensprozesse sowie emotionale Funktionen (Cameron, 2002; Pinel, 2005) und scheint eine Komponente des zentralen autonomen Netzwerks zu sein (Spyer, 1999).
Das Cerebellum erhält aszendierenden, afferenten Input aus dem Rückenmark, der Medulla und Pons, einschließlich des Locus coeruleus und der Raphékerne und besitzt Verbindungen zum Hypothalamus (Cameron, 2002). Viszerozeptiv relevante Afferenzen stammen aus dem NTS und vagalen Verbindungen (Cameron, 2001).
Aktuelle Befunde aus Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren von Critchley und Kollegen (2000a) demonstrieren zudem eine Aktivierung des Cerebellums in Assoziation mit dem Auftreten von Hautleitfähigkeitsreaktionen (SCR) während einer mentalen Aufgabe (Critchley et al., 2000a) sowie einen Anstieg des regionalen zerebralen Blutfluss (rCBF) u.a. im Cerebellum während einer Handgrip-Belastung sowie während einer mentalen Stress-Aufgabe (Critchley et al., 2000b). Zudem kovariierte der rCBF in dieser Studie (Critchley et al., 2000b) im Cerebellum mit dem mittleren arteriellen Blutdruck (MAP).
Weitere interessante Ergebnisse der Arbeitgruppe (Critchley et al., 2000b) stammen aus Untersuchungen bei Patienten, die unter „reinem autonomen Versagen“ („Pure Autonomic Failure“ – PAF) leiden. Darunter versteht man eine idiopathische Störung, welche im mittleren Lebensalter auftritt, und nur das periphere autonome Nervensystem befällt. PAF-Patienten können ihren körperlich, physiologischen Zustand nicht mehr über das autonome Nervensystem modulieren, da die Krankheit einer peripheren autonomen Denervierung gleichkommt. Somit besitzen diese Patienten auch kein viszerales Feedback aus der Peripherie. Diese Patienten weisen sonst jedoch keine neurologischen Defizite, weder sensorische noch motorische, auf. Critchley et al. (2001) konnten in einer PET-Studie bei dieser Patientengruppe u.a. einen im Vergleich zu Gesunden verminderten regionalen zerebralen Blutfluss (rCBF) im Cerebellum während einer Handgrip-Belastung sowie während einer mentalen Stress-Aufgabe nachweisen.

3.2.3.4. Amygdala

Der Corpus amygdaloideum wird zusammen mit anderen, auch kortikalen Hirnstrukturen aufgrund ihrer besonderen Vernetztheit miteinander traditionell zum „Limbischen System“ gerechnet. Dazu gehören v.a.: die Hippocampusformation, der Gyrus cinguli, Septum, Nucleus accumbens, Fornix und die Mammillarkörper (Pinel, 2005; Schandry, 2003). Häufig wird auch der Hypothalamus noch zum limbischen System gezählt (Cameron, 2002)
Moderne Sichtweisen gehen zunehmend von einem solchen System ab, da die genannten Strukturen weder von ihrer Funktion noch von ihrem histologischen Aufbau her eine besondere Zusammengehörigkeit aufweisen (Schandry, 2003a). Zudem schwankten die Aussagen bislang die Zugehörigkeit bestimmter Strukturen zu diesem System betreffend

(Pinel, 2005). Abbildung 3.9. zeigt, dass das limbische System durch ringförmig, um den Thalamus, angeordnete Strukturen gebildet wird, welche mehr oder weniger mit der Regulation motivierten Verhaltens zu tun haben (limbus = lat. Saum) (Pinel, 2005).

Abbildung 3.9. Hauptbestandteile des Limbischen Systems und Lage der Amygdala



Die Amygdala besteht aus Subnuclei, die sich zu zwei Gruppen zusammenfassen lassen. Die *kortikomediale Kerngruppe* sowie die *basolaterale Kerngruppe* (Schandry, 2003a). *Afferente Inputs* erreichen die Amygdala, v.a. die kortikomedialen Kerne über den Bulbus olfactorius und den Hypothalamus. Weitere Afferenzen gelangen aus den Septum-Kernen, dem Thalamus, den primären sensorischen Kortizes, den Frontal- und Temporallappen (z.B. insulärer Kortex), dem cingulären Kortex und das Subiculum zur Amygdala (Cameron, 2001, 2002; Schandry, 2003a). Zu allen genannten Strukturen existieren auch efferente Verbindungen, v.a. zum Hypothalamus. Output aus dem zentralen Nucleus betrifft v.a. sympathische und parasympathische autonome Funktionen, Arousal, Stress, Hormone, Aufmerksamkeitsfunktionen und spezifische emotionale Funktionen (Cameron, 2002).

Die Amygdala erfüllt ganz wesentliche emotionale und motivationale Funktionen (Furchtkonditionierung, emotionale Erfahrungen), welche in Kapitel 5 ausführlich beschrieben werden (siehe auch Pinel, 2005; Karnath & Thier, 2003).

Auch für interozeptive Prozesse ist die Amygdala nicht unwesentlich:

Critchley et al. (2002) konnten so neben einer Aktivierung des ACC, der Insula eine Aktivierung der Amygdala während einer Biofeedback-Aufgabe (Hautleitfähigkeit) eruieren. Bechara, Damasio & Damasio (2003) sehen die Rolle der Amygdala darin, dass diese Hirnstruktur somatische Zustände in Reaktion auf „primary inducers“ triggert (Emotionsinduktionsstruktur) und für die Entwicklung des orbitofrontalen Kortex und seiner Aufgabe der Triggerung von somatischen Veränderungen auf „secondary inducers“ hin, wichtig ist (siehe Kapitel 2.4.). Die Funktion der Amygdala sei fundamentalerer Natur, indem

sie spezifische Reize mit entsprechenden emotionalen Attributen koppelt, und somit somatische Zustände, evoziert durch primäre Auslöser, verarbeitet. Auch LeDouxs (1996) Befunde sprechen für diese Funktion der Amygdala (siehe Kapitel 5.1.1.1.). Bekanntlich besitzt die Amygdala in Damasios Theorie (siehe Kapitel 2.4.) neben ihrer emotionsgenerierenden Funktion auch eine repräsentierende und empfängt homöostatische peripher-physiologische Inputs.

Entsprechend liegen Befunde dafür vor, dass etwa peripher manipulierte Veränderungen der Herzrate zu einer Aktivierung der Amygdala führen (Henderson et al., 2002) sowie eine Signalübertragung aus dem NTS sowie Nucleus parabrachialis, dem dorsalen motorischen Vaguskern und Locus coeruleus zur Amygdala stattfindet (Cameron, 2002).

3.2.4. Kortex

Frühe psychologische Sichtweisen gingen davon aus, dass höhere mentale Funktionen mit „dem Bewusstsein“ assoziiert sind und dass das Bewusstsein im zerebralen Kortex „residiert“. Im Rahmen des Studiums interozeptiver Prozesse stellt sich die Frage, wie interne körperliche Zustände bewusst werden können. Gerade diese bewussten Prozesse und der Report über das Empfinden des eigenen Herzschlags spielen ja bei der Herzwahrnehmung eine wesentliche Rolle. Obwohl man sicher nicht behaupten kann, dass der Kortex der alleinige Sitz des „Bewusstseins“ ist (siehe auch Damasio, 1999, 2000), kann man davon ausgehen, dass gerade bei der bewussten Wahrnehmung viszeraler Prozesse Strukturen des zerebralen Kortex eine gewichtige Bedeutung haben (Cameron, 2002). Eine nachweislich bedeutende Rolle für Interozeption spielen insbesondere vier kortikale Regionen: *der insuläre Kortex, der cinguläre Kortex, der somatosensorische Kortex und der Präfrontalkortex.* (Cameron, 2002).

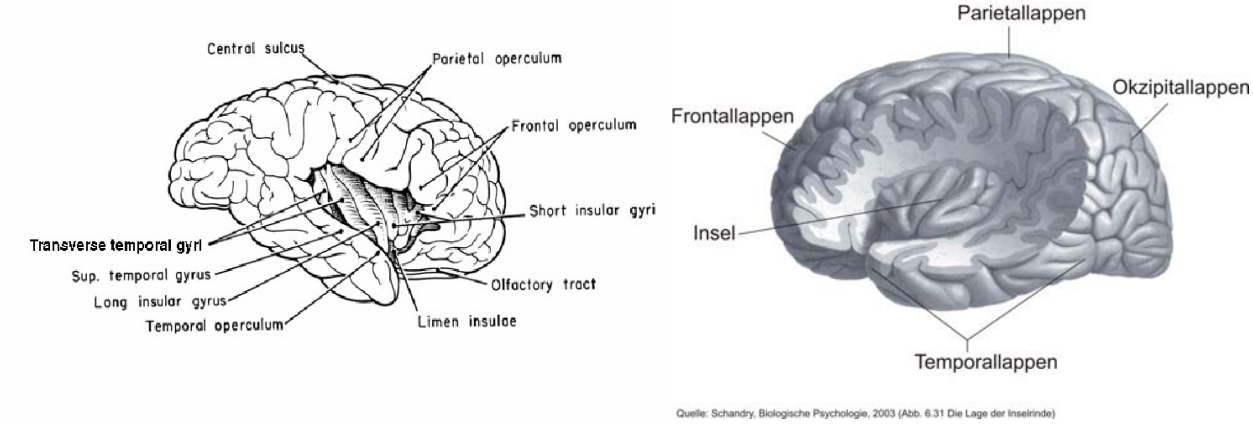
3.2.4.1. Insula

Unter allen zu nennenden Regionen des zerebralen Kortex spielt die Insula die eindeutigste und wichtigste Rolle bei der viszeralen Sensation (Cameron, 2002, 2002). Außerdem ist die Insula eine wesentliche Struktur innerhalb des zentralen emotionalen, autonomen Netzwerks und wird bei Emotionsinduktion aktiviert (Davidson & Irwin, 1999) (siehe Kapitel 5).
Die paarig angelegte Insula – (auch *„island of Reil“* genannt, nach dem gleichnamigen Anatom, der die Struktur im 16. Jahrhundert erstmals beschrieb) - stellt eine Region an der lateralen Oberfläche der Hemisphären dar, welche während der Hirnentwicklung zurückbleibt und von den sich stärker entwickelnden Hirnregionen überlagert und vom Temporallappen überdeckt wurde. Sie liegt tief am Boden der Fossa lateralis und wird von den temporalen Opercula überdeckt, so dass man an der Oberfläche der Hemisphären lediglich eine in die Tiefe führende Furche (Sulcus lateralis, Fissura Sylvii) erkennen kann (siehe Abbildung 3.10., nächste Seite). Am unteren Pol geht die Insula in die Riechrinde, den Palaeocortex über (Kahle, 1991). Die Insula ist Teil des zerebralen Kortex, wird häufig auch als fünfter Hirnlappen bezeichnet (Forssmann & Heym, 1985).

Eine der Hauptaufgaben des insulären Kortex besteht in der Regulation viszeraler, autonom-nervöser Prozesse (siehe Schandry, 2003a). Er besitzt sowohl viszeromotorische als auch viszerosensible Funktionen (Cameron, 2002).
Die Insula weist eine deutliche somatotopische funktionelle Organisation auf; dabei werden gastrointestinale und gustatorische Funktionen in der anterioren Inselregion, kardiovaskuläre

(einschließlich barorezeptorische) Funktionen in der posterioren Inselregion gefunden (Cameron, 2002; Cechetto & Saper, 1987).

Abbildung 3.10. Die Insula wurde durch die Entfaltung des Kortex in das Innere gedrängt und liegt unterhalb der temporalen Opercula.



(aus: Schandry, 2003a)

Die Insula besitzt einerseits zahlreiche *efferente* und *reziproke Verbindungen* zu verschiedenen subkortikalen Regulationszentren, v.a. etwa dem lateralen Hypothalamus (Oppenheimer et al., 1992) und zur Amygdala sowie zum Thalamus, Hippocampus und zum Riechhirn (Cameron, 2002). Zudem existieren direkte Projektionen zu bulbo-medullären Kernen, wie dem Nucleus tractus solitarius, dem Nucleus parabrachialis und zu parasympathischen motorischen Nuclei, aber auch zu den Raphékernen, den Locus coeruleus und die Retikulärformation (Cameron, 2002). Dadurch ist ein direkter Einfluss auf autonom-nervöse Regulationsprozesse, wie sie besonders am Herzen gezeigt werden konnten möglich (Cechetto & Saper, 1990; Hurley-Gius et al., 1986; Price & Amaral, 1981; Terreberry & Neafsey, 1983). Es liegen auch reziproke Verbindungen zum anterioren cingulären Kortex (ACC) sowie zum medialen Präfrontalkortex vor, als auch somatotopisch organisierte Verbindungen zum primären (SI) und sekundären (SII) somatosensorischen Kortex (Cameron, 2002). Letztere Strukturen bilden ebenfalls eine wesentliche anatomische Grundlage für viszerozeptive Prozesse.

Interessanterweise gibt es auch Verbindungen zwischen insulärem Kortex und auditorischem und visuellen Kortex sowie dem motorischen Kortex (Cameron, 2002). Besonders die Konnexionen zum visuellen Kortex scheinen sinnvoll, als für die Insula auch eine gewisse Bedeutung für die selektive visuelle Aufmerksamkeit beschrieben wird (Augustine, 1996; Cameron, 2002).

Stimulation der Inselrinde führt zu gastrointestinalen (gastrische Motilität, Übelkeit) und kardiovaskulären, vegetativen Reaktionen (Blutdruckveränderungen, kardiale chronotrope Veränderungen) sowie zahlreichen, weiteren vegetativen Veränderungen (Piloerektion, respiratorische Veränderungen, Dilatation der Pupillen, Salivation, Sekretion von Katecholaminen aus dem Nebennierenmark) sowie Übelkeit, Brechreiz, Geschmacksempfindungen und Sensationen im Bauchraum (z.B. Cameron 2002; Cechetto & Saper, 1991; Cechetto et al., 1989; Hall, Livingston & Bloor, 1977; Kahle, 1991; Myers, Norris & Hachinski, 1981; Ruggiero et al., 1987; Smith et al., 1986).
Insbesondere Hachinski und Mitarbeiter (z.B. Oppenheimer & Cechetto, 1990; Myers et al., 1981; Hachinski et al., 1986; Oppenheimer et al., 1991; Smith et al., 1986) haben in einer Reihe von tierexperimentellen Untersuchungen eindrucksvoll nachweisen können, dass die Insula (besonders posteriore Regionen) eine ganze Reihe an autonom-nervösen und neuroendokrinen Prozessen steuert und, dass Stimulation der Inselrinde (vermittelt über das sympathische Nervensystem) zu elektrokardiographischen Veränderungen, schweren kardialen Arrhythmien und sogar nekrotischen myokardialen Strukturveränderungen (Myocytolyse) führt.

Der insuläre Kortex erhält intensiven viszerosensorischen Input (Cechetto & Saper, 1990; Bennaroch, 1993; Augustine, 1996; Craig, 2002; Cameron, 2002) und integriert als *„primärer viszerosensorischer Kortex“* (Bennaroch, 1993) viszerale sowie somatosensorische, afferente Inputs. So wird der insuläre Kortex bei Stimulation der Barorezeptoren und Chemorezeptoren (Hanamori et al., 1998), bei kardiopulmonaler Reizung (King et al., 1999) sowie gustatorischer und viszeraler Stimulation (Cechetto & Saper, 1987; Cameron & Minoshima, 2002), aber auch durch Schmerzreize aktiviert (Barnett et al., 1995).
Liotti und Mitarbeiter (2001) zeigten eine Aktivierung der Insula auch bei der bewussten Wahrnehmung von schweren Atembeschwerden.

Aktuelle Arbeiten von Critchley et al. (2000a) konnten eine verstärkte regionale Durchblutung der rechten Insula evoziert durch körperliche sowie kognitive Belastung und eine positive Assoziation zwischen den auftretenden Herzratenveränderungen und dem Ausmaß der Aktivierung der rechten Insula aufzeigen. Ähnliches berichten King et al. (1999). Sie konnten eine erhöhte BOLD-Aktivität der ventralen Insula und des medialen Präfrontalkortex unter kardiovaskulären Stimulationsbedingungen (maximale Inspiration, Valsalva-Test, isometrischer Handgrip) nachweisen. Andere Befunde sprechen für eine Beeinflussung der Insula-Aktivierung nicht nur in Relation zur Intensität der körperlichen Belastung sondern auch zu perzipierten Veränderungen des Blutdrucks und der empfundenen subjektiven Erschöpfung (Williamson et al., 1999).

Nach Craig (2002) ist davon auszugehen, dass die viszerozeptive Bedeutung der Insula eine evolutionäre Spezialisierung darstellt, die für Primaten einzigartig ist, und auf die Entwicklung der oben (Kapitel 3.2.2.) beschriebenen Lamina-1 thalamokortikalen Verbindung zurückzuführen ist. Arbeiten von Craig (2002, 2003) ist zu entnehmen, dass im dorsalen Teil der Insula (dem interozeptiven Kortex), eine primäre Repräsentation homöostatischer Afferenzen stattfindet. Dieser dorsale Teil der Insula wird von Temperatur-, Schmerz-, muskulären, sowie viszeralen Signalen aktiviert (Craig, 2002, 2003). Sensu Craig (2002, 2003, 2004) wird das physiologische Feedback des gesamten Körpers in der dorsalen posterioren Insula repräsentiert, während in der rechten anterioren Insula zusätzliche Repräsentationen („Re-Mapping“) über den Lamina-1 thalamokortikalen Pfad bis zum orbitofrontalen Kortex vorgenommen werden (siehe Abbildung 3.5. Kapitel 3.2.2.). Letzteres bildet nach Craig, den Ausgangspunkt für die subjektive Bewertung interozeptiver Zustände (Craig, 2002).

Craig (2002, 2003) geht davon aus, dass sich das *„fühlende Selbst“ („feeling self“)* vor allem in der Aktivität der Insula darstellt (Craig, 2002, 2003). Diese „Körper“-Gefühle repräsentieren nach Craig (2004) das *„material me“* des Menschen.

Neuere Bildgebungsstudien bestätigten, dass der insuläre Kortex (der rechten Hemisphäre) durchaus Repräsentationen körperlicher Informationen besitzt und eine Basis für die bewusste, subjektive Bewertung des eigenen Befindens, des eigenen Zustands darzustellen scheint (z.B. Craig, 2002; Critchley et al., 2004). Diese Funktion der Insula stützt auch ein Befund der Arbeitsgruppe um A. Damasio (Damasio et al., 2000), welche anhand bildgebender Verfahren (fMRI) zeigen konnten, dass die Imagination und Erinnerung an emotionale Situationen zu einer Aktivierung der anterioren Insula führte.

Die Forschergruppe um Critchley (Critchley, Mathias & Dolan, 2001) demonstrierte, dass PAF-Patienten, unter mentaler (mentale Arithmetikaufgabe) und physischer Belastung (isometrische Handgrip-Aufgabe) – Aufgaben, welche bei gesunden Personen zu einem Anstieg des Blutdrucks und der Herzrate führen - eine generell, von der Aufgabenstellung unabhängige, geringere Aktivierung der rechten anterioren Insula zeigten als gesunde Kontrollpersonen. Critchley et al. (2001) sehen diesen Befund als Beleg für Damasios Modell, in dem die Insula ja eine Rolle als „first order“ Repräsentationsregion für körperliche Zustände besitzt.

Eine nachfolgende Morphometrie-Studie von Critchley et al. (2003) zeigte außerdem, dass Patienten mit „PAF“ eine im Vergleich zu gesunden Probanden signifikant verminderte graue Substanz in der Insula aufwiesen.

Ein weiterer wichtiger und aktueller Befund der Londoner Arbeitsgruppe um Hugo Critchley (Critchley et al., 2004) aus einer fMRI-Studie demonstriert, dass die Insula, sowie somatomotorische Kortizes, der inferiore parietale Gyrus und inferiore frontale Gyrus, als

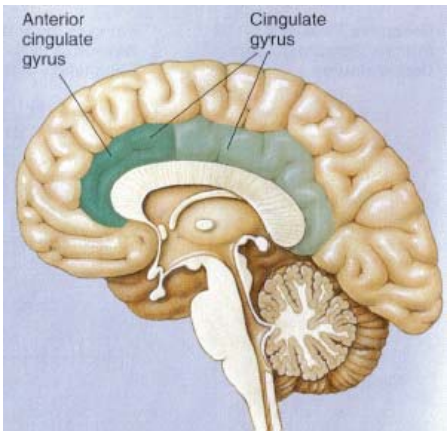
auch die anterioren cingulären Kortizes aktiviert werden, wenn die untersuchten Probanden ihre Aufmerksamkeit auf ihren Herzschlag richteten. Die Herzwahrnehmungsgenauigkeit korrelierte zudem signifikant mit der Aktivierung der rechten anterioren Insula. Anhand Voxel-basierter Morphometrie konnte des Weiteren eine positive Assoziation zwischen dem Volumen der grauen Substanz der Insula und der Herzwahrnehmungsgenauigkeit nachgewiesen werden. Die Herzwahrnehmungsgenauigkeit war zudem signifikant positiv mit Indikatoren des emotionalen Erlebens korreliert. Die Autoren resümieren, dass die rechte Insula viszerale Reaktionen repräsentiert, welche bewusst wahrgenommen werden können und somit ein Substrat für subjektive Gefühle darstellt sowie für die Koppelung von subjektiver, bewusster viszeraler Wahrnehmung („visceral awareness“) und subjektiven emotionalen Erlebens zuständig ist.
Ein ganz ähnliches aktuelles Ergebnis konnten Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann (2004) eruieren. Die fMRI-Studie zeigte eine Aktivierung des insulären Kortex während Probanden ihre Aufmerksamkeit auf ihren Herzschlag richteten. Zudem korrelierte die Aktivierung der anterioren Insula mit der Herzwahrnehmungsgenauigkeit und es konnten Interkorrelationen zwischen der Aktivierung im ACC, Herzwahrnehmungsleistung, Trait-Angst und Neurotizismus aufgezeigt werden. Letzteres spricht für eine Beziehung zwischen Herzwahrnehmung, negativem Affekt und Aktivierung der anterioren Insula und des ACC.

Zusammengefasst sprechen Ergebnisse zum ersten dafür, dass die (rechte) Insula ganz direkt mit der Prozessierung kardiovaskulären Arousals beauftragt ist (z.B. Critchley et al. 2000; 2001; Williamson et al., 1999; King et al., 1999) und zweitens bedeutsam für die Abbildung viszeraler Zustände sowie für die bewusste Wahrnehmung interozeptiver Signale ist (Craig, 2002; Bechara & Naqvi, 2004; Critchley et al., 2004). Aufgrund seiner Funktionen, welche sowohl emotionale Prozesse als auch die vegetative Regulation betreffen, wird davon ausgegangen, dass der insuläre Kortex, eine wesentliche Schaltstelle zwischen Emotionsregulation und viszeralen, vegetativen Prozessen darstellt (siehe Critchley et al., 2000b). Dafür spricht konkret ein hochaktueller Befund von Critchley et al. (2005) der zeigt, dass die Höhe der Aktivierung der Insula, in Verbund mit weiteren hierfür wesentlichen Strukturen (anteriorer cingulärer Kortex, Amygdala, und Hirnstammkerne) die Ausprägung des Herzratenanstiegs, welche auf emotionale Gesichter hin auftrat, vorhersagte. Die Insula scheint somit eine wichtige Struktur für die Integration von *bewusster Wahrnehmung* viszeraler Signale und Emotion zu sein.

3.2.4.2. Der cinguläre Kortex

Der Gyrus cinguli, traditionell zum limbischen System gehörend, bildet histologisch betrachtet eine Übergangsstruktur zwischen den alten Teilen des Hirnmantels (Allokortex) und den neuen Teilen (Isokortex) und stellt die im Medialschnitt betrachtet am tiefsten liegende Windung der Hirnrinde dar (siehe Schandry, 2003a).
Abbildung 3.11. demonstriert diese Lage des Cingulums und zeigt, dass der Gyrus cinguli vom Frontalhirnbereich bis in die okzipitalen Anteile des Gehirns zieht.

Abbildung 3.11. Lage des Gyrus cinguli (aus: Pinel, 2005)



Der Gyrus cinguli erhält zahlreiche Verbindungen aus dem Neokortex und sendet Efferenzen u.a. zum Hippocampus, zu Septumkernen und zur Amygdala. Aufgrund seiner Ausdehnung und ausgeprägten Projektionen zu Assoziationskortizes der Frontal-, Parietal- und Okzipitallappen ist der Gyrus cinguli ein wichtiges Informationsaustauschsystem, das zwischen alten und neuen Hirnanteilen vermittelt (Schandry, 2003a).
Diese Struktur, wie man bereits aufgrund der Größe und Lage vermuten mag, besitzt eine ganze Reihe an wichtigen Funktionen, *„that are difficult to quantify or even describe“* (Vogt, Finch & Olson, 1992). Diese reichen von viszeromotorischen- und viszerosensorischen, kognitiven (v.a. Aufmerksamkeitsprozesse), muskuloskelettalen Funktionen über emotionale Funktionen und bis zu wichtigen Funktionen bei der Repräsentation der Beziehung zwischen physiologischen Signalen und Objektvorstellungen (Cameron, 2001; 2002; Devinski et al., 1995; Cohen et al., 1999; Allman et al., 2001).

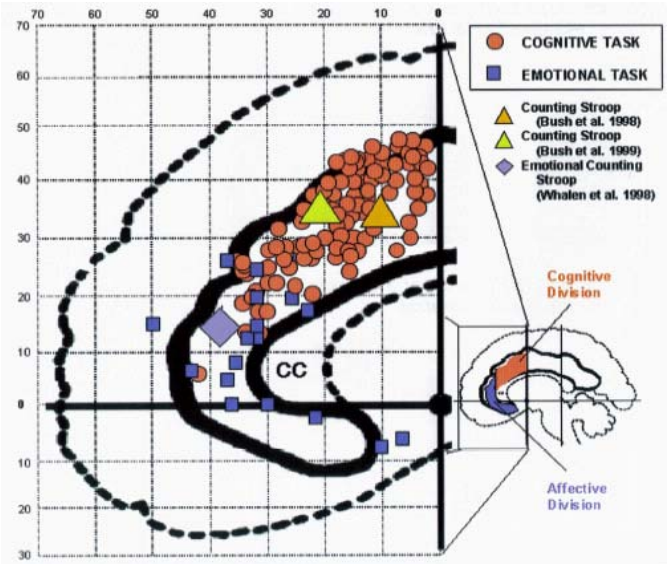
Der Gyrus cinguli ist prinzipiell in die Regelkreise zur Steuerung von viszeralen Funktionen (z.B. Respiration, kardiovaskuläre Funktionen, Verdauungsfunktionen) eingebunden (Schandry, 2003a; Critchley, 2004). Läsionen des anterioren cingulären Kortex (ACC) verhindern etwa die Generierung autonom-nervöser Arousalreaktionen (Critchley et al.,

2003). Auch Veränderungen des Muskeltonus und Störungen der Bewegungskoordination wurden bei Schädigungen dieser Struktur beobachtet (Schandry, 2003; Cameron, 2001).

Der Gyrus cinguli wird in einen *anterioren* und einen *posterioren Teil* aufgeteilt, welchen unterschiedliche Funktionen zugeschrieben werden (z.B. Cameron, 2003; 2002) (siehe auch Abbildung 3.12.).
Das *anteriore Cingulum* (anteriorer cingulärer Kortex – ACC) ist mit einer Reihe von Strukturen, v.a. der Insula, Amygdala, dem Hypothalamus, Hirnstamm, Präfrontalkortex und ventromedialem Temporalkortex reziprok verbunden (Critchley, 2004; Cameron, 2001). Es wird dabei auch eine besondere Region unterschieden, die so genannte *infracallosale Region*, die, wie der Name schon bezeichnet, anterior, unterhalb des Corpus callosums liegt, und besonders für viszerale Funktionen zuständig ist (Cameron, 2001). Area 24 des anterioren Cingulums gilt als besonders bedeutsam für die viszeromotorische Regulation (Vogt et al., 1992).
Der *posteriore Teil des Cingulums* weist ebenfalls zahlreiche Konnexionen, besonders mit dem Okzipital- und Parietalkortex, dem Präfrontalkortex und den frontalen Augenfeldern, dem Hippocampus und dem dorsalen Striatum auf (Cameron, 2001; 2002).

Neuere Befunde sprechen für eine *funktionelle Differenzierung innerhalb des anterioren cingulären Kortex (ACC)*: Zahlreiche Studien, welche unterschiedliche kognitive und affektive Paradigmen verwendeten, haben demonstriert, dass die ventrale Region des ACC affektive und die dorsale gelegene Region kognitive Funktionen unterstützt (siehe Davidson et al., 2003) (siehe Abbildung 3.12.).

Abbildung 3.12. Anteriorer cingulärer Kortex: kognitive und affektive Funktionen (aus: Davidson et al., 2003)



Aufmerksamkeitsfunktionen betreffend, so gibt es zahlreiche Studien, welche zeigen, dass Aktivierung des ACC während Stroop-Interferenz-Aufgaben sowie geteilter vs. fokussierter Aufmerksamkeit stattfindet. Zudem zeigt sich eine ACC-Aktivierung bei semantischer Assoziation und der Kontrolle okulomotorischer, manueller und sprachlicher Reaktionen (siehe Lane et al., 1998). Diese Studien zeigen, dass der ACC aktiviert wird, wenn es um die Selektion von Zielreizen, geteilte Aufmerksamkeit und bewusstes Handeln geht. Für den dorsalen ACC wird eine relevante Bedeutung für Fehlerverarbeitung, Konfliktverarbeitung und Reaktionsauswahl belegt (Kerns et al., 2004).
Nach Lane et al. (1998) erleichtert der ACC adäquate Reaktionen und unterdrückt unbrauchbare Aktionen und wird aktiviert, wenn die Aufmerksamkeit auf einen Stimulus gerichtet wird, der die Auswahl einer geeigneten Handlung leiten soll.
Auch bei der Evaluation und Verarbeitung emotionaler Stimuli spielt der ACC eine wesentliche Rolle (siehe Kapitel 5.1.2.; Phan et al., 2000; Beauregard, Levesque & Bourgouin, 2001): Es gibt zahlreiche Befunde für eine ACC-Aktivierung während Schmerzerlebens und Emotionen. PET-Untersuchungen haben eine Aktivierung des ACC während Erinnerung an traurige Situationen, während der Wahrnehmung emotionaler Gesichter, Provokationen von Symptomen der Postraumatischen Belastungsstörung, sowie der Antizipation einer intellektuellen Herausforderung gezeigt (George et al., George et al., 1993; Rauch et al., 1996; Murtha et al., 1996).
Auf die weitere emotionale Bedeutung des cingulären Kortex wird in Kapitel 5.1.2. eingegangen.

Aktuelle Befunde deuten auf eine weitere funktionelle Differenzierung zwischen anteriorem und posteriorem Cingulum hin, wobei der posteriore cinguläre Kortex für *evaluative Prozesse* und der anteriore cinguläre Kortex für *exekutive, motivationale Prozesse* relevant sei (Lane et al.,1998). Die evaluative Funktion des posterioren Cingulums bestehe in einem „Monitoring“ von sensorischen Ereignissen, einschließlich physiologischer, körperlicher Erregung, und emotionaler Prozesse (siehe Lane et al.,1998). Critchley et al. (2001) verweisen in ihrer ersten Untersuchung mit PAF-Patienten darauf, dass der posteriore cinguläre Cortex ein neurales Substrat für die Kartierung der kontextuellen Beziehung von körperlichen Zuständen im Sinne eines „Repräsentationsareals zweiter Ordnung“ darstellt.
Allerdings hat das Gros aktueller Studien v.a. die Bedeutung des ACC für interozeptive Verarbeitung und für die Integration interozeptiver und emotionaler Prozesse herausgestrichen:
Teves et al. (2004) zeigten eine Aktivierung des ACC induziert durch autonomes Arousal hervorgerufen durch Hxpoglykämie, also durch eine relativ einfache physiologische Herausforderung, welche keine besondere kognitive oder emotionale Anforderungen stellt

(siehe Critchley et al., 2004). Critchley et al. (2000b) zeigten zudem in einer fMRI-Untersuchung, dass die Aktivität des anterioren cingulären Cortex (ACC) mit dem kardiovaskulären Arousal positiv kovariierte.

Eine weitere Studie von Critchley et al. (2005) demonstrierte, dass das Ausmaß der Aktivierung des anterioren Cingulums, zusammen mit dem weiterer verbundener Hirnregionen, wie der Insula, Amygdala, und Hirnstammkernen, die Ausprägung des Herzratenanstiegs in Reaktion auf emotionale Gesichter vorhersagte. In einer PET-Studie von Cameron & Minoshima (2002) wurde durch die Provokation kardiovaskulären Arousals (i.V. Verabreichung von Isoproterenol) der cinguläre sowie der insuläre Kortex aktiviert.

Der ACC wird ebenfalls aktiviert, wenn die Aufmerksamkeit auf interne körperliche Prozesse (Herzwahrnehmung) gerichtet wird (Critchley et al., 2004; Pollatos et al., 2004b). Während Critchley et al. (2004) eine starke Assoziation zwischen rechtem anterioren insulären Kortex sowie interozeptiver Wahrnehmungsgenauigkeit und subjektivem, emotionalem Empfinden eruierten, konnten Pollatos et al. (2004b) eine Interkorrelation zwischen ACC-Aktivierung, Herzwahrnehmungsleistung, und emotionalen Indikatoren (Trait-Angst, Neurotizismus) aufzeigen.

Die Bedeutung des cingulären Kortex bei der bewussten Wahrnehmung viszeraler Prozesse unterstützen auch Studien, welche sich mit der Wahrnehmung von Angina Pectoris und stillen Ischämien am Herzen beschäftigten (Rosen et al., 1994; Rosen et al., 1996)

Lane et al. (1997) konnten eine Aktivierung des anterioren cingulären Kortex (ACC) eruieren, während Probanden ihre Aufmerksamkeit selektiv auf ihre subjektive emotionale Reaktion richteten.

Des Weiteren gibt es zunehmend Belege dafür, dass der ACC eine wesentliche Rolle bei der Wahrnehmung und bewussten Selbst-Regulation subjektiver Gefühle spielt (Phan et al., 2002; Damasio, 2000). Auch Beauregard et al. (2001) demonstrierten, dass der rechte anteriore cinguläre Kortex an der bewussten, willkürlichen Eigen-Regulierung von emotionalen Reaktionen beteiligt ist.

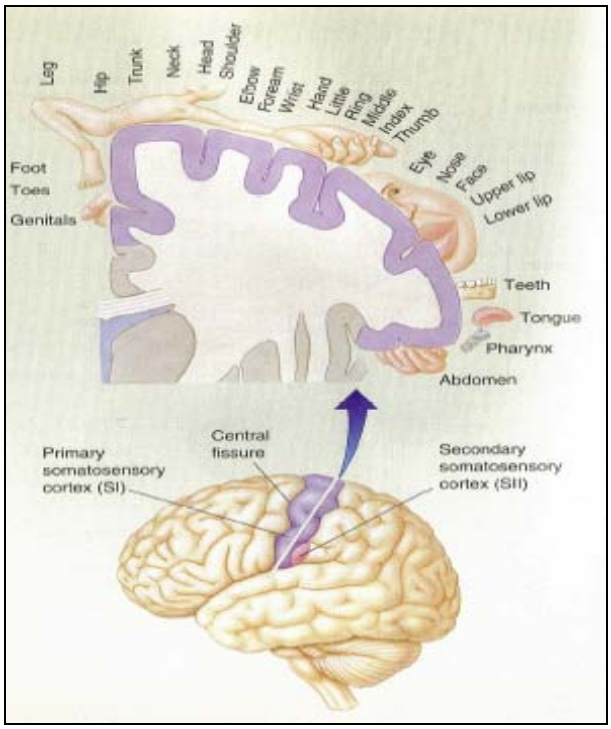
In Damasios Modell (1994, 2000) stellt das Cingulum eine wichtige Repräsentationsregion zweiter Ordnung dar und ermöglicht eine dynamisches „Re-mapping“ des körperlichen Zustands des Organismus in Reaktion auf den Verhaltens- und Umweltkontext (siehe auch Critchley et al., 2001); stellt damit also eine Integration der Informationen aus dem Körper mit Informationen aus der Außenwelt her. Damasio spezifiziert die Bedeutung des anterioren und posterioren Cingulums nicht wirklich, jedoch konnte Damasio diese wichtige Funktion vor allem für den ACC zeigen. Er demonstrierte, dass die Generierung von Gefühlen auch des ACC bedarf, welcher für das „Mapping“, also die Abbildung, und die Regulation interner körperlicher Zustände ist (Damasio et al., 2000).

Insgesamt deuten diese Befunde darauf hin, dass nicht nur der insuläre Kortex sondern auch v.a. der ACC sowohl für das bewusste Erleben interozeptiver Signale als auch für das emotionale Erleben eine gewichtige Bedeutung haben (Critchley, 2004). Beide Strukturen stellen somit eine enge Verbindung zwischen Emotionsverarbeitung und Viszerozeption her (siehe auch Cameron, 2001). Zudem ist der ACC nicht nur ganz wesentlich für die interozeptive sondern auch exterozeptive Detektion emotionaler Reize zuständig (Lane et al., 1997).
Die Frage, inwieweit sich die spezifischen Beiträge von Insula und ACC bzgl. der Assoziation von Emotionsverarbeitung und Interozeption exakt unterscheiden, ist zum jetzigen Stand der Forschung noch nicht zu beantworten.

3.2.4.3. Der Somatosensorische Kortex

Der somatosensorische Kortex wird anatomisch in zwei Regionen, den primären (S1) und den sekundären somatosensorischen Kortex (S2) unterteilt. Die S2 Region ist kleiner als die S1 Region (welche weitgehend dem Gyrus postcentralis entspricht), und liegt hinter der lateralen Fissur, in der Nähe des insulären Kortex (Cameron, 2001) (siehe Abbildung 3.13.). Beide Regionen zeigen analog zum primären motorischen Kortex eine somatotopische Gliederung („sensorischer Homunculus“ siehe Abbildung 3.13.).

Abbildung 3.13. Lage des somatosensorischen Kortex und „Homunculus“ (aus: Pinel, 2005)



Die Repräsentation des Körpers ist kontralateral abgebildet. Im primären somatosensorischen Kortex enden afferente Fasern, welche Information aus den Sehnen und Gelenkrezeptoren, der Haut und Muskelspindeln transportieren. Die somatosensorische Rinde per se empfängt ihre afferenten Fasern vom Nucleus ventralis posterior thalami in einer somatotopischen Ordnung (Kahle et al., 1991). Es gibt Belege für die Repräsentation sympathischer, afferenter Information im somatosensorischen Kortex sowie für Konvergenzen zwischen viszeraler und somatischer sensorischer Information in dieser Region (Cameron, 2002; Cechetto & Saper, 1990).

S2 weist eine vollständige sensible Repräsentation der kontralateralen Körperhälfte auf. In dieser Region findet eine assoziative und interpretierende Zuordnung von Informationen aus dem primären somatosensorischen Kortex statt (Schandry, 2003a).
Die tertiären Rindenfelder des somatosensorischen Kortex besitzen eine noch ausgeprägtere integrative Funktion verschiedener Information aus unterschiedlichen sensorischen Quellen und sind u.a. bedeutsam für die Konstitution des Körperschemas sowie der Koordination des Körpers im Raum (z.B. Kahle et al., 1991).

Damasio (1999, 2000) beschreibt in seinem Modell, dass das Zusammenspiel des somatosensorischen Kortex, S1 und S2, zusammen mit dem insulären Kortex, den aktuellen Zustand des Organismus am vollständigsten auf der Ebene der Großhirnrinde repräsentiert. Diese Strukturen stellen demnach die wichtige Grundlage für die Konstituierung des „Proto-Selbst“ dar, welches aus einer zusammenhängenden Sammlung von neuronalen Mustern, die den physischen Zustand des Organismus dynamisch abbilden, bestehen soll und uns nicht bewusst ist (siehe Kapitel 2.4.; Damasio, 1999, 2000). Der somatosensorische Kortex gehört, diesem Modell nach also zu den Strukturen einer „first order representation of self“ (Damasio, 2000).
Diese interozeptiv wichtige Funktion bestätigten eine Reihe von Studien, welche zeigten, dass im somatosensorischen Kortex sehr fundamentale körperliche, viszerale Informationen (z.B. Schmerz- und Temperatursensationen) verarbeitet werden (z.B. Hendry, 1999; Craig, 2002).
Aktuelle Studien zeigten, dass S1 vornehmlich für die diskriminative Analyse somatosensorischer Information zuständig ist, während die viszeralen Afferenzen aus dem distalen Oesophagus primär zu S2 projizieren (Schnitzler, et al., 1999).
Ähnliche Befunde gibt es von Aziz et al. (1995, 2000) sowie Furlong et al. (1998), die ebenfalls eine Aktivierung somatosensorischer Kortexregionen in Reaktion auf oesophagale Stimulation hin zeigen konnten sowie von Cameron & Minoshima (2002), die neben einer

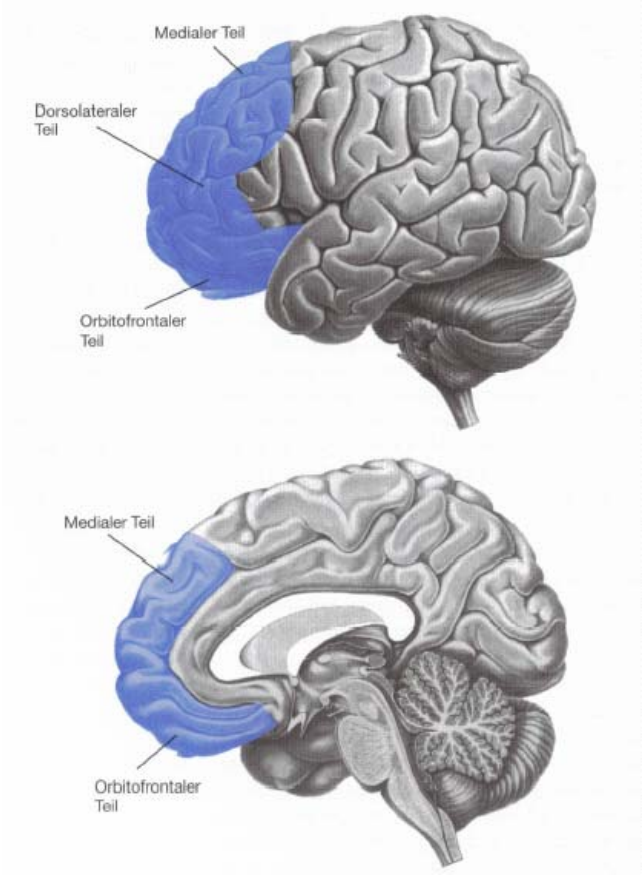
Aktivierung der rechten Insula und des medialen cingulären Kortex eine Aktivierung des somatosensorischen Kortex bei kardiovasulärem Arousal nachwiesen.
Critchley et al. (2001) zeigten, dass PAF-Patienten, unter mentaler und physischer Belastung eine aufgabenunabhängige verminderte Aktivierung des primären somatosensorischen Kortex aufwiesen, was die Autoren als Unterstützung für die Auffassung des somatosensorischen Kortex als primäre Repräsentationsregion körperlicher Zustände (Damasio, 1999) interpretierten.
Damasio et al. (2000) demonstrierten zudem, dass der somatosensorische Kortex auch bei der Induktion von Emotionen und ihrem Empfinden aktiviert wird.

Eine sehr interessante Untersuchung die Erkennung und Konzeptualisierung von Emotion betreffend, stammt von Adolphs et al. (2000): Die Autoren untersuchten die Erkennungsleistung und das Benennen von Emotionen bei Patientengruppen mit fokalen Läsionen des Gehirns. Sie zeigten Bilder mit emotional signifikanten Gesichtern und untersuchten die Erkennungsleistung und das Benennen von Emotionen. In Zusammenschau mit MR-Aufnahmen des Gehirns der Patienten und der entsprechenden Läsionen konnten Adolphs und Mitarbeiter (2000) demonstrieren, dass das Erkennen visueller emotionaler Information (in diesem Falle Gesichtsausdruck) v.a. der rechten somatosensorischen Kortizes (S1 und S2) bedarf, wobei auch die Insula einen gewissen Beitrag hierzu leistete. Zudem zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Beeinträchtigung der somatischen Sensation und einer beeinträchtigten Erkennung emotionaler Gesichtsausdrücke. Die Autoren gehen davon aus, dass somatosensorische Repräsentationen sehr wesentlich bei der Verarbeitung und Erkennung von Emotionen sind. Bei der Emotionsverarbeitung sind somit auch Strukturen aktiviert, die wie der somatosensorische Kortex nicht nur Repräsentationen von somatischen sondern auch viszeralen Information bereitstellen (Adolphs et al., 2000).
Diese interessanten Ergebnisse decken sich mit der Idee, dass wir den emotionalen Zustand einer anderen Person dadurch erkennen können, indem wir intern somatosensorische Repräsentationen generieren, die dann simulieren, wie sich die andere Person fühlt, wenn sie etwa einen bestimmten Gesichtsausdruck zeigt (Adolphs et al., 2000). Die Vorstellung, dass eine somatosensorische Simulation wesentlich ist, um Wissen über von anderen Individuen signalisierte Emotionen wieder abzurufen, hängt mit der von Philosophen und Kognitionswissenschaftlern vorgeschlagenen Idee zusammen, dass mentale Simulation unser Wissen darüber leitet, was im Denken anderer vor sich geht (Newen & Vogeley, 2001). Diese Hypothese fand in letzter Zeit in der Hirnforschung besondere Aufmerksamkeit und wird unter dem Begriff der ***„Spiegel-Neurone“ („mirror neurons“)*** aktuell diskutiert (z.B. Newen & Vogeley, 2001; Singer et al., 2004).

3.2.4.4. Der Präfrontale Kortex

Der Präfrontalkortex wird im Allgemeinen als mulimodaler Assoziationskortex aufgefasst, der für so genannte „höher geordnete“ menschliche Eigenschaften und Fertigkeiten – z.B. Planen, Problemlösen, Urteilen, vorausschauendes Denken, Verantwortungsfähigkeit, Flexibilität des Verhaltens und kognitive Kontrolle, Arbeitsgedächtnis u.v.m. (Karnath & Thier, 2003; Pinel, 2005) zuständig ist. Er spielt aber auch eine wesentliche Rolle bei der emotional-motivationalen Kontrolle (siehe Kapitel 5.1.4.) als auch bei der Kontrolle autonom-nervöser und hormoneller Prozesse (Cameron, 2002; Craig, 2002, 2004).
Mit dem Begriff des präfrontalen Kortex wird der vordere Teil des Frontallappens bezeichnet. Der menschliche präfrontale Kortex reicht nach hinten bis in die Broca-Sprachrepräsentation im Gyrus frontalis inferior, und erreicht beim Menschen seine maximale relative Ausdehnung (Karnath & Thier, 2002) (siehe Abbildung 3.14.). Er liegt anatomisch betrachtet im Nebenschluss der Hauptverarbeitungswege, die vom Reiz zur Reaktion führen und ist das Ziel des dopaminergen Belohnungssystems (Karnath & Thier, 2003).

Abbildung 3.14. Präfrontalkortex (aus: Karnath & Thier, 2003)



Der Präfrontalkortex ist das Ziel von Projektionen v.a. aus dem dorsomedialen Kern des Thalamus und dem Hirnstamm. Über den dorsomedialen Thalamus entstehen reziproke

Verbindungen von und zu Amygdala, Hypothalamus, Septumkernen und Mittelhirntegmentum (Karnath & Thier, 2002). Zudem bestehen Konnexionen zwischen Präfrontalkortex und ACC, Insula und Temporallappen sowie dem Hippocampus (Karnath & Thier, 2003; Craig, 2002). Der präfrontale Kortex erhält ferner Eingänge aus einer Reihe neokortikaler Regionen, u.a. aus dem parietalen und inferotemporalen Kortex, die verschiedenen Aspekten der Sensorik und Sensomotorik dienen (Karnath & Thier, 2003; Craig, 2002).

Auf der Basis zytoarchitektonischer als auch aufgrund unterschiedlicher Funktionen wird der Präfrontalkortex in drei Teilbereiche untergliedert: *Orbitofrontalkortex, ventromedialer Präfrontalkortex* und *dorsolateraler Präfrontalkortex* (Karnath & Thier, 2003; Schandry, 2003) (siehe Abbildung 3.14.).
Die funktionelle Differenzierung der drei Regionen des Präfrontalkortex ist noch nicht eindeutig geklärt. Es wird davon ausgegangen, dass der dorsolaterale Präfrontalkortex v.a. relevant für die Ziele emotionaler Verhaltensmuster ist, also für das Erreichen einer Belohung oder die Vermeidung unangenehmer Situationen (siehe Damasio, 2000; Schandry, 2003a). Der ventromediale Präfrontalkortex scheint stärker bei der Repräsentation von basalen, positiv oder negativ getönten Stimmungen beteiligt zu sein sowie bei der Antizipation zu erwartender emotionaler Konsequenzen (Schandry, 2003a).
Der Orbitofrontalkortex hat sehr wichtige Funktionen für die Emotionsregulation. Besonders bei Änderungen der emotionalen Bedeutung eines Reizes wird der Orbitofrontalkortex aktiviert (Schandry, 2003a). Er scheint nach heutigen Kenntnissen wesentlich für die Diskrimination positiver und negativer Reize bzw. der Dekodierung relevanter Reize für Annäherungs- und Vermeidungsverhalten zu sein (Craig, 2002).

Der Präfrontalkortex, besonders der orbitofrontale Teil, ist bei der Regulation kardiovaskulärer Prozesse involviert (Cameron, 2002, Critchley et al., 2000; 2001; Williamson et al., 1999; 2002; King et al., 1999). Vor allem ausgiebige tierexperimentelle und Humanstudien von Skinner (z.B. Skinner, 1988) haben demonstriert, dass Läsion oder Stimulation des orbitofrontalen Kortex zu schwerwiegenden kardialen Arrhythmien (z.B. ventrikuläre Fibrillation) sowie sympathisch vermittelten morphologischen Schädigungen des Myokards führen.
In Kapitel 3.2.2. und 3.2.3. dargestellten Schemata zu afferenten Pfaden aus dem Körperinneren zum Kortex spielt insbesondere der orbitofrontale Kortex zusammen mit dem anterioren insulären Kortex eine wichtige Rolle bei der bewussten Wahrnehmung viszeraler und körperlicher Signale und für die Integration mit emotional-motivationalen Erlebensaspekten. Nach Craig (2002, 2004) bildet der orbitofrontale Kortex den Endpunkt

der körperinternen Repräsentationen und wird als bedeutsam für die emotionale Evaluation der afferenten somatosensorischen und viszerosensorischen Signale erachtet.

Damasio (2000) betont in seiner Theorie (siehe Kapitel 2.4.) v.a. die Bedeutung des ventromedialen Präfrontalkortex. Demnach ist besonders bei der Emotionsinduktion durch „secondary inducers" (Erinnerung an oder Vorstellung emotionaler Ereignisse bzw. Reize) und dadurch ausgelöste somatische und physiologische Zustände der ventromediale Präfrontalkortex relevant (Bechara, Damasio & Damasio, 2003). Der ventromediale Präfrontalkortex stellt in Damasios System aber nicht nur eine wichtige Emotionsinduktionsstruktur („emotion induction site") sondern auch eine wichtige Repräsentationsregion zweiter Ordnung dar, welche die dynamische Beziehung zwischen Objekt und Organismus herstellt, und für das Bewusstsein des eigenen Befindens („Kernselbst") wichtig sind.

Craig et al. (2000) konnten entsprechend demonstrieren, dass die Aktivierung der rechten anterioren Insula sowie des rechten Orbitofrontalkortex signifikant mit der subjektiven Bewertung von applizierten Wärmereizen korreliert war.

Des Weiteren haben Befunde aus der Forschungsgruppe um Damasio (Damasio et al., 1991; Bechara, 2004; Bechara et al., 1996; 1997; 1999; Tranel, 1994) zeigen können, dass der ventromediale Präfrontalkortex ganz wesentlich bei der Verarbeitung und Verwertung von somatischen Markern bei Entscheidungsprozessen und der vorteilhaften Auswahl von Handlungsalternativen sowie bei der Generierung von antizipatorischen autonomen Reaktionen ist (siehe Kapitel 2.4.6. und 4.4.2.)

Auch aktuelle empirische Befunde demonstrieren die Bedeutung präfrontaler Kortexregionen für höher-geordnete interozeptive Prozesse:

Harper et al. (1998) konnten anhand einer fMRI Untersuchung zeigen, dass die Manipulation respiratorischer und kardiovaskulärer Aktivität (durchgeführt anhand Valsalva-Test, maximale Inspiration, Hyperkapnie, Cold-Pressure-Test) zu einer Aktivierung des orbitalen Kortex führte. Es gibt mittlerweile aktuelle Belege dafür, dass der dorsolaterale Präfrontalkortex eine wichtige Rolle bei der Genese des in Kapitel 4.3. näher beschriebenen „heartbeat evoked potential" spielt (Pollatos et al., 2005). Auch Critchley et al. (2004) konnten in der bereits öfter zitierten fMRI-Untersuchung zeigen, dass die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den eigenen Herzschlag zu einer Aktivierung u.a. von Teilen des Präfrontalkortex führte. Critchley et al. (2000b) demonstrierten auch eine deutliche Korrelation zwischen dem Ausmaß der Aktivierung im orbitofrontalen und medialen Präfrontalkortex und der Hautleitfähigkeit in einer emotionalen Situation.

3.3. Interozeption: „Wie man sich fühlt“

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass über die geschilderten anatomischen Pfade aus der Körperperipherie zum Kortex (v.a. den Lamina I thalamokortikalen Pfad) beim Menschen eine direkte Repräsentationen homöostatischer, afferenter Aktivität möglich ist, welche sich in distinkten Körpergefühlen äußert (z.B. Schmerz, Hunger, Durst, Geschmack Wärme, Muskelschmerz, viszerale Sensationen). Diese Gefühle repräsentieren nach Craig (2004) das *„material me“* des Menschen. Damit konvergiert Craigs Auffassung mit dem Modell Damasios, in dem die afferente sensorische Repräsentation des homöostatischen Zustands des Körpers die Basis für mentale Repräsentationen des „Selbst“ darstellt und durch rekursive Meta-Repräsentationen dieser homöostatischen Gefühle eine Grundlage zur Differenzierung der äußeren und der inneren Welt möglich wird.
Die geschilderten Befunde, welche gezeigt haben, dass sowohl im anterioren insulären Kortex aber auch im ACC ein deutliches Konvergieren von bewusster Wahrnehmung körperlicher Zustände und subjektiv-emotionalem Erleben stattfindet, lassen den Schluss zu, dass v.a. diese beiden Regionen zusammen mit dem präfrontalen Kortex als wesentliche Kandidaten für neuronale Repräsentanten des *„material me“* in Betracht zu ziehen sind (Craig, 2004; Critchley et al., 2004).
Craig (2004) betont eine weitere Fassung und Ausdehnung des Begriffs Interozeption, ähnlich wie dies Damasios Modell beinhaltet. Interozeption bedeutet demnach den Zustand „wie man sich fühlt“ (*„how you feel“*, Craig, 2004, S. 239). Die sukzessiv stattfindenden interozeptiven „Upgrades“ körperlicher Repräsentationen sind somit direkt assoziiert mit unterschiedlichen Graden an bewussten Gefühlen und emotionalem Erleben (Craig, 2004).
Zusammen mit Craig (2004) kann man daher direkt formulieren, dass:

> *„…individual differences in emotional awareness are predicted to be directly related to differences in the capacity for interoceptive feelings“ (Craig, 2004, S. 240).*

Sensu Craig (2002, 2004) ist daher davon auszugehen, dass individuelle Unterschiede in der Größe und dem Aktivierungsgrad besonders des insulären Kortex, des ACC und des präfrontalen Kortex mit unterschiedlicher guter Interozeptionsfähigkeit und „emotional awareness“ assoziiert sind. Eine unterschiedlich gut ausgeprägte Interozeptionsfähigkeit ist folglich direkt auch gekoppelt mit einer unterschiedlich ausgeprägten emotionalen Bewusstheit (Craig, 2004). Craig (2004) geht auch davon aus, dass diese Unterschiede in der Interozeptionsfähigkeit, die eng mit den

genannten wichtigen Hirnstrukturen verkoppelt sind, gelernt und aufgrund der Plastizität des Gehirns gefördert oder vernachlässigt werden können.

Wie zuletzt erörtert und Craigs (2004) Logik folgend, möchte ich nun auf interindividuelle Unterschiede in der Interozeptionsfähigkeit eingehen. Diese wurden bislang besonders am Beispiel der Herzwahrnehmungsfähigkeit bzw. Kardiosensibilität untersucht.

4. Viszerale Sensibilität: Kardiosensibilität

Anknüpfend an das Einführungskapitel zum Thema Interozeption (Kapitel 3.1) sowie an die aus den neuroanatomischen Kenntnissen zur Interozeption sich entwickelnden aktuellen Sichtweisen (Craig, 2004; Damasio, 2000) möchte ich nunmehr spezifischer auf das Thema viszerale Sensibilität, im Besonderen Kardiosensibilität sowie auf konkrete empirische Befunde hierzu eingehen.

Die kardiovaskuläre Interozeption stellt prinzipiell einen zentralen Bereich der Interozeptionsforschung dar. Sie gilt nach Vaitl (1995) in methodischer und theoretischer Hinsicht in gewissem Sinne als Vorreiter für andere Zweige der Interozeptionsforschung.

Die bewusste interozeptive Wahrnehmung bzw. Perzeption wird am häufigsten via Methoden der Erhebung der Herzwahrnehmungsfähigkeit untersucht.

4.1. Verfahren zur Messung der Kardiosensibilität

Der Anstoß, sich wissenschaftlich mit der Herzwahrnehmung (Kardiozeption) zu beschäftigen, kommt ursprünglich aus der Biofeedback-Forschung (Vaitl, 1995). Aus diesem Interesse heraus sind Methoden zur Quantifizierung der Herzwahrnehmung entstanden.

Bei diesen Methoden geht es vornehmlich um die Sensibilität für die Herzschlagfolge, also die bewusste Wahrnehmung der eigenen Herzaktivität, was ich im Folgenden als Herzwahrnehmungsfähigkeit bzw. Kardiosensibilität bezeichnen werde.

Dabei bemisst sich diese nach dem Grad der Übereinstimmung zwischen aktueller Herzschlagfolge und subjektivem Urteil bzw. bestimmten Verhaltensmaßen.

Hierzu existierende Messmethoden unterscheiden sich nach Vaitl (1995) danach, inwieweit das EKG als Referenzsignal herangezogen wird.

Es existieren demnach so genannte prozessferne Instrumente, wie *a) Fragebögen*. Hier zu nennen wären Fragebögen zur Körperwahrnehmung, welche v.a. die Meinung der Probanden über ihre Interozeptionsfähigkeit abbilden, wobei allerdings so gut wie nie ein Zusammenhang mit physiologisch registrierbaren Messgrößen besteht. Beispiel dafür sind etwa der “Autonomic Perception Questionnaire“ (APQ) nach Mandler et al. (1958) oder der „Somatic Perception Questionnaire“ (SPQ) von Landy & Stern (1971). Gerne wird auch in aktuellen Untersuchungen der „Body Perception Questionnaire“ von Porges (1993) eingesetzt (Critchley et al., 2004). Was die Zweifelhaftigkeit der Validität dieser Verfahren betrifft, so berichten Critchley et al. (2004) von keinerlei signifikanten Beziehungen zwischen der Herzwahrnehmungsfähigkeit gemessen über eine „Detektionsaufgabe“ und den Werten im „Body Perception Questionnaire“, sowie von keinerlei Beziehung des letzteren mit sinnvollen BOLD-Reaktionen in relevanten Hirnstrukturen.

Bereits näher am Geschehen der Herztätigkeit, aber nach Vaitl (1995) immer noch relativ prozessfern, sind *b) Verfahren der ipsativen Skalierung des Belastungsempfindens*. Hierbei erfolgt die Einschätzung der Herzrate auf verschiedenen Stufen körperlicher Belastung, z.B. auf dem Fahrradergometer. Die Herzrate steigt mit zunehmender Belastung an, und deshalb kann indirekt über das Anstrengungsgefühl eine Einschätzung der Herztätigkeit vorgenommen werden (z.B. Kollenbaum, 1990; Pennebaker, 1982).

Als *c) prozessnahe Verfahren* werden all jene bezeichnet, bei denen die Anzahl der eigenen Herzschläge über eine kurze Zeitspanne wahrgenommen oder ein Ereignis identifiziert werden soll, das mit dem Herzschlag koinzidiert (siehe Vaitl, 1995). Je genauer die Zuordnung zwischen Reaktionsmaß und Herzschlagfolge bzw. Herzschlag ist, umso besser ist die Interozeptionsleistung, also die Kardiosensibilität.

Diese Verfahren lassen sich wiederum in verschiedene Klassen unterteilen: *Signal-Detektionsverfahren* (z.B. Harver, Katkin & Bloch, 1993) bzw. *Tracking-Verfahren* (d.h. die Herzschlagfolge soll motorisch in dem Tempo reproduziert werden, das die Probanden für das des eigenen Herzschlags halten *oder* der eigene Herzschlag soll fokussiert und leise in verschiedenen Zeitintervallen mitgezählt werden) (Schandry, 1981; McFarland, 1975; Dale & Anderson, 1978) und *Signal-Diskriminationsverfahre*n (d.h. die Probanden müssen beurteilen, ob ihr Herzschlag mit externen Stimuli – z.B. Lichtsignalen, Tönen -, welche in unterschiedlicher zeitlicher Verzögerung zur R-Zacke des EKG präsentiert werden übereinstimmt (Brener & Kluvitse, 1988; Katkin et al., 1982; Whitehead et al., 1977).

In dem von Schandry (1981; Weitkunat, 1987) entwickelten „Tracking"-Verfahren, werden Probanden instruiert, ihre Herzschläge während vorgegebener, kurzer Zeitintervalle mitzuzählen oder in deren Rhythmus eine motorische Reaktion zu geben. Währenddessen wird das EKG aufgezeichnet und die „objektive" Anzahl der Herzschläge registriert. Aus der Verrechnung der Anzahl der „subjektiv mitgezählten" und „objektiv vorhandenen" Herzschläge kann dann ein so genannter Herzwahrnehmungsscore berechnet werden, der die kontinuierliche Ausprägung der Kardiosensibilität angibt, und eine Einteilung der Probanden in „gute" und „schlechte Herzwahrnehmer" ermöglicht. Das genau Prozedere sowie die Berechnung des Scores werden im empirischen Teil der Arbeit genauer dargestellt, wenn es darum geht meine empirischen Studien vorzustellen, welche den Zusammenhang zwischen der Herzwahrnehmungsfähigkeit und der Emotionsverarbeitung sowie Verhaltensregulation behandeln.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass ca. 10-20 % aller Menschen in einer Ruhesituation, wie sie in genannten Testsituationen vorhanden ist, in der Lage sind, ihren Herzschlag präzise wahrzunehmen, also „gute Herzwahrnehmer" sind, wobei dieses Merkmal weitgehend zeitlich stabil ist und als eine Art „Trait" anzusehen ist (siehe Schandry, 2003b).

Vaitl (1995) berichtet, dass selbst so unterschiedliche Verfahren, wie z.B. das Tracking-Verfahren von Schandry (Weitkunat, 1987) und die Herzschlag-Diskriminationsaufgabe (Strömer et al., 1989) hoch und signifikant (r = 0.59) miteinander korrelieren. Dabei nimmt die Übereinstimmung beider Methoden noch zu, wenn die Extremgruppen von „sehr guten“ und „sehr schlechten“ Herzwahrnehmern betrachtet werden (Vaitl, 1995).
Das Argument, die Herzwahrnehmung beruhe dabei lediglich auf der Fähigkeit zur exakten Zeiteinschätzung und nicht auf der Sensitivität für den Herzschlag, konnte nach Vaitl zum größten Teil entkräftet werden (Vaitl, 1995; Knoll & Hodapp, 1992).
Unterschiede in den Ergebnissen, die mit ein und derselben Methode (z.B. Tracking Verfahren nach Schandry) in verschiedenen Arbeitsgruppen gewonnen wurden, stellten sich nach Ehlers, Breuer, Dohn & Fiegenbaum (1995) als Instruktionseffekte heraus.
Zum Schluss ist wichtig zu betonen, dass die Herzwahrnehmungsfähigkeit durchaus als Indikator für die allgemeine viszerale Sensivität gelten kann, da demonstriert wurde, dass die Genauigkeit, mit welcher der eigene Herzschlag wahrgenommen wird mit der Genauigkeit, Veränderungen in anderen autonom innervierten Organen zu detektieren korreliert ist (Harver, Katkin & Bloch, 1993; Whitehead & Drescher, 1980). Es ist allerdings auch zu vermerken, dass eine solche Korrelation nicht immer belegt werden konnte (z.B. Pennebaker, Gonder-Frederick, Cox & Hoover, 1985).

Neben den angeschnittenen verfahrenstechnischen Aspekten sind vor allem die differenziellen Einflussgrößen von Bedeutung, die mit der Herzwahrnehmung in Zusammenhang stehen. Dabei handelt es sich um interindividuelle Unterschiede in der Herzwahrnehmungsfähigkeit.

4.2. Interindividuelle Unterschiede in der Kardiosensibilität

Wie erwähnt, unterscheiden sich Menschen in der Wahrnehmungsfähigkeit ihrer Herztätigkeit.
Es gibt Belege dafür, dass die Fähigkeit den eigenen Herzschlag wahrzunehmen von bestimmten Faktoren beeinflusst wird: das sind v.a. Geschlecht, Prozentsatz an Körperfett und körperliche Fitness (z.B. Cameron, 2001; Vaitl, 1995).
Männer schätzen ihre Herztätigkeit häufig zutreffender ein als Frauen (Cameron, 2001; Vaitl, 1995). Ein weiterer differenzieller Aspekt ist das Körpergewicht und der prozentuale Fettanteil. Montgomery und Jones (1984) beobachteten, dass gute Herzwahrnehmer weniger wogen als schlechte Herzwahrnehmer. Jones et al. (1987) eruierten, dass der beste Prädiktor für die Einteilung in gute und schlechte Herzwahrnehmer die Fettmasse des

Körpers ist. Jones et al. (1987) berichten aber auch, dass, wird dieser Faktor konstant gehalten, so verschwinden auch die Geschlechtsunterschiede in der Herzwahrnehmung.
Weiterhin gibt es Anhaltspunkte dafür, dass jüngere Menschen eine bessere Herzwahrnehmungsfähigkeit als ältere Personen besitzen, was möglicherweise mit dem zunehmenden Körperfettanteil im Alter, sowie mit Veränderungen autonom-nervöser und adrenerger Funktionen mit zunehmendem Alter assoziiert sein kann (Cameron, 2001).
Auch die körperliche Fitness spielt eine Rolle. Körperlich untrainierte Personen, welche zumeist ein geringeres Herzminutenvolumen besitzen, nehmen ihren Herzschlag schlechter wahr als trainierte Personen (Jones & Hollandsworth, 1981; Montgomery et al., 1984; Schandry & Montoya, 1994).
Prinzipiell nimmt die Herzwahrnehmungsgüte, unabhängig vom körperlichen Trainingszustand zu, wenn Probanden stufenweise körperlich belastet werden; wenn also die Herzrate sowie kardiodynamische Parameter, v.a. das Schlagvolumen (SV), bei moderater Anstrengung, und die Ejektionsgeschwindigkeit des Blutes, bei stärkerer körperlicher Anstrengung, ansteigen (Montgomery & Jones, 1984; Rädler & Schandry, 1988; Schandry & Specht, 1981). Schandry & Specht (1981) zeigten zudem, dass auch während psychologischem Stress (mentale Rechenaufgabe) die Herzwahrnehmung ansteigt.

Dies führt unmittelbar zu der Frage, welche kardiodynamischen Mechanismen an der Herzwahrnehmung beteiligt sind:
Entscheidende, systematische Untersuchungen dazu wurden von Schandry und Mitarbeitern (siehe Bestler, Schandry, Weikunat & Alt, 1990; Schandry & Bestler, 1995; Schandry & Montoya, 1994; Schandry, Bestler & Montoya, 1993) mit Hilfe der Impedanzkardiographie durchgeführt. Die Autoren konnten eine ausgeprägte, positive Korrelation zwischen dem durch physische Belastung und/oder Lage des Körpers variiertem, individuellen Schlagvolumen (SV), linksventrikulärer Kontraktilität (Heather Index) sowie einem Indikator der Blutauswurfgeschwindigkeit („Momentum“: SV/LVET) und der Herzwahrnehmungsleistung eruieren. Dabei zeigten sich die höchsten Korrelation für das Momentum, mit r = 0.83. Auch SV (r = 0.82) und Heather Index (r = 0.72) korrelierten signifikant, hoch positiv mit der kardialen Sensibilität (Schandry & Bestler, 1995).
Bereits frühere Untersuchungen diskutierten als eine wesentliche periphere Quelle der Herzwahrnehmung Kontraktionen des Herzmuskels (Whitehead, Drescher, Heiman & Blackwell, 1977; Schandry & Specht, 1981; Katkin, 1985) sowie das Schlagvolumen des Herzens (Brener, Ring & Wilmers, 1990).
Jones und Mitarbeiter (z.B. Jones & Hollandsworth, 1981) argumentierten, dass Herzwahrnehmung zumindest zu einem Teil auf Sensationen, die durch das Pulsieren des Blutes in den peripheren Gefäßen entstehen bedingt sei. Eine neuere Untersuchung von

O´Brien, Reid & Jones (1998) demonstrierte entgegen den Annahmen der Barorezeptoren-Hypothese (z.B. Waldstein et al., 1991; Lacey and Lacey, 1978; Elbert et al., 1992; Rau et al., 1993) eine bessere Herzwahrnehmungsfähigkeit bei Personen mit höherem systolischen Blutdruck im Vergleich zu solchen mit niedrigerem systolischen Blutdruck. Die Autoren interpretierten ihre Ergebnisse zu Gunsten einer besseren Herzwahrnehmung aufgrund verbesserter peripherer Sensationen bzw. cues.
Dass das Schlagvolumen des Herzens (SV), wie obige Studien zeigten, einen Einfluss auf die Kardiosensibilität besitzt, kann auch oben referierte Befunde erklären, welche demonstrieren, dass körperlich trainierte Menschen eine bessere Herzwahrnehmungsfähigkeit haben als nicht-trainierte Personen (z.B. Jones & Hollandswort, 1981), sowie dass die Herzwahrnehmung unmittelbar nach körperlicher Anstrengung verbessert ist. Zudem erklärt es die Beobachtung, dass die Herzwahrnehmung im Sitzen besser ist als im Stehen (Bader, 1988; Jones, Scott & Jones, 1982; Rouse, Jones & Jones, 1984), was auf eine Reduktion des SV im Stehen im Vergleich zum Sitzen zurückzuführen ist. Die Verbesserung der Herzwahrnehmung während psychologischen Arousals (Stress) könnte durch die hier wesentlicheren Mechanismen der sympathisch vermittelten ansteigenden kardialen Kontraktilität mit bedingt sein (z.B. Schandry, Bestler & Montoya, 1993; Schandry & Specht, 1981).

Man kann also davon ausgehen, dass die Herzleistung bzw. die Intensität der kardialen Aktion einen durchaus wesentlichen Einfluss auf die bewusste Wahrnehmbarkeit von kardialen Signalen, wie dem Herzschlag besitzt (Schandry, Bestler & Montoya, 1993).
Auf diese Aspekte werde ich im folgenden Kapitel nochmals kurz zurückkommen, wenn es darum geht Befunde zum Zusammenhang zwischen Emotionalität und Kardiosensibilität zu berichten. Vorausgreifend ist hier bereits anzumerken, dass die Ergebnisse bzgl. der autonom-nervösen Reaktivität in Ruhe und in Erregungssituationen bei guten und schlechten Herzwahrnehmern sehr heterogen sind, und bislang eher dafür sprechen, dass sich beide Gruppen nicht bedeutsam in Indikatoren der autonom-nervösen Aktivität unterscheiden (Ferguson & Katkin, 1996; Hantas et al., 1982; Schandry, 1981; Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000). Dies kann so gedeutet werden, dass eine gute Herzwahrnehmungsfähigkeit nicht durch ein intensiveres, v.a. sympathisches Arousal (Katkin, 1985, Ferguson & Katkin, 1995) bedingt sein muss, sondern durch eine ausgeprägtere Wahrnehmungsleistung, also eine verbesserte Herz zu Hirn Transmission und zentralnervöse Verarbeitung der kardialern, viszeralen Signale zustande kommt. Natürlich wäre auch beides denkbar, wobei eine höhere autonom-nervöse Reaktivität gerade in emotionalen Situationen auch im Sinne eines Lernprozesses zu einer geschulteren und besseren bewussten Kardiozeptionsleistung über die Lebenspanne hinweg beitragen kann (z.B. Eichler et al., 1997,1994).

Schandry (2003) legt zudem nahe, dass weitere Faktoren, wie bestimmte Besonderheiten der Erziehung und der individuellen Lerngeschichte, zudem zu einer habituellen Fokussierung der Aufmerksamkeit auf Körperprozesse führen können, was interindividuelle Unterschiede in der Kardiosensibilität zudem erklären könnte. Für ein Erlernen der bewussten Herzwahrnehmungsfähigkeit sprechen auch Untersuchungen von Schandry (1983) sowie Schandry & Weitkunat (1990), die zeigten, dass ein gezieltes Training der Herzwahrnehmung nicht nur zu einer Verbesserung der Kardiosensibilität im Herzwahrnehmungstest sondern auch zu einer Intensivierung der kortikalen Verarbeitung kardialer Signale („heartbeat evoked potential"; siehe Kapitel 4.3.) führte.
Zuletzt ist anzuführen, dass die bessere Signaltransmission und Verarbeitung viszeraler Signale in wesentlichen Gehirnstrukturen natürlich ein habituelles, genetisch determiniertes oder angeborenes Merkmal sein kann. Dass sich morphologisch die Gehirne von guten und schlechten Herzwahrnehmern unterscheiden könnten, zeigt nicht zuletzt auch ein Befund von Critchley et al. (2004). Die Autoren konnten einen positiven Zusammenhang zwischen der Größe der anterioren Insula (gemessen über Voxel-basierte Morphometrie im MR) und der Herzwahrnehmungsfähigkeit nachweisen.

Zurück zu weiteren Befunden individuelle Unterschiede in der Kardiosensibilität betreffend. Auch in klinischen Stichproben wurden Unterschiede in der Herzwahrnehmungsfähigkeit beschrieben.
Bei Patienten, welche kardiale arrhythmische Störungen und benigne kardiale Palpitationen zeigten (Ehlers et al., 2000), sowie bei Patienten mit diabetischer Neuropathie – die eine gestörte autonom-nervöse Reagibilität sowie viszerale Rückmeldung besitzen (Leopold & Schandry, 2001) – konnte eine verminderte Herzwahrnehmungsfähigkeit belegt werden.
Patienten mit depressiven, somatoformen und Persönlichkeitsstörungen wurde eine schlechtere Herzwahrnehmungsfähigkeit im Vergleich zu Kontrollpersonen bescheinigt (z.B. Mussgay, Klinkenberg & Rüddel, 1999).
Dagegen weisen Patienten mit Panikstörungen und Angststörungen eine bessere kardiale und gastrointestinale Wahrnehmungsgenauigkeit auf (Ehlers et al., 1992, 2000) und berichten gleichzeitig mehr somatische und viszerale Symptome (Cameron, 2001).
Ehlers (1995) zeigte in einer prospektiven Studie bei Panikpatienten eine erhöhte kardiale Sensibilität in einer Ruhesituation, sowie, dass eine derart erhöhte Kardiosensibilität mit einer längeren Persistenz der Störung sowie einer höheren Rückfallwahrscheinlichkeit einherging. Im Rahmen dieser Störungsbilder wird von einem Circulus-Viciosus-Modell ausgegangen, das besagt, dass die deutliche Wahrnehmung von Herzsensationen als bedrohlich erlebt wird und dadurch Angst ausgelöst wird, wobei diese Angst wiederum die Herzaktivität erhöht und somit die Herzsensationen zunehmen, bis schließlich Panikattacken

ausgelöst werden (z.B. Liebhart, 1974; Ehlers & Breuer, 1996; Pauli et al., 1991). Es wird hier vermutet, dass eine habituell gesteigerte Herzwahrnehmungsfähigkeit ein begünstigender Faktor für die Entstehung und Aufrechterhaltung einer Herzphobie und der Panikstörung sein könnte. Letzteres insbesondere auch dadurch, da eine erhöhte Kardiosensibilität den Patienten eher dazu motiviere, solche Situationen zu meiden, in denen kardiale Sensationen besonders auftreten, und so verhindert wird, das Gegenteiliges erlebbar wird (Ehlers & Breuer, 1996).

Nicht nur im kardiovaskulären, sondern auch im gastrointestinalen (z.B. Fallen et al., 2000) und im respiratorischen System (z.B. Webster & Colrain, 2000) wurden entsprechende interindividuelle Variationen der Interozeptionsfähigkeit untersucht. Einige Studien (Fallen et al., Webster & Colrain, 2000) konnten nachweisen, dass bei oesophagaler Stimulation oder bei Manipulationen des Atemwiderstands deutliche Unterschiede in der Wahrnehmung der entsprechenden Reize zwischen den Personen existieren.

4.3. Kortikale Regionen als Empfänger kardialer Signale: „Heartbeat Evoked Potential“

Neben der oben erörterten Frage, welche peripheren kardiodynamischen Mechanismen bei der Herzwahrnehmung eine Rolle spielen, stellt sich in nächster Instanz die Frage, welche Hirnregionen für die Verarbeitung von kardialen Signalen relevant sind.
Die grundlegende Bedeutung spezifischer Hirnstrukturen, welche mit der Verarbeitung viszeraler und auch kardiovaskulärer Signale befasst sind wurde bereits in Kapitel 3 ausführlich dargestellt. Der dortige Überblick, welcher vornehmlich auf Studien beruht, die mit neurophysiologischen Verfahren sowie mit Bildgebungsverfahren (fMRI, MRI, PET) arbeiteten, diskutiert zum einen die für die basale, viszerale Regulation zuständigen Hirnstrukturen als auch höher gelegene, wichtige Hirnstrukturen, welche für eine bewusste Wahrnehmung körperlicher und kardialer Signale in Frage kommen (v.a. Insula, ACC, Präfrontalkortex). Letzteres betreffend wurde dargestellt, dass insbesondere die Insula als auch der anteriore cinuläre Kortex (ACC) aktuellen Befunden zufolge bei der „Bewusstwerdung“ viszeraler Signale eine wesentliche Rolle spielen.

Studien, welche sich nunmehr der Untersuchung der zerebralen, kortikalen Repräsentation und Verarbeitung viszeraler Information anhand des EEGs angenommen haben, können in zwei Kategorien eingeteilt werden: solche, welche nach Manipulation oder Stimulation eines Organs kortikale Reaktionen untersuchten und jene, welche die kortikale Aktivität während der Spontanaktivität des Herzens examinierten.

Adám (1967) war einer der ersten, der zeigen konnte, dass beim Menschen eine kortikale Alpha-Blockadenreaktion im EEG bei Distension des Duodenums auftrat. Es finden sich ebenso Belege für ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) in Reaktion auf elektrische oder mechanische Stimulation des urogenitalen Systems beim Menschen (Bard et al., 1984; Vodusek, 1990; Loenig-Baucke et al., 1991).

Im gastrointestinalen und respiratorischen System wurden seit Adám weitere interessante Studien durchgeführt, in denen distale Oesophagus-Stimulationen respektive Stimulation durch die Manipulation des Atmungswiderstands vorgenommen wurden (z.B. Harver et al., 1995; Hobson et al., 2000; Fallen et al., 2001; Sarkar et al., 2001; Webster & Colrain, 2000). Diese Untersuchungen konnten ein oesophagal evoziertes Potential im EEG, in einem Latenzbereich um ca. 270-300 ms post Stimulus und einer maximalen Ausprägung über frontotemporalen und –parietalen Kortizes sowie ein respiratorisches, evoziertes Potential nachweisen. Quellenlokalisationsanalysen (Dipol-Analyse des EEG), welche eine Schätzung des Ortes bzw. der Quelle der Entstehung der Spannungsveränderungen des entsprechenden evozierten Potentials im Gehirn ermöglichen, verwiesen auf die Bedeutung der Insula sowie des somatosensorischen Kortex und des Cingulums (z.B. Fallen et al., 2001; Franssen et al., 1996) im Falle des oesophagalen evozierten Potentials. Die Relevanz dieser Strukturen konnte unter Anwendung desselben Stimulationsprozederes anhand von bildgebenden Verfahren (fMRI) bestätigt werden (z.B. Aziz et al., 2000).

Bereits sehr frühe tierexperimentelle Untersuchungen aus den 30er und 40er Jahren des vergangenen Jahrhunderts haben auch gezeigt, dass elektrische Stimulation des Vagus zu einer Synchronisation der elektrischen Aktivität im Orbitofrontalkortex sowie zu inkonsistenten langsamen Wellen im EEG v.a. über dem Frontalkortex führte (Bailey & Bremer, 1938; MacLean, 1990). In Verbindung mit heutigen modernen Verfahren zur elektrophysiologischen Behandlung von Epilepsie und Depression (Vagusstimulation) haben sich die kortikalen Effekte der Vagusstimulation bestätigt und erweitert (z.B. George et al., 2000). Kamath et al. (1998) konnten so beispielsweise eine Verstärkung der Amplitude evozierter Potentiale (N2 und P2) während ansteigender Intensität oesophagaler Vagusstimulation vor allem über zentralen Elektroden (Cz) bei gesunden Probanden beobachten.

Die zweite Klasse von Studien angehend, die sich mit der natürlich auftretenden, viszeralen Spontanaktivität von Organen beschäftigten, ist meines Wissens auf das Herz beschränkt, was sicherlich methodologische Gründe hat.

Was die kortikale Verarbeitung kardioafferenter Information angeht, so konnten Schandry und Mitarbeiter (Schandry, Sparrer & Weitkunat, 1986) zum ersten Mal in Analogie zu sensorisch evozierten Potentialen ein so genanntes, spezifisches ***„heartbeat-evoked***

potential (HEP)“ nachweisen. Auch die Arbeitsgruppe um Jones (Jones et al., 1986) stieß im selben Jahr auf dieses Potential.

Das HEP beschreibt ein positives evoziertes Potential, welches kontingent zum Herzschlag mit einer Latenz von > 200 ms – ca. 600 ms nach Auftreten der R-Zacke im EKG auftritt (Schandry et al., 1986; Jones et al., 1986; Dirlich et al., 1997; 1998; Montoya et al., 1993; Riordan et al., 1990; Schandry & Montoya, 1996; Leopold & Schandry, 2001; Pollatos & Schandry, 2004a). In den meisten Untersuchungen, die sich an diese ersten Studien anschlossen, wurde methodisch betrachtet ein relativ ähnliches Vorgehen gewählt. Um das HEP zu erfassen wird EEG- und EKG-Aktivität simultan bei jedem Probanden abgeleitet. Die R-Zacke des EKGs dient dabei als Trigger, um im EEG den entsprechenden Stimulusonset zu markieren. In der EEG-Analyse werden dann Zeitintervalle von Beginn der R-Zacke bis zu mehr als ca. 700 ms post Stimulus definiert und über diese Intervalle (meist bis zu 300 Herzschläge) gemittelt (siehe z.B. Leopold & Schandry, 2001; Schandry & Montoya, 1996).

Das HEP lässt sich über dem frontalen, parietalen und temporalen Kortex registrieren (Schandry & Montoya, 1996; Leopold & Schandry, 2001), wobei eine maximale Ausprägung des HEP über frontozentralen Elektroden berichtet wird (z.B. Dirlich et al., 1998; Leopold & Schandry, 2001; Montoya et al., 1993; Schandry & Montoya, 1996; Pollatos & Schandry, 2004a). Die frontale Betonung des HEP spricht nach Schandry & Montoya (1996) für die Bedeutung präfrontaler (auch ACC) und orbito-frontaler Hirnstrukturen sowie der Insula bei der Generierung dieses Potentials.

Das HEP ist umso höher bzw. ausgeprägter, je besser die Herzwahrnehmungsfähigkeit; das heißt also: gute Herzwahrnehmer zeigen eine höhere Ausprägung des HEP als schlechte Herzwahrnehmer (Schandry, Sparrer & Weitkunat, 1986; Jones et al., 1986; Pollatos & Schandry, 2004). Dabei zeigten sich die stärksten Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern im Latenzbereich von 250-400 ms an der Elektrode Fz. Auch Katkin, Cestaro & Weitkunat (1991) konnten eine signifikant positive Korrelation zwischen frontal auftretendem HEP und Kardiozeptionsleistung nachweisen. Zwar zeigen gute Herzwahrnehmer ein ausgeprägteres HEP als schlechte Herzwahrnehmer, jedoch weisen auch letztere ein HEP auf. Dies spricht dafür, dass auch wenn keine bewusste und exakte Herzwahrnehmung vorliegt, spezifische Kortexgebiete kontinuierlich die Herztätigkeit überwachen und registrieren (Schandry & Montoya, 1996).

Schandry & Weitkunat (1990) konnten des Weiteren demonstrieren, dass ein gezieltes Training in Herzwahrnehmung zu einer Verbesserung der Kardiosensibilität führt, was zu einer Anhebung des HEP führt.

Um diese Befunde zu festigen untersuchten Schandry und Mitarbeiter (Montoya & Schandry, 1994; Leopold & Schandry, 2001) das HEP an zwei Patientengruppen, bei welchen eine

gestörte viszeroafferente Neurotransmission vorliegt: Patienten mit Querschnittslähmung (Montoya & Schandry, 1994) und Patienten mit diabetischer autonomer Neuropathie (Leopold & Schandry, 1994). Die Autoren konnten zeigen, dass das HEP als auch die Herzwahrnehmungsleistung erwartungsgemäß bei den Patientengruppen im Vergleich zu Gesunden reduziert war. Zudem zeigte sich zwischen dem subjektiv erlebten Schweregrad der Neuropathie (Symptome wie z.B. Kribbeln, Taubheit, gastrointestinale Beschwerden) und der Reduktion der Amplitude des HEP eine signifikante Korrelation. Je höher die angegebenen Beschwerden im Rahmen der autonomen Neuropathie ausfielen, desto ausgeprägter war die Beeinträchtigung der kortikalen Verarbeitung des Herzschlagsignals, also die Amplitude des HEP.

Neben dem Faktor Kardiosensibilität per se, stellen weitere wesentliche Einflussgrößen auf das HEP kardiodynamische Variablen sowie Aufmerksamkeit und Motivation dar:
Montoya, Schandry & Müller (1993) zeigten sehr ausgeprägte und signifikante Korrelationen zwischen dem HEP an frontozentralen Elektroden und kardiodynamischen Variablen, welche anhand der Impedanzkardiographie ermittelt wurden. Signifikante Korrelation zwischen 0.6 und 0.7 ergaben sich vor allem zwischen dem „Momentum“ (Schlagvolumen (SV) / linksventrikuläre Ejektionszeit (LVET) und dem HEP sowie zwischen „Energy“ (SV / $(LVET)^2$) und HEP. Diese höchsten Korrelationen traten dabei in einem Zeitfenster zwischen 450 – 550 ms nach der R-Zacke auf. Das bedeutet, dass 40 – 50% der Gesamtvarianz der HEP-Amplitude im genannten Zeitfenster von der mechanischen Stärke der Myokardaktivität erklärt wird (Schandry & Montoya, 1996).
Dass die Signalintensität, wie auch bei den über externe sensorische Reize ausgelösten evozierten Potentialen, eine gewisse Rolle bei der Beeinflussung der über viszerale Reize provozierten evozierten Potentiale spielt, zeigen auch Untersuchungen, welche zum einen Amplitudenveränderungen abgeleiteter Potentiale bei Manipulationen der Intensität von Oesophagusstimulationen und zum anderen damit einhergehende Veränderungen der Wahrnehmungsgenauigkeit dieser Stimulationen eruieren konnten (z.B. Hobson et al., 2000; Hollerbach et al., 2001).
Die psychologischen Einflussfaktoren Aufmerksamkeit und Motivation bereffend, haben diese eine ähnliche Wirkung auf das HEP, wie dies auch für durch externe Reize ausgelöste evozierte Potentiale der Fall ist (Schandry & Montoya, 1996; Weitkunat & Schandry, 1990). So zeigten Weitkunat & Schandry (1980), dass eine Manipulation der Motivation (Belohnung) bei guten Herzwahrnehmern zu einer Erhöhung der HEP-Amplitude an frontalen Elektroden (Latenzbereich: 250-400 ms) führte.

Was die Generatoren, also die Ursprungsquellen des HEP im Gehirn anbelangt, so konnte eine aktuelle Untersuchung von Pollatos, Kirsch & Schandry (2005), welche mit einem Dipol-Quellenanalyseverfahren (BESA) die elektrokortikale Aktivität des HEP untersuchten 4 zerebrale Quellen des HEP eruiert werden. Für die Genese des HEP sind demnach v.a. der anteriore cinguläre Kortex (ACC), die rechte Insula, der dorsolaterale Präfrontalkortex sowie der sekundäre somatosensorische Kortex relevant. Dabei zeigten gute Herzwahrnehmer zum einen eine höhere HEP-Amplitude sowie zum anderen eine stärkere Dipolstärke in allen genannten Hirnregionen als schlechte Herzwahrnehmer. Die höchste Aktivierung zeigte sich im anterioren Cingulum (ACC). Die Autoren konnten außerdem signifikant positive Korrelationen zwischen der Dipolstärke im ACC ($r = 0.34$) und in der Insula ($r = 0.33$) und den Herzwahrnehmungsscores nachweisen, was die Relevanz dieser Strukturen bei der bewussten Wahrnehmung der Herztätigkeit unterstreicht.
Diese Ergebnisse werden gestützt von einem weiteren, bereits erwähnten aktuellen fMRI-Befund, welcher zeigt, dass es während einer Herzwahrnehmungsaufgabe v.a. zu einer Aktivierung des insulären Kortex und ACC kommt und diese Aktivität mit der Herzwahrnehmungsgenauigkeit korreliert ist (Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004).
Zudem decken sich diese hier für das HEP identifizierten Hirnstrukturen weitgehend mit den von Critchley et al. (2004) anhand des fMRI identifizierten Hirnregionen (ACC, Insula, somatomotorischer Kortex, inferiorer Frontalkortex, inferiorer Parietalkortex), welche aktiviert werden, fokussieren Personen ihre Aufmerksamkeit auf ihren Herzschlag (siehe Kapitel 3.2.4.).

Aus den bisherigen Befunden zum HEP kann man folgende Aspekte zusammenfassen:
Zum einen gibt es eine hirnelektrische Manifestation der spontanen Herztätigkeit, die sich im HEP zeigt und zum anderen stellt sich eine gute Herzwahrnehmungsfähigkeit in einem ausgeprägteren HEP dar. Diese beiden Aspekte bilden letztendlich die wichtige Verbindung zwischen der bewussten Wahrnehmung viszeraler, körperlicher Prozesse, eben der Herztätigkeit und der Abbildung der kontinuierlichen Tätigkeit eines Organs, wie eben dem Herzen, im Gehirn.
Die das HEP generierenden Hirnstrukturen, nämlich die Insula und der ACC, sowie auch präfrontale Regionen stellen Strukturen dar, welche während kardiovaskulären Arousal aktiviert werden und für eine bewusste Wahrnehmung viszeraler Signale als wesentlich belegt wurden (siehe Kapitel 3.2.4.; z.B. Critchley et al., 2000, 2001; Williamson et al., 1999, 2000; King et al., 1999; Critchley et al., 2004; Craig, 2002; Cameron, 2001; Lane et al., 1997; Pollatos et al., 2005a).
Die Befunde lassen zusammen mit bislang erörterten viszerozeptiven Funktionen des ACC und der Insula und deren Bedeutung für motivational-emotionale Prozesse (siehe Kapitel

3.2.4.2.und Kapitel 5.1.) somit vermuten, dass insbesondere der anteriore cinguläre Cortex (ACC) und die Insula wichtige Strukturen sind, welche eine Verbindung zwischen Emotionsverarbeitung und Viszerozeption darstellen (siehe auch Cameron, 2001; Pollatos et al., 2005).
Die genannten Hirnstrukturen stimmen ebenfalls weitgehend mit den in Damasios (Damasio, 1999, 2000) Theorie spezifizierten wichtigen Repräsentationsarealen körperlicher Signale überein, so dass man davon ausgehen kann, dass vor allem der ACC, die Insula und präfrontale Regionen wichtige Verbindungsschaltstellen zwischen den Prozessen des viszeralen Feedbacks, bewusster viszeraler Wahrnehmung und Emotionsverarbeitung darstellen.

4.4. Kardiosensibilität und Emotion

4.4.1. Emotionales Erleben und physiologische Reaktivität

Auf dem Boden der bislang diskutierten Befunde und anknüpfend an die Erörterung der James-Lange Theorie, als auch der Theorie von Schachter und Singer sowie nach der Darstellung der Emotionstheorie von A. Damasio, drängt sich was die Beziehung zwischen der Fähigkeit zur Herzwahrnehmung und Emotionsverarbeitung und Gefühlen angeht, nunmehr natürlich die Hypothese auf, dass kardiosensible Menschen ein intensiveres Emotionserleben zeigen müssten oder zumindest in spezifischen Situationen eine höhere emotionale Beteiligung berichten sollten, als wenig kardiosensible Menschen.
Gerade die bislang geschilderten Tatsachen stützen diesen Zusammenhang bereits, indem sie ein neuroanatomisches Fundament für diese Prozesse liefern.

Bisherigen Studien, welche sich mit diesem Thema explizit befasst haben, ging es um zwei wesentliche Punkte: Zum einen geht es natürlich primär um das subjektive emotionale Erleben, das bei guten Herzwahrnehmern intensiver sein sollte, und zum anderen aber auch um die körperliche, peripher-physiologische Reaktivität.
Letzteres hat zweierlei Gründe:
(1) Zum ersten gibt es die Überlegung, dass ein erhöhtes peripher-physiologisches Arousal mit einer besseren Wahrnehmbarkeit desselben einhergeht (Katkin, 1985, Ferguson & Katkin, 1995). Die James´sche Theorie im Blick argumentieren Ferguson und Katkin (1995) richtigerweise, dass James, wenn er von Emotionen spricht, mehr oder minder „intensive“ Emotionen („standard emotions“) meint, welche mit einem physiologischen Arousal oder zumindest mit Veränderungen desselben einhergehen, wobei in einer emotionalen oder anderweitig Arousal-induzierenden Situation, welche sodann zu emotionalem Erleben führt,

die Wahrnehmung dieses Arousals stärker und genauer ausfallen sollte, als in einer Situation, in der kein oder nur wenig Arousal vorhanden ist (siehe Ferguson & Katkin, 1995). Dies hat sich ja teilweise bereits in oben zitierten Studien bestätigt, die nachweisen konnten, dass die Herzwahrnehmung bei körperlicher Belastung zunimmt und auch während mentaler Belastung ansteigt. Dieser Punkt tangiert aber auch mögliche Ursachen interindividueller Unterschiede der Kardiosensibilität sowie die Bedeutung konfundierender Größen in der Beziehung Kardiosensibilität und Emotionserleben (siehe Wiens et al., 2000). Es ist so denkbar, dass das intensivere Emotionserleben stärker durch den Faktor vegetatives Arousal bestimmt wird, das bei guten Herzwahrnehmern höher sein könnte, und weniger durch Kardiosensibilität an sich.
(2) Ein zweiter Grund für die Beschäftigung mit der peripher-physiologischen Reaktivität betrifft die Tatsache, dass ein intensiveres subjektives, emotionales Erleben, sollte es bei guten Herzwahrnehmern nachgewiesen werden, in der Regel auch mit einer stärkeren physiologischen Erregung einhergehen sollte, was sich in peripher-physiologischen Maßen zeigen müsste. Allerdings existieren auf diesem Gebiet seit langer Zeit Hinweise darauf, dass beide Prozesse durchaus voneinander dissoziiert sein können, und eine intensivere Verarbeitung emotionaler Reize als auch ein intensiveres emotionales Erleben daher auf den Faktor einer besseren interozeptiven Sensitivität aber nicht auf ein höheres physiologisches Arousal zurückzuführen ist (Wiens et al., 2000; 2005).

Zu diesem Thema, sowohl die subjektive emotionale Erleben als auch die autonom-nervöse Reaktivität betreffend, liegen bislang eher wenige Befunde vor. Studienergebnisse zum subjektiven Emotionserleben haben jedoch überwiegend eine derartige positive Beziehung zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und der Intensität subjektiv emotionalen Erlebens belegen (z.B. Hantas, Katkin & Blascovich, 1982; Katkin, 1985; Montgomery & Jones, 1984; Jones, 1994; Schandry, 1981) können.
Einige wenige dieser Studien haben zugleich auch peripher-physiologische, autonom-nervöse Indikatoren erhoben, welche in diesem Kapitel ebenfalls berichtet werden. Die Befundlage diesbezüglich ist allerdings bislang sehr heterogen.

Man kann die verschiedenen Studien in solche untergliedern, welche emotionales Erleben anhand von *Fragebogenverfahren* untersuchten und solche, welche mit *visueller emotionaler Stimulation* arbeiteten. Zuletzt existieren entsprechende Studien, welche die Bedeutung der Rückmeldung viszeraler Prozesse auf das Emotionserleben bei *klinischen Stichproben* untersucht haben. Dabei handelt es sich v.a. um Patienten mit Rückenmarksverletzungen oder Patienten mit Erkrankungen des autonomen Nervensystems, um Angstpatienten sowie um Patientengruppen mit psychosomatischen Erkrankungen.

Untersuchungen, welche Emotionalität mit ***Fragebogen-Verfahren*** erhoben, konnten einerseits zeigen, dass gute Herzwahrnehmer eine Situation eher als emotionsauslösend erleben (Schandry, 1981, 2003b). Schandry (1981) demonstrierte eine erhöhte State-Angst im State-Trait Anxiety Inventory als auch eine ausgeprägtere emotionale Labilität im FPI (Freiburger Persönlichkeitsinventar) bei guten Herzwahrnehmern im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern. Anzumerken ist, dass in dieser Studie keine Unterscheide zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in der während des Herzwahrnehmungstests aufgezeichneten Herzrate gefunden wurden, was nahe legt, dass die Herzwahrnehmungsfähigkeit der Kardiosensiblen nicht durch eine stärkere Herzratenreaktion bzw. vegetatives Arousal bedingt ist. Bestätigt wurde ein positiver Zusammenhang zwischen situativer Ängstlichkeit und Kardiosensibilität auch von Ludwick-Rosenthal & Neufeld (1985).

Ein ähnliches Ergebnis fanden Mandler et al. (1958), die zeigten, dass Personen, welche hohe Werte im „Autonomic Perception Questionnaire (APQ)“ zeigten, also eine subjektiv angegebene hohe viszerale Wahrnehmungsfähigkeit aufwiesen, auch hohe Ausprägungen an Angst in der „Manifest Anxiety Scale (MAS)“ zeigten.

Der Untersuchung von Schandry (1983) ist zu entnehmen, dass ein Training der Herzwahrnehmung anhand einer Herzwahrnehmungsaufgabe nicht nur zu einer Verbesserung der Herzwahrnehmungsleistung führte, sondern zudem zu einer Zunahme in State-Angst.

Critchley et al. (2004) untersuchten gute und schlechte Herzwahrnehmer anhand verschiedener klinischer Fragebögen und zeigten signifikante positive Korrelationen zwischen Indikatoren für die Intensität negativen emotionalen Erlebens und der Herzwahrnehmungsfähigkeit.

Eine aktuelle Studie von Barrett et al. (2004) unterstützt anhand eines anderen Verfahrens das intensivere Emotionserleben guter Herzwahrnehmer, und zeigte, dass Kardiosensible im Vergleich zu Kardiounsensiblen einen so genannten *„Arousal Focus“* aufweisen, wenn sie anhand emotionaler Wörter emotionale Erlebnisse ihres Alltags beschreiben sollten. Das heißt, gute Herzwahrnehmer reagierten verbal emotional intensiver auf der Erregungsebene als schlechte Herzwahrnehmer.

Auch Untersuchungen, welche mit ***visueller emotionaler Stimulierung*** (meist verwendet werden Bilder aus dem „International Affective Picture System“ (IAPS) oder emotionale Filme) arbeiteten, finden relativ einheitlich eine positive Beziehung zwischen Herzwahrnehmung und der Intensität des emotionalen Erlebens. In diesen Studien wurde zumeist auch ein Indikator der peripher-physiologischen Aktivität erhoben. Die oben diskutierten Aspekte der Bedeutung physiologischen Arousals für die

Herzwahrnehmungsgenauigkeit und die emotionale physiologische Reaktivität betreffend liegen jedoch heterogene Ergebnisse vor.
Hantas, Katkin & Blascovich (1982) zeigten etwa, dass gute Herzwahrnehmer emotionale (negative) Bildreize von Unfallopfern als signifikant emotional erregender und „stressender" erlebten als schlechte Herzwahrnehmer. Beide Gruppen unterschieden sich allerdings nicht in ihrer Herzratenreaktion auf die Bilder.
In einer weiteren Untersuchung präsentierten Katkin et al. (1982) Probanden emotionale Bilder, welche schwer verletzte Unfallopfer zeigten und ließen sie währenddessen einen Herzwahrnehmungstest durchführen. Die Ergebnisse zeigten, dass negative Bildstimuli zu einer ausgeprägten, als vagal vermittelt angesehenen, Herzratendezeleration führten, die wiederum zu einem Anstieg der Herzwahrnehmungsgenauigkeit führte. Katkin et al. (1982) erklärten letzteres zum einen damit, dass diese vagotone Reaktion, sichtbar an der Herzratendezeleration, eine verstärkte Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeit auf die emotionalen Bilder signalisierte und die Interozeptionsleistung der Probanden steigerte, indem eine generell stärkere Aufmerksamkeit und perzeptuelle Diskrimination gefördert wurde. Sie gehen zudem davon aus, dass die Interozeptionsleistung möglicherweise auch durch ein größeres Schlagvolumen und eine größere kardiale Kontraktilität begünstigt wurde; Prozesse welche funktionell mit der Herzratendezeleration assoziiert sein können.

Katkin (1985) argumentierte aber auch, dass eine gesteigerte sympathische Aktivierung für eine bessere Kardiozeption verantwortlich sei bzw. diese zumindest unterstützt.
Letzteres legt auch eine Studie von Eichler & Katkin (1994) nahe, die zeigte, dass gute Herzwahrnehmer (Herzwahrnehmung wurde in Ruhe diagnostiziert) in einem mentalen Arithmetik-Stress-Test eine doppelt so hohe sympathisch verursachte Aktivierung sowie kardiale Kontraktilität (gemessen anhand der „Pre-ejection-Period (PEP) und des Heather-Indexes im Impedanzkardiogramm) zeigten als schlechte Herzwahrnehmer. Gute und schlechte Herzwahrnehmer unterschieden sich jedoch nicht signifikant in der Herzrate. Die Befunde werden dahingehend interpretiert, dass Personen, welche eine stärkere kardiale Kontraktilität in Stress- oder Emotionssituationen zeigen, in ihrem Leben öfter die Gelegenheit hatten mit diesen stärkeren körperlichen Reaktionen konfrontiert zu sein, und so gelernt haben, ihre Herzaktivität wahrzunehmen.
Diese Befunde werden durch eine weitere Untersuchung von Eichler et al. (1987) gestützt, die demonstrierte, dass gute Herzwahrnehmer auch bei der Betrachtung emotional aversiver Bilder eine stärkere Verkürzung von PEP (als Indikator der sympathischen Aktivierung im Impedanzkardiogramm) sowie einen intensiveren Anstieg des Schlagvolumens und kardialen Outputs zeigten als schlechte Herzwahrnehmer. Diese Untersuchung (Eichler et al., 1987) ist aber gleichzeitig ein Beispiel für einige wenige Studien, welche keinen positiven

Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und Emotionserleben eruieren konnten (z.B. Blascovich et al., 1992)!

Allerdings liegen ebenfalls Ergebnisse vor, welche einem erhöhten sympathischen Arousal bei guten Herzwahrnehmern während emotionaler Stimulation widersprechen, jedoch davon unabhängig einhellig die positive Beziehung zwischen Kardiosensibilität und der Intensität des emotionalen Erlebens stützen.
So konnten Wiens, Mezzacappa & Katkin (2000) zwar deutlich demonstrieren, dass gute Herzwahrnehmer emotionale (positive und negative) Bilder des IAPS als emotional intensiver erlebten als schlechte Herzwahrnehmer, aber keine unterschiedlichen Valenzbewertungen zwischen den Gruppen sichtbar wurden. Jedoch unterschieden sich Kardiosensible und Kardiounsensible weder in dem Ausmaß ihrer mittleren Herzrate noch in der Hautleitfähigkeitsreaktivität, also in der sympathischen Aktivität, und dies weder in einer Baseline-Messung noch während der Filmpräsentation.
Die Autoren (Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000, S. 425) gehen entsprechend davon aus, dass diese eruierten Unterschiede zwischen den Gruppen im Emotionserleben zusammen mit den nicht-existenten Unterschieden in der Herzrate und der sympathischen Aktivität deutlich machen, dass die guten Herzwahrnehmer aufgrund einer besseren viszerozeptiven Perzeptionsleistung und nicht etwa aufgrund eines stärkeren physiologischen Arousals ein intensiveres Emotionserleben aufwiesen.
Das heißt der Zusammenhang zwischen Herzwahrnehmung und emotionalem Erleben lässt sich hier nicht über eine erhöhte kardiale (sympathische) Aktivierung bei den guten Herzwahrnehmern erklären, sondern verweist darauf, dass das intensivere Erleben der guten Herzwahrnehmer auf eine intensivere Herz-Hirn-Transmission und eine intensivere Verarbeitung viszeraler Signale zurückzuführen ist (siehe auch Schandry, 2003b).

Zudem existiert aber auch eine Studie von Davis & Langer (1986), welche bei guten Herzwahrnehmern gegenüber schlechten Herzwahrnehmern eine signifikant ausgeprägtere Herzratenvariabilität (HRV: gemessen anhand der Maximum-Minimum-Methode zur Schätzung der respiratorischen Sinusarrhythmie-RSA) während der Durchführung eines Herzwahrnehmungstests eruieren konnten. Dieses Ergebnis legt nahe, dass eine gute Herzwahrnehmungsfähigkeit mit einer erhöhten vagalen Aktivierung verbunden sein könnte.

Befunde zu Kardiosensibilität bzw. Viszerosensibilität und physiologischer Aktivierung in einer Ruhesituation betreffend, so existieren wenige und heterogene Befunde. Ludwick-Rosenthal & Neufeld (1985) berichten von einer höheren mittleren Herzrate bei guten Herzwahrnehmern in einer Baseline-Messung im Vergleich zu schlechten

Herzwahrnehmern, während Schandry (1981) keine Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in der mittleren Herzrate, Respirationsrate und Anzahl der Spontanfluktuationen der Hautleitfähigkeit während einer Baseline-Bedingung finden konnte. Auch Hantas, Katkin & Blascovich (1982) eruierten keine Unterschiede zwischen diesen Gruppen in der mittleren Herzrate in einer Ruhebedingung, noch während der Durchführung eines Herzwahrnehmungstests.
Es wird auch, entgegen diesen Befunden von einer niedrigeren mittleren Herzrate und von einer geringeren Herzratenvariabilität (HRV), gemessen anhand der Standardabweichung (SD) der RR-Intervalle während eines Herzwahrnehmungstests (Herzratendetektionsaufgabe: Methode konstanter Stimuli) bei guten im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern berichtet (Knapp-Kline & Kline, 2005), was die Heterogenität der bislang existierende Ergebnisse hierzu deutlich macht.

Was die Assoziation zwischen *emotionalem Ausdruck* und Kardiosensibilität angeht, so existieren Hinweise dafür, dass gute Herzwahrnehmer nicht nur ein intensiveres Emotionserleben zeigen, sondern auch mit einer stärkeren und affekt-adäquateren fazialen Expressivität (Ferguson & Katkin, 1996) auf emotionale Bildreize reagieren.

Des Weiteren existieren Untersuchungen, die den Einfluss der Rückkoppelung viszeraler Prozesse zum Gehirn oder der Wahrnehmung kardialer und viszeraler Signale auf das Emotionserleben an ***Patientengruppen*** untersucht haben:
Erstens wurde die Bedeutung des viszeralen Feedbacks auf emotionales Erleben bei Patientengruppen untersucht, bei denen davon ausgegangen werden muss, dass die Verbindungen zwischen Gehirn und Peripherie weitgehend unterbunden oder zumindest gestört sind.
Dazu zählen dazu v.a. Untersuchungen mit ***Querschnittsgelähmten bzw. Patienten mit Rückenmarksverletzungen***, bei denen der Informationsfluss vom Gehirn zum Körper und vom Körper zum Gehirn in gewissem Ausmaß unterbrochen ist.
Die meines Wissens nach erste Studie hierzu wurde von Hohmann (1966) durchgeführt. Er zeigte bei Patienten mit Querschnittslähmung, dass die subjektiv wahrgenommene Intensität der emotionalen Gefühle bei diesen Patienten seit dem schädigenden Ereignis abgenommen hatte und die Bandbreite der erlebten Emotionen vermindert war. Dabei war das Emotionserleben umso mehr eingeschränkt, je schwerwiegender die Läsion, d.h. je höher im Rückenmark die Schädigung angesiedelt war.
Zu erwähnen ist hier die bereits zitierte Studie von Montoya und Schandry (1994), die zeigte, dass Patienten mit Querschnittslähmung eine eingeschränkte subjektiv berichtete

Emotionalität (Fragebogen) sowie eine im Vergleich zu Gesunden verminderte Kardiosensibilität besitzen.

Mack et al. (2000) zeigten, dass die Intensität des emotionalen Erlebens, als auch die Hautleitreaktivität bei Betrachtung von emotionalen IAPS-Bildern bei vollständig paralysierten Patienten gegenüber Gesunden und Athleten signifikant reduziert war.

Es existieren jedoch auch gegenteilige Befunde bei Patienten mit Querschnittslähmung (z.B. Bermond et al., 1995; Cobos et al., 2002). Cobos et al. (2002) konnten zum Beispiel keine Unterschiede zwischen Patienten mit Rückenmarksverletzungen und Gesunden hinsichtlich ihrer Bewertung der Valenz und des Arousals von IAPS-Bildern als auch keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in ihrer Herzratenreaktivität auf die Bilder feststellen.

Wie ich schon bei der Besprechung der James´schen Theorie und der gegen diese eingebrachten Einwände erörtert habe, ist gerade das Heranziehen von Patienten mit Rückenmarksverletzungen zur Prüfung der James´schen Theorie nicht wirklich geeignet, um die Rolle des körperlichen Feedbacks im Prozess des Erlebens von Emotionen zu überprüfen. Wie ich dort diskutiert habe, unterbrechen Rückenmarksverletzungen den Informationsfluss zwischen Körper und Gehirn sowie Gehirn und Körper nicht vollständig. So ist der Nervus Vagus verschont, der einen beachtlichen Anteil an viszeraler Information von den viszeralen Organen zum Gehirn übermittelt – es sei daran erinnert, dass ca. 80-85% der vagalen Fasern afferent sind (Jaenig, 1996) - , und auch der Fluss von Hormonen und Peptiden, welche humoral zwischen Gehirn und Körper transportiert werden, bleibt bei Querschnittsgelähmten erhalten. Unversehrt bleiben auch kraniale Nerven, auch solche, die die Bewegungen der Gesichtsmuskulatur kontrollieren und Empfindungen von Gesichtsbewegungen zum Gehirn zurückmelden (siehe Damasio, 2000, 2004; LeDoux, 1966).

Besonders interessant sind Ergebnisse, welche bei ***Patienten mit „pure autonomic failure (PAF)“*** gewonnen wurden. Diese Patienten leiden an einer Schädigung des peripheren autonomen Nervensystems, ohne dass ein anderweitiges neurologisches, sensorisches oder motorisches Defizit vorliegt. Der Organismus dieser Patienten kann in der Peripherie keine adäquaten autonom-nervösen Adaptationen und Reaktionen leisten und das Gehirn erhält entsprechend kein integriertes Feedback (z.B. Critchley et al., 2003). Critchley, Mathias & Dolan (2001) demonstrierten, dass diese Patienten sowohl im Vergleich zu Gesunden als auch einer klinischen Stichprobe (Parkinson-Patienten), welche keinerlei Anzeichen einer Dysautonomie aufwies, signifikante Beeinträchtigungen im Emotionserleben (erhoben über Fragebogen und Interview) zeigten (z.B. geringeres Ausmaß an Angst, erlebten sich selbst als weniger emotional). Diese Patientengruppe stellt eine viel versprechende Möglichkeit dar, die Verbindung zwischen körperlichem Feedback und emotionalen Prozesse zu studieren

sowie auch die James´sche Theorie zu überprüfen, ohne mit den Mängeln zu kämpfen, welche sich bei den Untersuchungen mit Rückenmarksverletzten ergeben.

Zuletzt sei an dieser Stelle nochmals auf diejenigen Studien hingewiesen, die viszerale Wahrnehmung bei ***Patienten mit Angst- und Panikstörung*** untersucht haben. Auch diese Untersuchungen liefern Anhaltspunkte für eine Assoziation zwischen viszerozeptiver, kardiozeptiver Wahrnehmung und Emotion.
Obwohl diesen Forschungssektor betreffend auch heterogene Ergebnisse vorliegen (z.B. Mussgay, Klinkenberg & Rüddel, 1999; Willem Van der Doers et al., 2000), verweisen einige Studien durchaus auf eine bessere Herzwahrnehmungsfähigkeit bzw. Kardiosensibilität bei diesen Patientengruppen (z.B. Willem Van der Doers, 2000; Ehlers & Breuer, 1996; Zoellner & Craske, 1999; Ehlers, 1995). Bei diesen Patienten korreliert die bessere Wahrnehmung der Herzaktivität auch deutlich mit der subjektiv berichteten Angst (Zoellner & Craske, 1999; Willem Van der Doers et al., 2000).
Pauli und Mitarbeiter (z.B. Pauli et al., 1991) zeigten, dass körperliche Sensationen bei der Panikstörung als Trigger der Angst eine wichtige Rolle spielen („Circulus Viciosus Modell der Angst“).
Ehlers & Breuer (1996) verweisen auf methodische Unterschiede (z.B. Unterschiede in der Instruktion, Unterschiede in der Zusammensetzung der untersuchten Stichproben, teilweise ungenügende Kontrolle der Medikation) zwischen den Studien, welche für die heterogenen Befunde verantwortlich seien. Die Autoren betonen, dass v.a. Studien, welche die Herzwahrnehmungsfähigkeit bzw. Kardiosensibilität anhand von „Tracking-Verfahren“ untersuchten, relativ einheitlich eine bessere Herzwahrnehmungsfähigkeit bei Patienten mit Panikstörungen nachweisen konnten. Ehlers & Breuer (1996) räumen auch ein, dass besser kontrollierte Untersuchungen durchaus einheitlich eine ausgeprägtere Kardiosensibilität vornehmlich bei Panikpatienten mit einer Herzneurose nachweisen konnten.
Man muss hier allerdings anmerken, dass im Rahmen der Diskussion um Angststörungen und Interozeption auch erörtert wird, dass Angstpatienten keine tatsächlich *genauere* viszerale Wahrnehmungsfähigkeit besitzen, sondern einfach auf jegliche Informationen, welche ihren Körper betreffen mit mehr Angst reagieren bzw. diese Information kognitiv anders verarbeiten als Nicht-Erkrankte (z.B. Wells & Papageorgiou, 2001). Eine manipulierte Rückmeldung über einen Anstieg ihrer Herzrate, ohne dass dieser wirklich der Fall war, führte bei Angstpatienten etwa zu einem Anstieg der Angst (Wells & Papageorgiou, 2001).

Die Verbindung zwischen Kardiosensibilität und Emotion wird auch von einigen Forschergruppen im Hinblick auf ***psychiatrische Störungsbilder*** erörtert und untersucht, wobei ein Schwerpunkt auf einem Symptom vieler Störungen, nämlich *Anhedonie* liegt.

(Ferguson & Katkin, 1995). Konsequenterweise wird, dem James´schen Gedanken folgend davon ausgegangen, dass bei Patientengruppen mit ausgeprägter Anhedonie (z.B. Depressive, Schizophrene) im Vergleich zu Gesunden eine verminderte Herzwahrnehmungsfähigkeit existiert (z.B. Fitzgibbons & Simons, 1990). Empirische Befunde diesbezüglich sind bislang eher uneinheitlich und in geringem Maße verfügbar (z.B. Ferguson & Katkin, 1995; Fitzgibbons & Simons, 1990; Birbaumer et al., 2005).

Klarer sind dagegen Ergebnisse, welche sich in den letzten Jahren im Hinblick auf eine neue physiologische Behandlungsmethode bei Epilepsie und schwerer Depression gezeigt haben. Obwohl es sich hierbei nicht um bewusste Wahrnehmung von viszeralen Signalen handelt, möchte ich nicht versäumen zu erwähnen, dass bereits in den späten 80er Jahren des 20. Jahrhunderts im Tierexperiment entdeckt wurde, dass elektrische Stimulation des Vagus zu einer Inhibierung neuronaler Prozesse und zu einer Veränderung der elektrischen Aktivität im Gehirn führt, was epileptisches Anfallsgeschehen verhindern kann (Zabara, 1985) sowie einen Einfluss auf den emotionalen Aspekt der Stimmung hat. Beim Menschen wurde sodann ein ***Vagusnerv-Stimulationsverfahren*** mit implantierten „Schrittmachern" entwickelt, was in Europa seit 1994 im Einsatz zur Behandlung schwerer Epilepsien und zunehmend auch von schwerer Depression ist (George et al., 2000; Harden et al., 1998). Aufgrund der zahlreichen neuronalen Verbindungen zwischen dem Nucleus Tractus Solitarii (NTS) und dem parabrachialen Nucleus, sowie der aszendierenden Retikulärformation und dem Locus coeruleus, welche wiederum Verbindungen zu relevanten kortikalen Regionen, v.a. Insula und Orbitofrontal- und Präfrontalkortizes haben, ist eine profunde Einflussmöglichkeit vagalen Feedbacks bzw. vagaler Stimulation auf das Erregungsniveau und auch auf emotionale Prozesse gegeben (George et al., 2000). Es hat sich vor allem gezeigt, dass die erregungsmodulierende Wirkung vagaler Stimulation auf den Locus coeruleus (noradrenerge Neuronen), und damit auf verbundene Strukturen wie Insula, Hypothalamus, Amygdala, Thalamus, cingulärem Kortex und Orbitofrontalkortex, für epileptische Prozesse als auch für die stimmungsaufhellende und emotionsregulierende Wirkung der Vagusstimulation wesentlich verantwortlich ist (George et al., 2000; Handforth et al., 1998).

Zusammenfassende Betrachtung

Die Beziehung Kardiosensibilität und Emotionserleben betreffend, kann man die bislang vorliegenden Untersuchungsergebnisse dahingehend zusammenfassen, als dass sowohl Studien, welche das Emotionserleben mit Fragebogen-Verfahren erfassten als auch Untersuchungen, welche mit visueller emotionaler Bildpräsentation und emotionalen Ratings

arbeiteten, zum großen Teil einen positiver Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und der *Intensität* oder dem „Arousal“ des emotionalen Erlebens demonstriert haben (z.B. Schandry, 1981; Critchley et al., 2004; Barrett et al., 2004; Hantas, Katkin & Blascovich, 1982; Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000).

Keine positiven Belege existieren bzgl. einer Assoziation zwischen viszeraler Sensibilität und der Qualität bzw. Valenz emotionalen Erlebens (z.B. Wiens et al., 2000). Diese Ergebnisse lassen sich theoretisch aus den Quellen der James´schen Theorie und der Theorie von Schachter und Singer begründen: Wie ich in Kapitel 2 bei der Darstellung der wesentlichen peripheren Emotionstheorien erörtert habe, geht W. James davon aus, dass die Wahrnehmung viszeraler Ereignisse das Emotionserleben bestimmt, wobei Schachter und Singer (1962) diesen Aspekt dadurch erweiterten, dass die Wahrnehmung des viszeralen Arousals die *Intensität* des emotionalen Erlebens bestimmt, während der qualitative oder Valenz-Aspekt des Emotionserlebens stärker von kognitiven Labellingprozessen beeinflusst wird.

Entsprechend formulierten dies auch Wiens, Mezzacappa & Katkin (2000, S. 418): *„…,and if the arousal must be perceived to determine the emotion, it may be inferred from Schachter´s argument that individuals who are more sensitive to their own visceral arousal should experience emotions more intensely than people who are less sensitive to their own viscera”*

Auch die Ausführungen A. Damasio sind generell dahingehend zu verstehen, als dass es bei der Einwirkung somatischer Marker auf Emotions-, Verhaltens, und Entscheidungsprozesse um den Arousal-Aspekt physiologischer Prozesse geht (Damasio, 1994,1999, 2000).

Was die sehr heterogenen Befunde zu Unterschieden zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in ihrer physiologischen Reaktivität oder tonischen autonom-nervösen Aktivität angeht, so sind die Ergebnisse zum momentanen Stand der Dinge schwieriger zusammenzufassen.

Dies ist einerseits sicherlich auf methodische Aspekte der verwendeten physiologischen Parameter als auch der herangezogenen Herzwahrnehmungstests zurückzuführen. So unterscheiden sich die erwähnten Studien zum einen in der Durchführung und Verwendung unterschiedlicher Tests zur Diagnose der Herzwahrnehmungsfähigkeit, aber auch in den verwendeten Indikatoren der viszeralen, autonom-nervösen Aktivierung (siehe auch Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000).

Gerade Studien, welche die mittlere Herzrate als Indikator benutzten zeigen sehr uneinheitliche Befunde. Die mittlere Herzrate wird bekanntlich sowohl von sympathischen als auch vagalen Aktivierungen kontrolliert, so dass damit keine spezifische Aussage zu möglichen Unterschieden zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in ihrer sympathischen und/oder vagalen Aktivierung möglich ist.

Die in der Tat wenigen Studien, welche mit Methoden gearbeitet haben, welche eine selektive Erfassung der sympathischen und parasympathischen Aktivität ermöglichen, haben ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse geliefert (z.B. Davis & Langer, 1986; Knapp-Kline & Kline, 2005). Ein Grund hierfür könnte sein, dass Methoden zur non-invasiven Abschätzung der sympathischen und parasympathischen Aktivität auf jeweils unterschiedlichen Methoden und mathematischen Verfahren beruhen, welche unterschiedlich genaue Ergebnisse erbringen können. So unterscheiden sich die oben genannten wenigen Studien, welche die Herzratenvariabilität (HRV) als Maß für die vagale Aktivierung benutzt haben in den verwendeten Indikatoren der HRV. Die Studie von Davis & Langer (1986) etwa verwendete das Maximum-Minimum-Verfahren der RR-Zeiten-Analyse zur Herleitung der Ausprägung der RSA, während Knapp-Kline & Kline (2005) das „time domain" Maß der Standardabweichung der RR-Zeiten (SD) als Maß für die HRV benutzte. Anzumerken ist, dass neuere frequenzanalytische Verfahren zur Berechnung der Power von physiologisch nachgewiesenen wichtigen Frequenzbändern die vagale Aktivität adäquater abzuschätzen in der Lage sind als herkömmliche Indikatoren der HRV. Leider gibt es bislang noch keine Untersuchung, welche die physiologische Aktivierung anhand letzterer Methoden bei guten und schlechten Herzwahrnehmern untersucht hätte.

4.4.2. Kardiosensibilität und Verhalten

Aus den bisher dargelegten Fakten und Ausführungen ist eines jedoch mit Sicherheit klar geworden: Die zerebrale Verarbeitung afferenter Signale aus dem Körperinneren ist nicht nur bei der basalen Kontrolle homöostatischer Prozesse im Körper zur Regulation fundamentaler Adaptationsprozesse des Organismus relevant, sondern spielt zusammen mit der erörterten Fähigkeit zur bewussten Wahrnehmung dieser körperlichen Signale auch bei der Regulation komplexer kognitiver und emotionaler Prozesse eine nicht zu unterschätzende Rolle, wie dies William James und Antonio Damasio in ihren Theorien ausgeführt haben.
Die Befunde, die im vorhergehenden Kapitel geschildert wurden, haben deutlich gemacht, dass eine gut ausgebildete Fähigkeit zur Wahrnehmung der eigenen viszeralen, körperlichen Ereignisse, wie dies am deutlichsten für die Herzwahrnehmungsfähigkeit bislang untersucht ist, den subjektiven Erlebensaspekt von Emotion wesentlich intensiviert.
Sowohl W. James (1994) als auch besonders A. Damasio (2000) gehen in ihren theoretischen Ausführungen davon aus, dass die Verarbeitung und/oder Wahrnehmung viszeraler afferenter Signale aus dem Körper einen wesentlichen Einfluss auf höher geordnete Prozesse des menschlichen Lebens besitzen, welche sich letztendlich auch im konkret beobachtbaren emotionalen, motivationalen und sozialen Verhalten eines Menschen manifestieren (Damasio, Tranel & Damasio, 1991; Damasio, 1994, 1999, 2000).

Unumstritten ist so auch die Annahme, dass afferente Signale aus dem Körper, so auch viszerale Signale, eine wichtige Rolle bei der langfristigen behavioralen Regulation des Organismus spielen (Damasio, Tranel & Damasio, 1991; Vaitl, 1996; Zagon, 2001; Craig, 2002; Heims et al., 2004).

Was die Untersuchung des Einflusses viszeraler Signale und der Kardiozeption auf konkretes, offen beobachtbares Verhalten in alltagsrelevanten Situationen angeht, so existieren bis dato noch keine expliziten Studien. Die einzigen Anhaltspunkte, welche dieses Themengebiet anreißen, stammen aus der Untersuchung komplexer Entscheidungsprozesse durch die Forschergruppe um Damasio sowie aus älteren Studien von J. Pennebaker. Zuletzt existieren auch einige Hinweise auf die Auswirkungen von Kardiosensibilität auf verhaltensnahe Prozesse von Katkin, Wiens und Öhmann (z.B. 2001).
Im Folgenden möchte ich diese Hinweise und Anhaltspunkte in der genannten Reihenfolge kurz besprechen.
Wie ich bereits bei der Beschreibung von Damasios Theorie in Kapitel 2 ausführlich erörtert habe, liegt ein ganz wesentlicher Schwerpunkt der „somatic marker theory“ auf dem Einfluss, den die zentrale Repräsentation automatisch generierter physiologischer Reaktionen („somatische Marker“) bei der Kontrolle und Lenkung von Entscheidungs- und Planungsprozessen, sozialem, motivationalem und emotionalem Verhalten besitzt, also Funktionen, welche u.a. mit dem Präfrontalkortex assoziiert sind. Der präfrontale Kortex ist bekanntlich für eine ganze Reihe an hochkomplexen emotionalen als auch behavioral relevanten Mechanismen verantwortlich (siehe Kapitel 3.2.4.4. und 5.1.4.). Nicht zuletzt hat Damasio seine theoretischen Überlegungen durch Beobachtungen an Patienten mit Schädigungen von Teilen des Präfrontalkortex (v.a. des ventromedialen Prärontalkortex und orbitofrontalen Kortex) gewonnen, wobei diese Patienten trotz guter und erhaltener intellektueller Fähigkeiten sowie intakter sensorischer und motorischer Funktionen vor allem in ihrer alltäglichen Lebensführung, welche Entscheidungen und Struktur sowie emotional eingebettetes und gefühlsrelevantes Verhalten erfordert, total beeinträchtigt sind (z.B. Damasio, 1994; Bechara, Tranel, Damasio & Damasio, 1996). Nach Damasio ist der Hauptgrund für das vollständige Versagen dieser Patienten in Entscheiden und Denken sowie Gefühl und Empfinden ganz ausschlaggebend durch den Verlust einer adäquaten Verarbeitung von somatischen Markern zurückzuführen.
Ich habe in Kapitel 2.4.6. bereits zusammengefasst, dass aus der Forschergruppe um Damasio erste Befunde dahingehend vorliegen, dass eine Störung oder ein Fehlen der Möglichkeit somatische Marker zu generieren und/oder zu verarbeiten (bei Patienten mit Schädigungen des ventromedialen Präfrontalkortex) zu abnormem, riskantem Entscheidungsverhalten in der „Iowa Gambling Task“ (siehe Kapitel 2.4.6.) führt, was sich im

konkreten Verhalten der Probanden äußert (z.B. Bechara, 2004, Bechara et al., 1994; Damasio, 2000). Diese Störungen im Entscheidungsverhalten bei dieser Aufgabe konnten auch bei zerebral nicht beeinträchtigten Patienten mit peripherer autonomer Neuropathie nachgewiesen werden (Bechara et al., 1998; North & O´Carroll, 2001).

Während gesunde Probanden in der „Iowa Gambling Task“ lernten, riskante Entscheidungsalternativen zu vermeiden, demonstrierten sowohl Patienten mit präfrontalen Läsionen als auch Patienten mit peripherer Neuropathie eine auffallend ausgeprägte Auswahl sehr riskanter Entscheidungen, indem sie eine signifikant höhere Anzahl von Karten aus den „schlechten“ Kartenstapeln als Gesunde auswählten (Bechara et al., 2000; Bechara et al., 2005; Damasio, 2000).

Das bedeutet somit, dass Personen mit Beeinträchtigungen bei der Verarbeitung von somatischen Markern und autonom-nervöser, viszeraler Signale ein riskanteres Handeln an den Tag legten, also mehr dazu bereit waren ein Risiko einzugehen, als Personen mit adäquater Rückmeldung und Verarbeitung körperlicher Signale (Bechara et al., 1998; North & O´Carroll, 2001; Damasio, 2000).

Dies ist nach Damasio auf das Fehlen einer adäquaten Produktion und Rückmeldung autonom-nervöser Reaktionen zurückzuführen, welche aktiviert werden, bereits bevor ein „riskantes“ Verhalten (Karte aus dem riskanten Kartenstapel ziehen) gezeigt wird (siehe Kapitel 2.4.6.; Bechara et al., 1997, 1999). Patienten mit Schädigungen der viszeralen Rückmeldung oder Schädigungen des ventromedialen Präfrontalkortex fehle somit ein wichtiger Präferenzmechanismus, der ihnen durch eine Rückmeldung dieser Reaktionen, bereits bevor eine bewusste Begründung möglich wäre, unbewusst schon durch den Körper signalisiert, den „guten“, nicht-riskanten Kartenstapel zu wählen.

Gesunde Probanden lernten dagegen im Laufe der „Gambling Task“ ihr Entscheidungsverhalten aufgrund dieses Präferenzsystems basierend auf somatischen Markern, in Richtung der weniger riskanten, vorteilhafteren Optionen anzupassen und entwickelten antizipatorische Arousal-Reaktionen (gemessen anhand der Hautleitfähigkeit) vor riskantem Verhalten (Bechara et al.,1997; Bechara et al., 1996).

In der somatischen Markertheorie wird ganz konkret formuliert, dass ein fehlendes körperliches Arousal und ein Fehlen des Feedbacks eines Arousals zu Defiziten in der Verhaltenssteuerung führt (Damasio et al., 1991; Damasio, 1994; Bechara et al., 1996, 1997, 1999, Bechara, Damasio & Damasio, 2003; Tranel, 2000). Nicht nur in explizit emotionalen Situationen im engeren Sinne sondern in allen relevanten Lebenssituationen werden somatische Marker aktiviert und werden Gefühle bemüht und bestimmen wesentliche Prozesse des Denkens, Entscheidens und Handelns (Damasio, 2000; Damasio, 1996).

Es gibt mittlerweile aber auch interessante Hinweise dafür, dass eine Beeinträchtigung dieses Feedback-Systems zu einer besseren Entscheidungsfindung und gewinnbringendem Verhalten führen kann. In einer aktuellen Studie konnten Shiv et al. (2005) demonstrieren, dass Patienten mit Läsionen emotional relevanter Strukturen, wie dem ventromedialen Präfrontalkortex oder der Amygdala, in einer Art Anlagen-Investitions-Spiel mehr Geld gewannen als gesunde Probanden. Die Patienten, bei welchen Störungen im Emotions-Feedback-System vorlagen, reagierten unbeeindruckter auf erlittene Geldverluste und benutzen weiterhin riskantere Spekulations-Strategien, die ihnen in diesem spezifischen Spiel mehr Geldgewinne einbrachten, während gesunde Probanden vorsichtiger auf Geldverluste reagierten und mit konservativeren Strategien ihre Geldeinsätze verwalteten, so dass sie damit weniger Gewinne einstreichen konnten. Dieses Ergebnis zeigt, dass es unter gewissen Umständen in der Tat auch besser oder zumindest gewinnbringender sein kein, von gefährlichen, riskanten Konsequenzen emotional unbeeindruckt zu sein, und Risiken einzugehen, so dass Personen mit Störungen im somatischen Marker-Feedback-System in der „modernen Welt“ durchaus mehr Vorteile ziehen können.

Dass das Feedback und die bewusste Wahrnehmung viszeraler Signale auf offen beobachtbare Verhaltensprozesse eine wichtige Rolle spielen, haben ältere, wenn auch wenige, jedoch sehr interessante Untersuchungen von J. Pennebaker (1982; Pennebaker & Lightner, 1980) gezeigt, welche aus einer Zeit stammen, in der Damasios Theorie noch nicht existierte.

Im Unterschied zu den geschilderten theoretischen und empirischen Ausführungen Damasios, in denen es ja um die zerebrale und kortikale Verarbeitung von somatischen Markern und Signalen geht, ohne dass hier der Aspekt der bewussten Wahrnehmung von viszeralen Signalen erörtert wird oder auch notwendig sein muss, steht bei Pennebakers Untersuchung ganz klar die bewusste Wahrnehmung viszeraler Information im Fokus des Interesses.

Im Kontext eines „Competition of Cues“ Modells der Wahrnehmung von körperlichen Reizen bzw. Symptomen (Pennebaker, 1982), demonstrierten Pennebaker & Lightner (1980), dass die Aufmerksamkeitsverlagerung auf externe respektive interne Reize das subjektive Empfinden von körperlicher Erschöpfung während körperlicher Anstrengung (Sport) auf unterschiedliche Weise beeinflusst und dies entsprechende Verhaltenskonsequenzen besitzt.

Pennebaler & Lightner (1980) demonstrierten zum ersten, dass, wurden Probanden, die mit konstanter Belastung auf einem Laufband joggten, ablenkende Umgebungsgeräusche (Aufzeichnungen von Straßenlärm, wie dies beim Joggen in der Stadt zu hören ist) über Kopfhörer zugespielt, diese weniger Symptome körperlicher Erschöpfung und Anspannung

berichteten, als wenn diesen Probanden ihre eigenen Atemgeräusche zurückgemeldet wurden.

In einem zweiten Experiment dieser Studie joggten Probanden auf zwei unterschiedlichen, natürlichen Laufstrecken gleicher Länge. Eine Laufstrecke wurde so ausgesucht, dass sie Ablenkung bot, und viele natürliche externe Reize beinhaltete („cross-country“) während die andere Laufstrecke ein Sportplatz war, der bzgl. externer Reize relativ langweilig und wenig ablenkend war. Die Probanden sollten auf beiden Laufstrecken so schnell wie sie wollten joggen. Es zeigte sich, dass die Probanden auf dem Trainingsplatz signifikant länger brauchten um die definierte Strecke zurückzulegen als auf der Cross-Country-Strecke. Die Probanden joggten also auf dem Sportplatz, der wenig Ablenkung von internen Reizen bot deutlich langsamer als auf der Strecke durch die Natur, welche viele, von internalen, körperlichen Reizen ablenkende externe Reize bot. Die Probanden gaben jedoch keine unterschiedliche Bewertung von Erschöpfung und körperlichen Symptomen für beide Laufstrecken an.

Diese beiden Studienergebnisse legen erstens nahe, dass die Wahrnehmung körperlicher Prozesse und Signale (z.B. Atmung) zu verstärkten Gefühlen der Erschöpfung und weiteren körperlichen Symptome führt. Besteht aber nun zweitens die Möglichkeit das eigene Lauftempo selbst zu regulieren, in einer Umgebung, welche die Aufmerksamkeit nicht von den internen körperlichen Signalen ablenken kann, diese verstärkte Wahrnehmung eigener körperlicher Reize zu einer Reduktion der physischen Anstrengung und Belastung führt.

Ist dagegen mehr Ablenkung von internen Signalen durch ein Überwiegen externer Reize vorhanden, so belasten sich die Probanden mehr und joggen schneller.

Diese Ergebnisse von Pennebaker & Lightner (1980) lassen vermuten, dass die Auswirkung auf die physische Belastung und das Verhalten in Situationen, in denen es um körperliche Belastung geht, auch bei Personen mit einer habituell unterschiedlich ausgeprägten viszeralen Wahrnehmungsfähigkeit, also einer unterschiedlich ausgeprägten Kardiosensibilität, nachzuweisen sein müsste.

Gerade die Herztätigkeit ist subjektiv während körperlicher Anstrengung zunehmend spürbar bzw. wahrnehmbar (siehe Schandry & Bestler, 1995; Schandry & Montoya, 1994; Schandry, Bestler & Montoya, 1993). Gute Herzwahrnehmer sollten entsprechend, durch den Mechanismus eines durch die bessere Herzwahrnehmung schneller eintretenden Mechanismus der Kontrolle der eigenen körperlichen Belastung weniger schnell joggen. Eine ähnliche Belastungsregulation durch interozeptive Signale wäre zudem nicht nur für körperliche Belastungs- sondern auch psychische Anforderungssituationen denkbar.

Bislang wurden solche Untersuchung noch nicht durchgeführt. Dies stellt jedoch eine Fragestellung der vorliegenden Arbeit im empirischen Teil (Studien 4 und 5) dar.

Einen weiteren interessanten Anhaltspunkt für die Assoziation Kardiosensibilität und Verhalten liefert eine Untersuchungsreihe der Gruppe um Öhman (Öhman, 2001; Katkin, Wiens & Öhman, 2001; Öhman & Soares, 1994; Öhman & Soares, 1998).

Besonders hervorzuheben ist die Studie von Katkin, Wiens & Öhman (2001), welche ganz gut zu den oben erwähnten Untersuchungen der Gruppe um Damasio passt, da hier die Auswirkung bewusster viszeraler Wahrnehmung, nämlich der Herzwahrnehmung, auf „unbewusst" ablaufende emotionale Prozesse und ihre Verhaltenskonsequenzen untersucht wurden. In dieser Untersuchung wurde ein Furcht-Konditionierungs-Paradigma verwendet, in dem die Probanden während der Präsentation einer Kategorie maskierter (also nicht bewusst wahrnehmbarer) Bilder von Schlangen oder Spinnen einen elektrischen Schlag verabreicht bekamen. Alle Probanden entwickelten im Laufe der Konditionierung konditionierte Hautleitfähigkeitsreaktionen auf die maskierten Schock-gepaarten, nicht jedoch auf die nicht-Schock-assoziierten Bilder.

Gleichzeitig schätzten Probanden die Auftretenswahrscheinlichkeit von Schocks in der Tat bei den Schock-gepaarten-Bildern genauer ein als bei den restlichen Bildern (Öhman & Soares, 1998). Ähnliche Befunde liegen auch bei phobischen Probanden und maskierten Spinnenbildern vor (Öhman & Soares, 1994). Bereits bei diesen interessanten Ergebnissen haben die Autoren die Wahrnehmung von „*gut feelings*", also von somatischen Markern oder viszeralen Signalen als Erklärungsmöglichkeit intensiv in Betracht gezogen.

Die neue Studie von Katkin, Wiens & Öhman (2001) erörtert, dass gute Herzwahrnehmer das Auftreten der Schocks, welche ja kontingent zu den maskierten Bildern verabreicht wurden, viel genauer vorhersagen konnten als schlechte Herzwahrnehmer. Dieses spannende Ergebnis legt die frühere Vermutung der Autoren (siehe Katkin, Wiens & Öhman, 2001) nahe, dass autonome „Cues", welche durch die konditionierte Reaktion (Hautleitfähigkeitsveränderungen) entstanden sind, die Vorhersage der Schocks erleichterten und präzisierten, wobei eine gute viszerale Wahrnehmungsfähigkeit diesen Prozess deutlich verbesserte.

Katkin, Wiens & Öhman (2001) gehen davon aus, dass die bessere Wahrnehmung des Herzschlags und weiterer viszeraler Signale es den guten Herzwahrnehmern erleichterte relevante (Schock-assoziierte) von nicht-relevanten (nicht Schock-assoziierte) Stimuli besser zu unterscheiden und dadurch das Auftreten der Schocks besser abzuschätzen.

Abgesehen von den hier genannten ersten Studien und Hinweisen, welche eine enge Assoziation zwischen viszeralem Feedback, Kardiosensibilität und offenem Verhalten vermuten lassen, liegen bislang jedoch keine expliziten Untersuchungen vor, welche die Verbindung zwischen Kardiosensibilität und offen beobachtbarem Verhalten auf direktem

Wege untersucht hätten. Dies war deshalb eines der Anliegen der empirischen Arbeit der vorliegenden Dissertation.

5. Emotionsverarbeitung: Theoretische Grundlagen und empirische Befunde

Emotionen sind prinzipiell durch drei Aspekte zu charakterisieren. Sie spiegeln sich a) in einem bestimmten Funktionszustand des Gehirns, b) in einer bestimmten subjektiven Befindlichkeit (Gefühle) und c) in typischen physiologischen, hormonellen und muskulären Prozessen in der Körperperipherie wieder (siehe Schandry, 2003a).
Entsprechend ist es möglich, emotionales Geschehen auf verschiedenen Ebenen zu untersuchen. Die zerebrale emotionale Regulation lässt sich anhand von elektrophysiologischen Methoden, v.a. anhand des EEGs sowie über moderne bildgebende Verfahren (v.a. fMRI sowie PET (Positronen-Emissions-Tomographie), betrachten. Motorische Reaktionen (Gestik und Mimik), deren Programme zum großen Teil evolutionär angelegt sind, aber auch komplexe Handlungsmuster können anhand von Beobachtung grober und feiner motorischer Prozesse (Mimik: z.B. elektromyographische Techniken (EMG)) sowie mit Methoden der Verhaltensbeobachtung studiert werden (siehe Schandry, 2003a). Wesentlich für das Studium emotionalen Geschehens sind auch die Messungen autonom-nervöser (sympathische, parasympathische Regulation), vegetativer und hormoneller Prozesse (z.B. Cortisol). Die subjektiv erlebten Gefühle werden gängigerweise anhand von Fragebogen oder Interviewtechniken erhoben.

5.1. Emotional relevante Hirnstrukturen und empirische Befunde

Ich habe bereits in Kapitel 3 zum einen darauf hingewiesen, dass Hirnstrukturen, welche für die Repräsentation physiologischen Feedbacks aus dem Körper und der peripher-physiologischen efferenten Regulation aus dem Körper relevant sind, meistens zugleich mit Prozessen der Emotionsregulation und/oder damit gekoppelten Aufmerksamkeitsfunktionen befasst sind. Habe ich in Kapitel 3 für Interozeptionsprozesse wesentliche Hirnstrukturen besprochen, so werde ich im Folgenden einige der dort bereits genannten Hirnstrukturen unter dem Gesichtspunkt der Emotionsverarbeitung diskutieren. Wie erkennbar wird, gibt es eine ganze Reihe von Überschneidungspunkte, welche deutlich machen, dass interozeptive Prozesse ganz eng mit Prozessen der Emotionsverarbeitung assoziiert sind.

5.1.1. Amygdala

Wie Abbildung 3.9. in Kapitel 3.2.3.4. zeigt, befinden sich die beiden Amygdalae jeweils links und rechtslateral im vorderen, seitlich gelegenen Teil des Temporallappens.
In Kapitel 3.2.3.4. habe ich die zahlreichen Verbindungen, welche zwischen Amygdala-Kernen und anderen Hirnbereichen existieren beschrieben. Diese beinhalten ein komplexes

Netzwerk an zumeist reziproken Projektionen, welche den Hippocampus, Thalamus, Striatum (v.a. Nucleus accumbens), Hypothalamus, Pons, Medulla oblongata und sensorische Rindenfelder des Kortex (z.B. visuelle Kortizes) einschließen (z.B. Schandry, 2003a).
Die Einflüsse und Interkonnexionen der Amygdala dehnen sich jedoch aus bis zum präfrontalen Kortex sowie zu weiteren relevanten interozeptiven und emotionsverarbeitenden Strukturen, wie dem ACC und dem insulären Kortex (Barbas et al., 2003; Lane et al., 1998, 1999; LeDoux, 1996).

Die Amygdala wird schon seit langer Zeit als eine für die Emotionsregulation ausschlaggebende Hirnstruktur betrachtet. Bekanntlich beschrieben Heinrich Klüver und Paul Bucy (1937) – während sie eigentlich mit Experimenten zur Erforschung von Hirnregionen, welche für drogeninduzierte visuelle Halluzinationen wichtig sind, beschäftigt waren - einen Symtomkomplex, der sich nach Schädigungen der Temporallappen beim Affen beobachten ließ und dann als *„Klüver-Bucy-Syndrom“* in die Geschichte einging. Nach Amygdala-Schädigungen lassen sich die typischen Merkmale: Zahmheit (keine Äußerungen von Furcht und Aggression), orales Explorationsverhalten, Hypersexualität, visuelle Agnosie, Ruhelosigkeit (z.B. LeDoux, 1996) beobachten. Klüver und Bucy (1937) bezeichneten dieses Phänomen auch als *„Seelenblindheit“*, worunter sie verstanden, dass die Tiere bei vollkommen ausreichender Sehschärfe blind für die psychische Bedeutung von Reizen waren.

Nach heutigen Erkenntnissen stellt die Amygdala eine ganz wesentliche *Emotionsinduktionsstruktur* (Damasio, 2000) dar. Nach Damasio (2000) ist die Amygdala primär für die automatische Auslösung emotionaler Zustände inklusive physiologischer Reaktionen auf wesentliche, primäre Induktoren relevant, und für die Koppelung von Stimuli mit ihren emotionalen Attributen (Bechara, Damasio & Damasio, 2003) sowie zudem für die homöostatische Regulation, indem sie auch Feedback über viszerale Prozesse erhält (Damasio, 1999, 2000; LaBar et al., 2001).
Übereinstimmend kann nach dem heutigen Stand der Forschung aus tierexperimentellen und humanexperimentellen Befunden festgehalten werden, dass die Amygdala v.a. bei der automatischen Erkennung emotional relevanter Reize und der automatischen Aktivierung von Systemen, die die Äußerung einer Vielzahl von für spezifische Emotionen charakteristische Reaktionen (z.B. Furcht) kontrollieren, relevant ist: z.B. artspezifische Verhaltensweisen (Starre, Flucht, Kampf, Gesichtsausdruck), Reaktionen des autonomen Nervensystems (viszerale Reaktionen) und hormonelle Reaktionen (Ausschüttung von Adrenalin, Nebennierensteroiden und einer Fülle von Peptiden in den Blutstrom) (Bechara,

Damasio & Damasio, 2003; LeDoux, 1996). Tieruntersuchungen (LeDoux et al., 1998) haben gezeigt, dass v.a. zentrale Amygdalakerne autonom-nervöse Reaktionen auf Furchtreize sowie auch positive saliente Reize initiieren. Neuroimaging-Studien haben entsprechend signifikante Korrelationen zwischen peripherem Arousal und Amygdalaaktivierung in Reaktion auf emotionale Reize eruiert (z.B. Buchel et al., 1998; Critchley et al., 2002, 2005; Phelps et al., 2001).

In früheren Studien lag der Schwerpunkt v.a. auf der Prozessierung von Furcht- und bedrohlichen Stimuli, wobei mittlerweile auch genügend Befunde für die Bedeutung der Amygdala bei der Verarbeitung von salienten positiven Stimuli vorliegen (z.B. Critchley et al., 2005; Gottfried et al., 2003; O´Doherty et al., 2002). Der aktuelle Stand der Forschung geht davon aus, dass die Amygdala generell für die Verarbeitung nicht nur aversiver, sondern emotional salienter Stimuli zuständig ist (z.B. Critchley et al., 2005). Amygdalaaktivierung korreliert so auch mit der emotionalen Intensität von dargebotenen positiven oder negativen Gesichtern (Winston et al., 2003).

Interessante Ergebnisse von Critchley et al. (2005) sprechen für die Bedeutung der Amygdala, Insula, des ACC und von Hirnstammregionen bei der Übersetzung visueller Wahrnehmung von emotionalen Stimuli in spezifische kardiale Reaktionen.

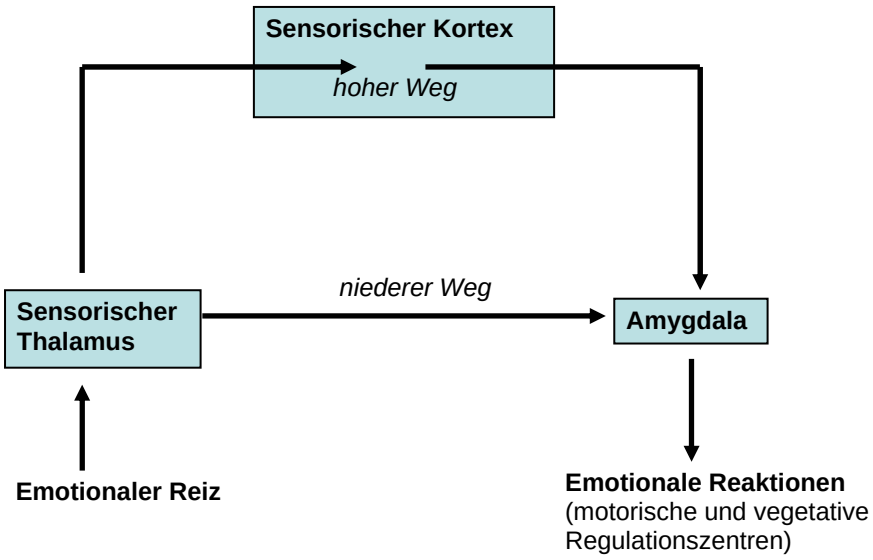
5.1.1.1. Die Befunde und das Modell von LeDoux

Wesentliche Untersuchungen und Resultate zur Funktion der Amygdala stammen von Joseph LeDoux und Mitarbeitern (z.B. LeDoux, 1996; LeDoux, 1994, 1995; LeDoux et al., 1990). In zahlreichen tierexperimentellen Stimulations- und Ablationsuntersuchungen sowie Tracer-Studien konnte diese Forschergruppe die wesentliche Bedeutung v.a. der Amygdala für die Induktion von Emotionen nachweisen. Schwerpunkt der Forschung bildeten vornehmlich Untersuchungen zur (auditorischen) Furchtkonditionierung, wobei gezeigt wurde, dass die Amygdala eine zentrale Stelle innerhalb des emotionalen und Furchtkonditionierungsnetzwerks einnimmt. Bei Läsionen der Amygdala fällt praktisch jedes Kriterium einer konditionierten Furcht, sowohl das Starreverhalten, ebenso wie autonome Reaktionen, Schmerzunterdrückung, Ausschüttung von Stresshormonen und Reflexverstärkung aus; d.h. es findet keine normale Furchtkonditionierung mehr statt (z.B. LeDoux, 1996).

Ein wichtiges Ergebnis aus den Studien LeDouxs war die Entdeckung von ***zwei Signalwegen:*** der *„niedere“* und der *„hohe Weg“*. Informationen über äußere Reize (seien es die akustischen, wie in LeDouxs Furchtkonditionierungsexperimenten oder auch die visuellen Reize etwa) gelangen nach LeDoux über diese zwei Wege zur Amygdala. Einmal über direkte Bahnen vom Thalamus zur Amygdala (der “niedere Weg“), zum anderen über

Bahnen, die vom Thalamus über den Kortex zur Amygdala verlaufen (der „hohe Weg“) (siehe Abbildung 5.1.).

Abbildung 5.1. „Hoher“ und „Niederer Weg“ zur Amygdala nach LeDoux (nach: LeDoux, 1996, S. 175)



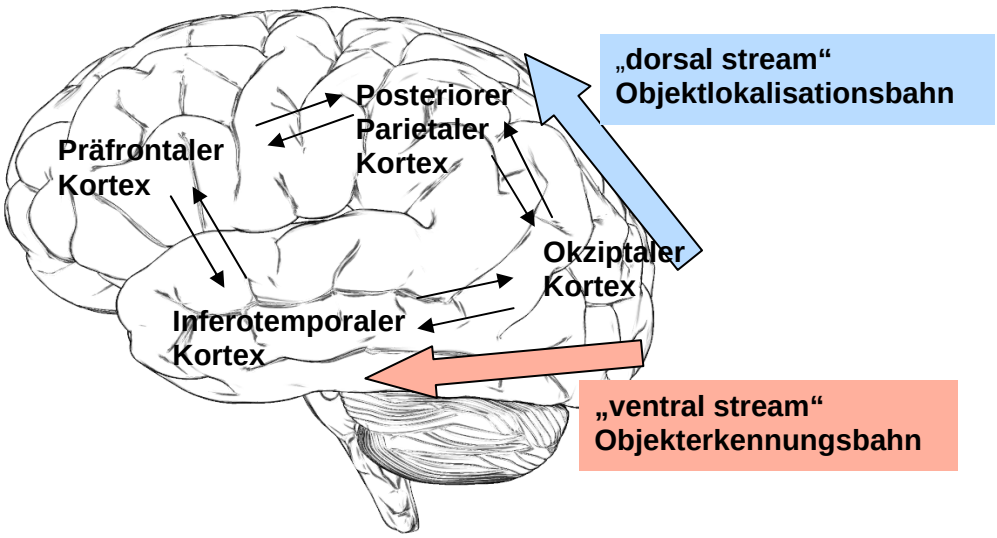
Am Beispiel eines Wanderers bei einem Waldspaziergang, der plötzlich auf einen Stimulus stößt, der wie eine Schlange aussieht, veranschaulicht LeDoux, dass der Reiz zunächst vom Thalamus verarbeitet wird. Von dort aus gibt es die genannten zwei Wege den Reiz weiter zu verarbeiten:

Der *niedere Weg* ist kürzer und deshalb schneller als der Übertragungsweg vom Thalamus über den Kortex zur Amygdala, kann aber nicht von der kortikalen (bewussten) Verarbeitung profitieren. Der Stimulus könnte so auch nur ein Stock sein, der wie eine Schlange aussieht. Der Thalamus gibt nur eine grobe, archetypisch anmutende Information direkt an die Amygdala weiter, welche sodann entsprechende verhaltens- und autonom-nervöse Veränderungen einleitet. Dank dieser schnellen direkten Bahn können wir nach LeDoux (1996) auf potenziell gefährliche Reize bereits reagieren, bevor wir uns über den Reiz bereits ein ausführliches Bild gemacht haben, was in gefährlichen, überlebenswichtigen Situationen sehr nützlich ist, da eine schnelle Reaktion möglich wird. Gleichzeitig wird vom Thalamus die wahrgenommene Information (am Beispiel visueller Information: z.B. Schlange) über den langsameren *hohen Weg,* zum visuellen Kortex geschickt, damit der Reiz dort genauer kodiert und analysiert werden kann, so dass man sich eines Reizes bewusst wird, und höher-geordnete Bewertungsprozesse einsetzen können. So kann dann erkannt werden, ob der Reiz eventuell nur ein Stock ist, der keine Gefahr darstellt oder tatsächlich eine gefährliche Schlange ist.

Interessanterweise bietet der schnelle Wege vom Thalamus zur Amygdala und entsprechende Befunde, die diese schnelle Verarbeitung von Reizen unterstützen, einen positiven Beleg für W. James´ Aussage, dass emotionale Reaktionen direkt der sensorischen Verarbeitung eines emotionalen Stimulus folgen, ohne dass diese Reize tiefer und bewusst verarbeitet werden müssen (Morris, 2002). Hierfür spricht auch eine Studie von Critchley et al. (2002), welche in einem Furchtkonditionierungsparadigma nachweisen konnten, dass maskierte emotionale Reize, also Reize, die bewusst nicht wahrgenommen werden können, v.a. von der Amygdala verarbeiten werden und zu einer Induktion autonom-nervöser Reaktionen führen. Dieser Pfad wird als relevant erachtet, wenn es um die präattentive Verarbeitung von salienten Reizen geht (z.B. Öhmann, Flykt & Esteves, 2001).
Was den zweiten, kortikalen Pfad angeht, so beginnt im Falle eines visuellen Stimulus die visuelle Verarbeitung im primären visuellen Kortex im Okzipitallappen, welcher visuelle Information aus dem Thalamus (Nucleus geniculatum laterale) erhält. In den primären visuellen Rindenfeldern wird die Information dann zum sekundären visuellen Kortex und dann zu Assoziationsgebieten des visuellen Kortex geschickt.
Der gesamte okzipitale Kortex sowie große Teile des temporalen (inferotemporaler Kortex) und parietalen Kortex (v.a. posteriorer Parietalkortex) sind für visuelle Prozesse relevant (Pinel, 2005). Der primäre visuelle Kortex befindet sich im posterioren Bereich der Okzipitallappen. Der sekundäre visuelle Kortex ist in zwei Regionen lokalisiert, und zwar dem prästriatalen Kortex und dem inferotemporalen Kortex. Teile des Assoziationskortex, welche visuellen Input erhalten sind in verschiedenen Teilen des zerebralen Kortex lokalisiert, wobei sich der größte Bereich im posterioren Parietalkortex befindet (Pinel, 2005).

Ungerleider & Mishkin (1982) gingen erstmals davon aus, dass es zwei Hauptwege der kortikalen, visuellen Verarbeitung gibt, welche zwei unterschiedliche Funktionen erfüllen: *einen dorsalen und einen ventralen Strom („stream").* Der dorsale Strom erstreckt sich vom primären visuellen Kortex zum dorsalen peristriatalen Kortex und von dort zum posterioren Parietalkortex, während der ventrale Strom vom primären visuellen Kortex über den prästriatalen Kortex zum inferotemporalen Kortex zieht (Courtney & Ungerleider, 1997; Pinel, 2003; LeDoux, 1996). Der dorsale Strom wird als zuständig für die Lokalisation von Objekten *(„Where-stream")* und der ventrale Strom als relevant für die Objektbedeutung- bzw. Objekterkennung erachtet *(„What-stream")* (siehe Abbildung 5.2.).

Abbildung 5.2. Dorsaler und ventraler visueller Strom (adaptiert nach LeDoux, 1996, S. 297)



Die Amygdala erhält zudem zahlreiche Inputs von den letzten Stadien der Verarbeitung innerhalb der sensorischen Systeme (z.B. des visuellen) und projiziiert selbst wieder zurück zu allen Stadien der kortikalen Verarbeitung (LeDoux, 1996) (siehe Abbildung 5.3.)

Abbildung 5.3. Die Amygdala (A) erhält Inputs von den letzten Stadien der Verarbeitung innerhalb des visuellen sensorischen Systems und projiziert zu allen Stadien der kortikalen Verarbeitung zurück (aus: LeDoux, 1996, S. 306)

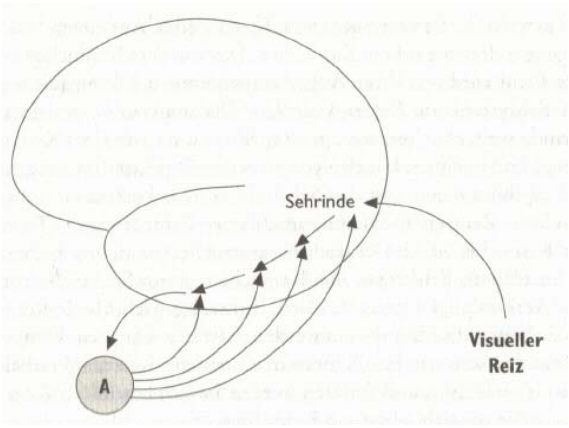


Abbildung 5.3. zeigt, wie ein visueller Reiz auf dem ventralen „Was-Weg“ vom primären visuellen Kortex zum visuellen sekundären und Assoziationskortex im inferioren Temporallappen gelangt, der als Kurzzeitpuffer für visuelle Objektinformation dient. Von dort aus verlaufen Projektionen zur Amygdala (A) und die Amygdala selbst projiziert zurück zu allen zuvor genannten visuellen kortikalen Bereichen, bis zu den primären visuellen

Rindenfeldern. Dass die Amygdala „re-entrant“ Projektionen zu allen Stadien des visuellen Verarbeitungsstroms schickt, demonstrierten Amaral et al. (1992).
Dies ermöglicht es, die *Aufmerksamkeit auf emotional relevante Reize zu lenken*, indem die kurzfristigen Objektpuffer auf die salienten Reize konzentriert werden (LeDoux, 1996, S. 307).
Hierfür sprechen Studienergebnisse, die demonstrieren, dass die Amygdala die perzeptuelle Vigilanz verstärkt (Morris et al., 1998; Morris, Friston & Dolan, 1998; Whalen et al., 1998). Anderson & Phelps (2001) zeigten des Weiteren, dass sich die neuromodulatorischen Einflüsse der Amygdalaaktivität beim Menschen nicht nur auf die episodische Gedächtniskonsolidierung beschränken, sondern auch auf die verbesserte frühe perzeptuelle Enkodierung von Reizen auswirken.
Dadurch dass die Amygdala direkten sensorischen Input aus thalamischen Projektionen erhält (v.a. Pulvinar, Nucleus geniculatum laterale) sowie bereits hoch verarbeitete Information aus dem anterioren Temporallappen (z.B. Iwai & Yukie, 1997) sowie auch olfaktorischen, gustatorischen und viszeralen Input erhält (z.B. Amaral et al., 1992), bekommt sie genügend Information über positive oder negative verstärkende Eigenschaften eines Stimulus und seinen „biologischen Wert“ (Friston et al., 1994).

„Thus, the amygdala represents a neural substrate for affective influences on perception, that is it enhances the perception of stimuli that have emotional significance“ (Anderson & Phelps, 2001).

Morris et al. (1998) bestätigten diese Befunde und zeigten in einer PET-Studie, dass die frühe visuelle Verarbeitung (Aktivierung im extrastriatalen visuellen Kortex) emotional aversiver Gesichter von der Aktivierung der Amygdala abhängig ist. Dies verweist darauf, dass die Amygdala bei der „Top Down“ Regulation extrastriataler visueller Reaktionen involviert ist.
Auch der inferiore Temporallappen und der temporale Pol, als höher-geordnete visuelle Assoziationskortizes werden aktiviert, wenn emotionale Ereignisse erinnert werden sollen (Fink et al., 1996) und wenn die Aufmerksamkeit auf subjektive emotionale Reaktionen gerichtet wird (Lane et al., 1997).
Die Amygdala besitzt des Weiteren Verbindungen zu Hirnstrukturen, welche auch für das Langzeitgedächtnis relevant sind (z.B. Hippocampus), so dass auch längerfristige Erinnerungen aktiviert werden, wenn emotionale Reize verarbeitet werden (Le Doux, 1996; Cahill et al., 1995; Hamann et al., 1999; Canli et al., 2000).

5.1.1.2. Die affektive Beeinflussung der sensorischen Stimulusverarbeitung

Die mittlerweile nachgewiesene Beeinflussung sensorischer, visueller Kortexregionen durch emotionale visuelle Stimuli (z.B. Bradley et al., 2003; Junghöfer, Bradley, Elbert & Lang, 2001; siehe Kapitel 5.2.4.2.), welche in Verbindung gebracht wird mit *„motivierter Aufmerksamkeit“* (siehe Kapitel 5.2.) wird entsprechend auf diese „re-entrant“ Prozesse zwischen den visuellen sensorischen Kortizes und der *Amygdala* (Amaral et al., 1992; LeDoux, 1996) sowie auch dem visuellen Kortex und dem *cingulären Kortex* (Posner, 1996; Bradley et al., 2003) zurückgeführt. Eine Beeinflussung dieses sensorischen Verstärkungsprozesses wird auch *präfrontalen Kortexregionen* zugeschrieben (Lane et al., 1999; Bradley et al., 2003).

Auch Adolphs et al. (2000, 2002) unterstreichen, dass die in visuellen Kortexarealen feststellbare verstärkte Aktivierung auf emotionale Stimuli durch Feedback-Schleifen aus der Amygdala und dem orbitofrontalen Kortex, bedingt werden.

Obige Befunde zum Einfluss der Amygdala auf frühe sensorische Perzeptionsprozesse ergänzend, liegen nunmehr eine ganze Reihe weiterer fMRI- und PET- Studien vor, die zeigen, dass eine *unterschiedlich starke Aktivierung des visuellen Kortex in Abhängigkeit von dem Erregungsgrad emotionaler Bilder auftritt:*

Lane et al. (1997, 1998, 1999) demonstrierten in PET-Studien und fMRI-Studien, dass emotional erregende Bilder zu einer stärkeren Aktivierung in Area 18 und 19 des visuellen Kortex sowie im anterioren temporalen Kortex führten als neutrale Bilder. Frederikson et al. (1993) demonstrierten in einer fMRI-Untersuchung eine stärkere okzipitale Aktivierung (Area 18, 19) in Reaktion auf emotional aversive Filme im Vergleich zu neutralen Filmen, was sie auf eine verstärkte visuelle Verarbeitung signifikanter, emotional salienter Reize zurückführten. Ähnliche BOLD-Effekte im visuellen System konnten für emotionale Bilder im Gegensatz zu neutralen Bildern auch von anderen Studien erbracht werden (Knight et al., 1999; LaBar et al., 2001; Sprengelmeyer et al., 1998).

Auch Reiman et al. (1997) konnten einen stärkeren regionalen Blutfluss im Okziptallappen in einer PET-Untersuchung feststellen, wenn die Probanden emotionale Filme im Vergleich zu neutralen Filme sahen. Bei Patienten mit posttraumatischer Belastungsstörung konnte eine signifikant stärkere Aktivierung des Okzipitalkortex beobachtet werden, wenn sie sich Trauma-bezogene Szenen vorstellten, als wenn sie neutrale Ereignisse imaginierten (Rauch et al., 1996).

Adolphs et al. (2000) belegten eine Aktivierung des okzipitalen und posterioren temporalen visuellen Kortex bei der perzeptuellen Verarbeitung sozial und emotional relevanter Stimuli.

Neuere Befunde von Bradley et al. (2003) zeigten, dass das Ausmaß der Aktivierung im visuellen Kortex für emotionale im Vergleich zu neutralen Bildern mit der Intensität der

Emotion assoziiert ist. Je effektiv erregender die gezeigten Bilder waren, desto ausgeprägter wurde der Okzipitalkortex aktiviert.
Lang and Mitarbeiter (Lang et al., 1998; Bradley et al., 2004) gehen davon aus, dass die funktionelle Aktivierung des visuellen Kortex einen Effekt der Aktivierung emotional-motivationaler Systeme darstellt und im Rahmen des Konzepts der *„motivated attention“* mit einer erhöhten selektiven Aufmerksamkeit auf emotional saliente Reize zu erklären ist (siehe Kapitel 5.2.1.).

Hinweise für eine Beeinflussung sensorischer Reizverarbeitung durch *interozeptive Prozesse* können folgenden Studien entnommen werden:
LaBar et al. (2001) betonen, ähnlich wie Damasio (2000), dass die Amygdala in dem Prozess, wie das Gehirn Reizen in der Umwelt ihre Bedeutung verleiht eine wesentliche Rolle spielt. Dies geschehe besonders aufgrund der oben genannten Vernetzungen der Amygdala, welche es ermöglichen interozeptive Information mit sensorischer Information von Reizen aus der externen Welt zu verbinden (LaBar et al., 2001; Damasio, 1999, 2000).
Ein sehr interessanter und wichtiger Befund stammt so von LaBar et al. (2001), die in einer fMRI-Studie zeigen konnten, dass bei hungrigen Probanden visuelle, motivational relevante Stimuli von Nahrungsreizen zu einer deutlich stärkeren Aktivierung der Amygdala, sowie dem parahippocampalen Gyrus und dem fusiformen Gyrus im Okzipitalkortex als bei gesättigten Probanden führten.
Dieses Ergebnis unterstützt die Überlegung, dass die Amygdala und assoziierte inferotemporale Regionen, welche im „ventralen visuellen Strom“ liegen und bei der verstärkten sensorischen Verarbeitung visueller Information durch motivational relevante Reize wichtig sind, ganz konkret bei der Integration des subjektiven interozeptiven Zustands (hier: Hunger) mit relevanten sensorischen Reizen involviert sind.
LaBar et al. (2001) unterstreichen, dass die extensiven Verbindungen der Amygdala mit sensorischen Assoziationskortizes, viszero-autonomen Pfaden und dem Hypothalamus die wichtige Funktion der Amygdala für die Integration der Repräsentation motivational relevanter Reize mit interozeptiven Signalen und Zuständen unterstützen.
Amygdala und Strukturen des ventralen visuellen Stroms scheinen dafür relevant zu sein, dass sensorische visuelle Reize, welche für die motivationalen Bedürfnisse des Organismus besonders relevant sind, um zielorientiertes Verhalten zu regulieren, besonders gekennzeichnet und verstärkt verarbeitet werden.
An dieser Stelle möchte ich drei wichtige Befunde der Arbeitsgruppe von Critchley und Mitarbeitern erwähnen: Critchley et al. (2005) konnten in einer aktuellen Studie zeigen, dass die Ausprägung der antizipatorische Herzratenreaktion, welche durch das Betrachten von emotionalen Gesichtern ausgelöst wurde, neben der Aktivierung der Amygdala sowie der

Insula, des ACC und von Hirnstammzentren auch mit der Aktivierung in visuellen kortikalen Regionen (fusiformer Kortex und Teile des ventralen okzipitotemporalen Kortex) sowie mit dem superioren temporalen Kortex korrelierte. Die Autoren gehen davon aus, dass diese Verbindung zwischen spezifischer, emotionsbezogener autonomer Aktivität und Aktivierung visueller Kortexbezirke ihren gemeinsamen Ursprung in der Amygdala hat.

Critchley et al. (2005) betonen, dass die Aktivität im fusiformen visuellen Kortex durch bewusste und unbewusste Aufmerksamkeitsprozesse, besonders im Rahmen von emotionalen Prozessen moduliert werden kann. Emotionale Prozesse können so über die Amygdala eine Verstärkung der Aktivität in visuellen Kortizes bewirken (Critchley et al., 2005). Wie erörtert, initiiert die Amygdala nicht nur periphere autonome Reaktionen auf relevante Reize sondern moduliert auch die Aktivierung in kortikalen und sensorischen Regionen, welche für die Verarbeitung salienter Reize wichtig sind (LeDoux, 1996; Morris et al., 1997).

Besonders interessant sind Befunde, die zeigen, dass, die Aktivierung in visuellen Kortizes auch mit Fluktuationen des sympathischen Arousals kovariiert (Critchley et al., 2000 a,b).

Critchley et al. (2000 a) untersuchten in einer fMRI-Studie die Repräsentation körperlichen Arousals (Hautleitfähigkeit) während einer Entscheidungsaufgabe, und zeigten, dass sympathisches Arousal die Aktivität nicht nur im ventromedialen Präfrontalkortex, sondern auch im Parietallappen und im okziptotemporalen, extrastriatalen visuellen Kortex modulierte. Die Autoren gehen wiederum davon aus, dass die Aktivierung im visuellen Kortex vor allem eine Modulierung durch Aufmerksamkeitsprozesse, v.a. über Hirnareale, welche bei der emotionalen Verarbeitung visueller Stimuli beteiligt sind (z.B. Amygdala, cingulärer Kortex, Insula) reflektiert.

Hierfür spricht auch eine PET-Untersuchung von Lane et al. (1999), die einen Aktivierungsanstieg im extrastriatalen visuellen Kortex und anterioren temporalen Kortex zeigen konnten, wenn Personen visuelle Stimuli in Verbindung mit hohem subjektivem und sympathischem Arousal (Hautleitfähigkeit) verarbeiteten.

Eine wichtige PET-Studie von Critchley et al. (2001) zeigte, dass PAF-Patienten im Vergleich zu gesunden Probanden während kardiovaskulärer Aktivierung (Handgrip, Kopfrechnen) eine aufgabenunspezifische veränderte Aktivierung des temporalen und extrastriatalen visuellen Kortex und eine aufgabenspezifische verminderte Aktivierung im cingulären Kortex aufwiesen. Dieser Befund wird auf eine funktionelle Reorganisation im emotionalen und interozeptiv relevanten Netzwerk im Gehirn bei PAF-Patienten zurückgeführt, welche durch das bei PAF-Patienten existierende Fehlen von viszeralem Feedback aus der Peripherie erklärt wird. Wie erörtert, werden sensorische Kortizes (v.a. visuelle) durch autonomes Arousal aktiviert und unterliegen so nach den Befunden von Critchley et al. (2000a,b, 2001,

2005) auch modulierenden, ´arousalbezogenen´ Einflüssen aus dem viszeralen Feedback! Wichtig zu erwähnen ist, dass sich in dieser Studie von Critchley et al. (2001) keine Unterschiede zwischen PAF-Patienten und Gesunden in der Aktivierung der Amygdala und dem Hypothalamus zeigten. Dies spricht dafür, dass die eruierten Unterschiede in der Aktivierung des visuellen sensorischen Kortex zwischen PAF-Patienten und Gesunden nicht auf eine unterschiedliche Amygdala-Aktivierung (als autonomes Arousal generierende Struktur) sondern primär auf den Einfluss der fehlenden Rückmeldung über das autonome Arousal aus der Körperperipherie zurückzuführen ist. Wie bereits ausführlich erörtert, spielen besonders der insuläre Kortex und der cinguläre Kortex für die Repräsentation viszeraler Signale und deren bewusster Wahrnehmung sowie der Integration mit dem emotionalen Erleben eine wichtige Rolle (Critchley, et al., 2001; Critchley et al., 2004; Pollatos et al. 2005). Auch diese Strukturen sind eng mit der Amygdala verbunden und formen wesentliche Bestandteile des „zentralen autonomen Netzwerks“ (siehe Kapitel 3).

Zusammengefasst sprechen diese Befunde alle einerseits deutlich für eine Beeinflussung der frühen visuellen Verarbeitung durch emotionales Arousal und motivational relevante Stimuli und zeigen, dass dies einen adaptiven Mechanismus zur Erleichterung der Prozessierung motivational relevanter sensorischer Information darstellt (z.B. Critchley et al., 2000a; LeDoux, 1996). Zusätzlich verdeutlichen v.a. die Studien von LaBar et al. (2001) sowie Critchley und Mitarbeitern, dass die visuelle, sensorische Reizverarbeitung auch von aus der Körperperipherie zurückgemeldeten Arousalprozessen und dem interozeptiven Zustand des Organismus beeinflusst werden kann.

Zuletzt ist zu erwähnen, dass Lane und Mitarbeiter (Thayer & Lane, 2000; Lane & Schwartz, 1987; Lane et al., 1998) gezeigt haben, dass Menschen, welche eine hoch entwickelte Fähigkeit besitzen, ihre Emotionen wahrzunehmen („emotional awareness“) besonders gut darin sind, emotionale Signale in der Umwelt und in sich selbst zu detektieren und zu unterscheiden (Lane et al., 2000, p.529). Besonders der cinguläre Kortex spiele dabei eine wichtige Rolle (Lane et al., 1998; Lane et al.,1999), eine Struktur, die sich ja nicht nur für das subjektive emotionale Erleben sondern auch die bewusste Wahrnehmung interozeptiver Signale als sehr wichtig erwiesen hat (siehe Kapitel 3; siehe unten folgendes Kapitel 5.1.2.).
Wie in Kapitel 4 ausführlich erörtert, nehmen gute Herzwahrnehmer, also Personen mit ausgeprägter interozeptiver Sensitivität, emotionale Stimuli als subjektiv viel erregender wahr als schlechte Herzwahrnehmer, und detektieren per definitionem interozeptive Reize besser. Diese Gruppe sollte sodann auch emotionale Stimuli in der Umwelt besser identifizieren und stärker verarbeiten und dies sollte auch für die sensorische Verarbeitung von emotional salienten Reizen zutreffen.

Lane und Mitarbeiter haben auch darauf aufmerksam gemacht (z.B. Thayer & Lane, 2000; Lane, 1998, 1999), dass das zentralnervöse Netzwerk an für emotionale und interozeptive Prozesse bedeutsamen Hirnstrukturen (central autonomic network: v.a. ACC, insulärer Kortex, Amygdala, Hypothalamus, NTS, Nucleus ambiguus, medulläre Kerne, Präfrontalkortex und Bereiche der somatosensorischen Kortizes; Thayer & Lane, 2000) plastischen, funktionalen und ontogenetisch variablen Veränderungen, also deutlichen Erfahrungs- und Lernmechanismen unterliegt, und auch über die Ausprägung der Fähigkeit externe und interne emotionale Signale gut wahrnehmen zu können entscheidet (Lane & Schwartz, 1987; Lane 1998).

Festzuhalten bleibt vorerst jedoch, dass das *„zentrale autonome Netzwerk“*, welches u.a. Amygdala und cingulären Kortex einschließt, welche beide deutlich für die Emotionsverarbeitung sowie die Verstärkung früher sensorischer Verarbeitungsprozesse relevant sind, Entwicklungsprozessen – moduliert durch Erfahrung und Lernen - unterworfen sind, einen Einfluss auf die Fähigkeit besitzen, Emotionen aber auch interozeptive Zustände wahrzunehmen und externe und interne Signale zu detektieren (Lane et al., 1998; Thayer & Lane, 2000). Dass ein Fehlen interozeptiven Inputs zu Veränderungen in diesem Netzwerk führen kann, welche auch die Funktionen des Okzipitalkortex beeinflussen, also Auswirkungen auf die sensorische Verarbeitung visueller Stimuli haben, wurden v.a. in der Studie von Critchley et al. (2001) bei PAF-Patienten gezeigt.

5.1.2. Cingulärer Kortex

Wesentliche emotionale und v.a. interozeptive Funktionen des cingulären Kortex habe ich bereits in Kapitel 3.2.4.2. ausführlich beschrieben, die ich hier ergänzen möchte.
Der Gyrus cinguli ist prinzipiell eingebunden in die Steuerung von viszeralen, autonom-nervösen Reaktionen, Aufmerksamkeitsfunktionen, Emotionsverarbeitung, emotionalen Aspekten des Schmerzerlebens, Reaktionsauswahl und motorischen Funktionen, Vokalisation, semantischer Assoziation sowie subjektiv emotionalen Erlebens (z.B. Lane et al., 1998; Frith et al., 1991; Morris et al., 1998; Phan et al., 2002).
Diese vielfältigen Funktionen des cingulären Kortex reflektieren nach Lane et al. (1998) dessen übergeordnete Rolle bei der exekutiven Kontrolle von Aufmerksamkeit und motorischer Kontrolle.

Schon aufgrund seiner anatomischen Verbindungen ist der ACC gut dafür ausgerüstet, auf relevante Umweltreize adäquat zu reagieren. Der v.a. für affektive Prozesse relevant erachtete *rostrale und ventrale Teil des ACC* besitzt extensive Verbindungen mit limbischen

und paralimbischen Strukturen (v.a. Amygdala, Insula, autonome Hirnstammkerne, Nucleus accumbens, Hypothalamus), und wird v.a. für die Regulierung viszeraler und autonomer Reaktionen auf Stress- und Emotionsstimuli sowie bei sozialem Verhalten als wichtig erachtet (siehe Kapitel 3.2.4.2.). Prinzipiell wurde eine Aktivierung des anterioren Cingulums immer dann nachgewiesen, wenn emotionale Stimuli verarbeitet und bewertet wurden (Phan et al., 2002).
Mittels bildgebender Verfahren konnte gezeigt werden, dass eine erhöhte Aktivierung des ACC bei einer emotionsbezogenen Bearbeitung von Reizen existiert. Die Aufforderung, den emotionalen Gehalt von Bildern zu beschreiben, führte zu einer höheren Aktivierung des ACC als die Anweisung, die Bilder nur anhand von äußeren Merkmalen zu beschreiben (siehe Schandry, 2003a).

Der für vornehmlich kognitive Funktionen relevant betrachtete *dorsale Teil des ACC* ist stark reziprok mit dem dorsolateralen Präfrontalkortex, dem posterioren Cingulum, dem Parietalkortex, und supplementären motorischen Kortex sowie Rückenmark verbunden, und scheint v.a. bei der Reaktionsauswahl und der Verarbeitung kognitiv beanspruchender Information beteiligt zu sein (Davidson et al., 2003).
Der dorsale ACC wird während Aufgaben aktiviert, die eine Interferenz kompetitiver Information beinhalten, bei visueller Aufmerksamkeit, dem Überwachen kognitiver und belohnungsabhängiger Konflikte, und bei risikoassoziierten Aufgaben unklaren Ausgangs (Davidson et al., 2003).
Eine Aktivierung des ACC wurde in einer Reihe von PET-Studien bei kognitiven und motorischen Aufgaben, einschließlich des Stroop-Interferenz-Tests sowie bei geteilter vs. selektiver Aufmerksamkeit, bei willkürlichen Handlungen sowie besonders bei der Analyse von konfliktrelevanten Aufgabenaspekten (z.B. Bench et al., 1993; Corbetta et al., 1991; Davidson et al., 2003) beobachtet.
Der ACC fördert die Auswahl geeigneter Reaktionen und unterdrückt ungeeignete Reaktionen (Lane et al., 1998). Es wird davon ausgegangen, dass der ACC besonders bei der kognitiven Verarbeitung und Aufmerksamkeit von bzw. auf Stimuli beteiligt ist, die zur Auswahl einer passenden Reaktion benutzt werden (z.B. Posner & Petersen, 1990).

Was die Bedeutung des cingulären Kortex für die Beeinflussung sensorischer Reizverarbeitung angeht, habe ich bereits im vorhergehenden Kapitel darauf verwiesen, dass der ACC neben der Amygdala ebenfalls als relevant für die schnelle und verstärkte Verarbeitung sensorischer, visueller emotionaler Stimuli erachtet wird (Bradley et al., 2003). Posner & Petersen (1990) betonen etwa, dass der ACC durch Aufmerksamkeitsprozesse den visuellen Kortex für relevanten Input „primen“ kann. Zudem weist der ACC intensive

reziproke Verbindungen mit der Amygdala auf, wodurch eine ausgeprägte Zusammenarbeit beider Strukturen bei der sensorischen Reizverarbeitung existiert (Amaral & Price, 1984).

Der ACC wird insgesamt als Schnittstelle zwischen viszeraler Regulation, Aufmerksamkeit und Emotion betrachtet (Davidson et al., 2003). Thayer & Lane (2000) beschrieben den ACC als *„point of integration for visceral, attentional, and affective information that is critical for self-regulation and adaptabiliy." (S. 211).*
Nach Damasio (1994, 1999, 2000) handelt es sich beim ACC zum einen um eine *„Emotionsinduktionsstruktur"* sowie um ein Substrat der „second order representation of self, das eine Integration von Informationen aus dem Körper und von Informationen aus der Umwelt herstellt, wodurch das Erleben von Gefühlen möglich wird. Craig (2002) betont ebenfalls sowohl die Funktion des ACC als interozeptives Repräsentationsareal sowie für emotional-motivationales Verhalten.
Der ACC ist nach neueren Erkenntnissen besonders wichtig für die Wahrnehmung und die Selbst-Regulation subjektiver Gefühle (Phan et al., 2002; Damasio, 2000; Beauregard et al., 2001).
Wie in Kapitel 3 erörtert stellt der ACC, neben der Insula, eine wichtige Struktur dar, die eine Verbindung zwischen Emotionsverarbeitung und Viszerozeption ermöglicht (siehe auch Cameron, 2001) sowie für die interozeptive und exterozeptive Detektion emotionaler Reize relevant ist (Lane et al., 1997).
Ein Überblicksartikel von Reiman (1997) unterstreicht v.a. die Bedeutung des ACC bei der bewussten Wahrnehmung von Emotion und dem Erkennen sozial und affektiv relevanter Reize. Devinsky et al. (1995) fassen zusammen, dass Schädigungen des ACC entsprechend häufig zu Beeinträchtigungen im sozial-affektiven Erleben und Verhalten, inklusive eingeschränktem Affekt, Impulsivität, Disinhibierung und Beeinträchtigungen bei sozialen Urteilsprozessen führen.

Vor allem die Arbeitsgruppe um Lane und Mitarbeiter (Lane et al., 1998) hat gezeigt, dass der cinguläre Kortex eine besondere Rolle bei der *„emotional awareness"* einnimmt. Lane et al. (1998) zeigten in einer PET-Studie, dass der regionale zerebrale Blutfluss im anterioren cingulären Kortex während des Betrachtens emotionaler Stimuli und der Erinnerung an emotionale Ereignisse mit den Werten in der „Levels of Emotional Awareness Scale" (LEAS) hochsignifikant korrelierte. Der ACC wurde umso höher aktiviert während emotionale Stimuli verarbeitet wurden, je ausgeprägter die „emotional awareness" in der LEAS war.
Die LEAS ist ein Fragebogen, der gezielt zur Untersuchung von „emotional awareness" entwickelt wurde und in 5 Skalen die Differenzierung und Integration von kognitiven Schemata abfragt, welche zur Verarbeitung von emotionaler Information angewendet

werden. Der Fragebogen verlangt von den Probanden, ihre antizipierten Gefühle und die anderer Personen in insgesamt 20 Szenen zu beschreiben. Bewertet werden Differenzierung und Integration benutzter Wörter, welche Emotionen beschreiben. Je höher die Ausprägung in der LEAS, welche eine hohe „emotional awareness" signalisiert, desto differenzierter die Fähigkeit Emotionen bei sich und anderen wahrzunehmen und zu verarbeiten.
Individuelle Unterschiede in der Fähigkeit „emotional awareness", also in der Fähigkeit emotionale Signale interozeptiv und exterozeptiv zu entdecken und zu verarbeiten, seien demnach eine Funktion der Aktivierung des ACC, wobei der ACC als „Kopf" des anterioren Aufmerksamkeitssystems agiert und für die Detektion dieser Stimuli relevant ist.
Lane et al. (1995) haben auch gezeigt, dass Personen mit einer ausgeprägten „emotional awareness" besonders gut in der Detektion und Diskriminierung emotionaler Signale bei sich selbst und anderen sind und folgern, dass:
"Thus, a greater number of emotion targets may be identified within, or more internal emotional information may be generated from, a given external emotional stimulus (Lane et al., 1998, p.529).
Folglich ist eine enge Beziehung zwischen interozeptiver Sensitivität, „emotional awareness" und der Verarbeitung und Detektion emotionaler Stimuli zu erwarten (Lane et al., 1998). Dies entspricht auch der Auffassung von Craig (2004), dass individuelle Unterschiede in „emotional awareness" direkt mit Unterschieden in der Fähigkeit zur Wahrnehmung interozeptiver Gefühle („feelings") relatiert sind.
Lane et al., 1998 betonen:
„To the extent that the anterior attentional system is more readily engaged by emotion as a function of level of emotional awareness, greater sensitivity and attention to emotion cues (is) expected … " (Lane et al., 1998, S. 530).

Lane & Schwartz (1987) haben ein Entwicklungsmodell der „emotional awareness" vorgeschlagen, in dem sie davon ausgehen, dass die individuelle Fähigkeit Emotionen in sich selbst und an anderen zu erkennen und zu beschreiben einem Entwicklungsprozess während des Lebens unterliegt, wobei interozeptive Prozesse eine wesentliche Rolle spielen. Man kann somit davon ausgehen, dass „emotional awareness" Lernprozessen und anderweitigen Einflussfaktoren auf die „Formung" des emotionalen und interozeptiven Netzwerks im Gehirn unterliegt.
Eine ähnliche Aussage impliziert auch Damasio Modell: Bechara (2004) und Damasio (2000) konstatieren etwa konkret, dass, wenn einmal ein somatischer Zustand von primären Auslösern induziert wurde, und Signale dieses somatischen Zustands an das Gehirn zurückgemeldet wurden, diese Signalverarbeitung im Hirnstamm und somatosensorischen Kortizes (z.B. Insula, SI und SII, cingulärer Kortex) kontinuierlich einer Entwicklung, d.h.

einem Lernprozess unterworfen sind. Die Verknüpfung von Stimulus und ausgelöstem somatischen Zustand sowie Emotion und somatisch-viszeraler Veränderung wird ge- bzw. überlernt, genauso die Verknüpfung zwischen aus der Peripherie zurückgemeldetem Signal und gefühlter Emotion.
Es existieren so ganz konkret Hinweise darauf, dass eine Unterbrechung des oder eine Läsion im „somatic marker system“ des Gehirns um so mehr soziale, emotionale und motivationale Defizite generiert, je früher diese Störung oder Läsion in der Hirnentwicklung stattgefunden hat (Blair et al., 2001a,b). Blair et al. (2001a) konnten dies etwa bei Jungen mit psychopathischen Tendenzen im Alter von 9 bis 19 Jahren nachweisen.

5.1.3. Insula

Die wesentlichste Rolle der Insula besteht sicherlich in ihren viszerosensiblen und viszeromotorischen Funktionen, die ich in Kapitel 3 ausführlich beschrieben habe.
Dort habe ich geschildert, dass die Insula wesentliche reziproke Verbindungen zum Hypothalamus, Thalamus sowie dem cingulären Kortex und der Amygdala, dem orbitofrontalen Kortex und direkte Projektionen zum Nucleus tractus solitarii (NTS), sowie weiteren medullären Kernen aufweist.
Die Insula ist somit fest eingebunden in das *„central autonomic network“*, welches der Regulation autonomer und emotionaler Prozesse sowie Aufmerksamkeitsfunktionen dient. Zudem gibt es Hinweise auf Verbindungen zwischen insulärem Kortex und visuellem und auditorischem Kortex sowie Befunde für eine Bedeutung des insulären Kortex bei der Beeinflussung der selektiven, visuellen Aufmerksamkeit (Augustine, 1996, Cameron, 2002).
Die Insula hat, nach heutigen Erkenntnissen einen ganz wichtigen Platz bei der Integration viszeraler, gustatorischer und somatosensorischer, sowie auch visueller und auditorischer Inputs und dem bewussten emotionalen Erleben. Sie stellt sicherlich also eine sehr wichtige Schaltstellen zwischen Emotions- und vegetativer Regulation dar (Schandry, 2003a).

Im Gegensatz zur Amygdala, welche für die frühe Übersetzung sensorischer Verarbeitung in emotionale Reaktionen und deren Verstärkung zuständig ist, scheint die Insula nach heutigen Erkenntnissen für den Transfer der aus dem Körper rückgemeldeten oder aus dem „as if body loop“ stammenden autonomen und körperlichen Signale in subjektive emotionale Gefühle zuständig zu sein (z.B. Critchley et al., 2002, Kapitel 3). Insula und Amygdala sind jedoch strukturell und funktionell eng verbunden, und agieren bei Emotionsverarbeitungsprozessen immer zusammen (Morris, 2002). Morris (2002) geht davon aus, dass die Insula höchstwahrscheinlich Arousal-abhängige Modulationen der Amygdala bei der Verarbeitung von sensorischen Reizen bewirkt.

Weitere emotionale Funktionen der Insula wurden nachgewiesen: Studien haben eine Beteiligung der Insula für das Erkennen von Ekelreizen und das Erleben von Ekel, für Traurigkeit und Furcht belegt (Morris, 2002). Der insuläre Kortex wird fMRI-Studien zufolge aktiviert, wenn Ekelreize und Gesichtsausdrücke, die Ekel anzeigen, verarbeitet werden (Adolphs, 2002). Läsionen der Insula führen zu einer Beeinträchtigung bei der Erkennung von Ekelreizen und der Fähigkeit Ekel zu fühlen (Calder et al., 2000).
Auch bei der Furchtkonditionierung, dem Erleben phobischer Symptome, Hunger und Sättigung sowie der Wahrnehmung gefährlicher Stimuli ist die Insula involviert (z.B. Buchel et al., 1998; Casey et al., 1994; Morris, 2002).

Der insuläre Kortex ist auch relevant beim Erwerb und der Aufrechterhaltung der konditionierten Geschmacksaversion sowie beim Vermeidungslernen und spatialen Lernen. Es gibt Hinweise dafür, dass die Amygdala diesbezügliche Gedächtnisprozesse in der Insula moduliert (McGaugh et al., 2003). Da v.a. die basolaterale Kerngruppe der Amygdala direkte Projektionen zum insulären Kortex besitzt, nimmt man an, dass diese Amygadalakerne die Gedächtniskonsolidierung über die Modulierung der Insulaaktivität beeinflussen (McGaugh et al., 2003).

Es wird heute davon ausgegangen, dass die Insula eine generalisierte und nicht spezifische Funktion bei der Verarbeitung emotionaler Reize erfüllt (Morris, 2002).
So wurde gezeigt, dass Läsionen in primären und sekundären somatosensorischen Kortizes aber auch Läsionen der Insula die Erkennung verschiedenster emotionaler Reize deutlich beeinträchtigt (Adolphs et al., 2000). Adolphs geht davon aus, dass die „Spiegelung“ von Emotionen eines anderen im eigenen Gehirn (v.a. in rechten somatosensorischen Kortizes, und der Insula) die entsprechende Emotion im Betrachter triggert, und dies zusammen mit den dazugehörenden autonomen und viszeralen Reaktionen. Letzteres erinnert an die in Kapitel 3.2.4.3. kurz angesprochenen „mirror neurons“ (Spiegel-Neurone).

Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass die Insula bei der Evaluation, Erfahrung und Expression intern generierter Emotionen aktiviert wird (Reiman et al., 1997; Phan et al., 2002). Dies stützen Befunde von Damasio et al. (2000), die zum einen zeigten, dass die Insula zusammen mit dem cingulären Kortex und Hirnstamm immer aktiviert werden, wenn Personen sich an aversive oder positive Erlebnisse erinnerten. Damasio et al. (2000) gehen bekanntlich davon aus, dass diese Hirnregionen die stattfindenden internen, emotionalen Zustände des Organismus überwachen und damit wichtige neuronale Korrelate von Gefühlen darstellen (Kapitel 2). Entsprechend gehen Reiman et al. (1997) davon aus, dass

die Insula bei der Evaluation von „stresshaften“ Kognitionen und interozeptiv-emotional signifikanten Signalen als Alarmzentrum fungiert, um Gefahren aus dem Inneren des Körpers oder hömöostatische Veränderungen zu erkennen.

5.1.4. Präfrontaler Kortex

Lage, Aufteilung und Bedeutung des Präfrontalkortex für interozeptive Prozesse wurden in Kapitel 3.2.4.4. erörtert.
Auch der Präfrontalkortex, v.a. der ventromediale Prfärontalkortex, besitzt intensive reziproke Verbindungen mit thalamischen Schleifen, die in die visuelle Objektverarbeitung involviert sind, wie mit dem inferotemporalen Kortex, aber auch mit dem insulären Kortex und dem ACC sowie der Amygdala (Cameron, 2002; Craig, 2002; Karnath & Thier, 2003). Diese Projektionen stellen eine Grundlage her, für die Beteiligung präfrontaler Regionen, v.a. des ventromedialen, orbitofrontalen Präfrontalkortex für oben ausführlich besprochene verstärkte sensorische Reizverarbeitung emotional signifikanter Stimuli (LeDoux, 1996; Posner & Petersen, 1990).

Der ventromediale Präfrontalkortex wird in Damasios Somatic Marker Theorie (Damasio, 1999, 2000) als eine Emotionsinduktionsstruktur sowie als Repräsentationsregion zweiter Ordnung vorgestellt („Kernselbst“). In den bereits geschilderten Untersuchungen (Kapitel 2.4.6. und 4.4.2) spielt diese Hirnstruktur v.a. eine Hauptrolle bei der Prozessierung von somatischen Markern im Rahmen von Entscheidungsprozessen sowie bei der adäquatem Auswahl von Handlungsalternativen (Damasio et al., 1991; Bechara, 2004; Bechara et al., 1996, 1997; Tranel, 1994). Zudem ist der ventromediale Präfrontalkortex bei der Generierung von antizipatorischen autonomen Reaktionen in Entscheidungssituationen relevant. Während primäre Emotionen nach Damasio (1994; 2000) vornehmlich in limbischen Netzwerken (v.a. Amygdala, ACC) stattfinden (siehe Kapitel 2.4.), involvieren sekundäre Emotionen v.a. den ventromedialen oder orbitalen Präfrontalkortex. Diese sekundären Emotionen sind gekennzeichnet durch höher-geordnete Qualitäten und beinhalten auch Imagination und Erinnerungsaspekte von Emotionen.

Der Präfrontalkortex wird prinzipiell als der emotionale Apex des Gehirns betrachtet.
Umfangreiche tierexperimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass besonders Neurone des orbitofrontalen Präfrontalkortex auf hedonische und affektive Belohnungsreize reagieren. Besonders Veränderungen in der Qualität der Belohnungseigenschaften von Reizen werden dort registriert (Berridge, 2003; Rolls, 2000).

Befunde aus PET- und fMRI- Studien beim Menschen verweisen auf eine deutliche Aktivierung des orbitofrontalen Kortex bei aversiver und positiver emotionaler Stimulation durch Bildstimuli, Geruch, Geschmack, Berührung, Musik (Berridge, 2003). Das Betrachten emotionaler Gesichter führt im Gegensatz zum Betrachten neutraler Gesichter zu einer Aktivierung des rechten orbitofrontalen Kortex (Vuilleumier et al., 2001). Diese Kortexregion wird auch aktiviert durch basale Belohnungsreize, wie Kokain, Opiate oder THC (Berridge, 2003). Läsionen des Orbitofrontalkortex, v.a. rechtsseitig, führen zu Beeinträchtigungen bei der Erkennung von Emotionen (Adolphs, 2002).

Eine Abgrenzung gegenüber der Rolle der Amygdala könnte nach Adolphs (2002) dahingehend vorgenommen werden, dass die Amygdala v.a. bei der schnellen Erkennung emotional salienter Information in Kombination mit der Generierung somatischer, viszeraler Reaktionen zuständig ist, während Regionen des Präfrontalkortex, z.B. orbitofrontaler Kortex, vornehmlich aktiviert werden, wenn die kognitiven Komponenten der Bewertung und Identifizierung einer Emotion im Vordergrund stehen.
Ein sehr einhelliger Befund von Untersuchungen ist, dass die Reaktionen der Amygdala reduziert werden, wenn die Anforderung für die explizite Rekognition von Emotionen ansteigen. Dies wird als Aufgabe präfrontaler Kortexregionen interpretiert, welche einen inhibitorischen Einfluss auf die Amygdala-Aktivität besitzen (Adolphs, 2002).

Die Rolle des ventromedialen Präfrontalkortex scheint in Abgrenzung zum dorsolateralen Präfrontalkortex darin zu liegen, dass diese Region eher bei der Repräsentation von basalen negativ oder positiv getönten Stimmungen und der Antizipation zu erwartender emotionaler Konsequenzen involviert ist (Schandry, 2003a). Der orbitofrontale Kortex wiederum besitzt eine wichtige Rolle bei der Emotionsregulation. Wie erörtert wird dieser Teil v.a. aktiviert, wenn sich die emotionale Bedeutung eines Reizes ändert, z.B. wenn der Reiz Signalwirkung hinsichtlich nachfolgender Belohnung oder Bestrafung erwirbt (Schandry, 2003a; Berridge, 2003; Rolls, 2000). Der dorsolaterale Präfrontalkortex scheint v.a. für Ziele emotionaler Verhaltensmuster relevant zu sein, wenn es etwa um das Erreichen einer Belohnung oder die Vermeidung einer unangenehmen Situation geht (Schandry, 2003a).

Läsionen des orbitofrontalen und ventromedialen Kortex führen zu profunden emotionalen Störungen, wie Euphorie, emotionale Enthemmung und Impulsivität, während dorsolaterale Schädigungen häufig zu Affektverflachung und Apathie führen (Berridge, 2003).
Prinzipiell zeigen aber Patienten mit Läsionen des Präfrontalkortex keinen völligen Verlust an Emotionalität, sondern sind immer noch zu einem basalen Empfinden von grundlegenden positiven oder negativen Reizen fähig (Damasio, 1994, 1996).

Besonders Damasio und Kollegen (z.B. Bechara et al., 1997) haben in interessanten Studien mit der „Iowa Gambling Task“ gezeigt, dass v.a. Läsionen des ventromedialen Kortex zu subtilen Beeinträchtigungen von vorteilhaften Entscheidungen führen, so dass Betroffene nicht mehr in der Lage waren typische antizipatorische autonome Reaktionen (Hautleitreaktionen) zu produzieren. Im Vergleich zu Gesunden fehlte den Patienten somit ein somatischer Marker, der ihnen bei der Auswahl einer geeigneten Handlungsalternative beim Kartenspiel zur Verfügung hätte stehen können (Kapitel 2. und 4.).
Patienten mit Schädigungen des ventromedialen Präfrontalkortex sind nach Damasio (1999, 2000) unfähig somatische Marker zu generieren und ihnen zu folgen. Nach Damasio sind somatische Marker bekanntlich physiologische Reaktionen, die auf ein emotionales Ereignis, meist unbewusst, generiert werden, und den Wert oder die Relevanz eines Ereignisses signalisieren. Diese somatischen Marker werden auch im ventromedialen Präfrontalkortex repräsentiert, können dort bewusst werden und sind bereits mit emotionalen Ereignissen gekoppelt. Eine Schädigung dieser Region verhindert diesen Prozess und die Einbettung dieser relevanten Marker in die Auswahl von Handlungsalternativen und Verhaltensregulation (Bechara et al., 2000; Damasio, 1994; 1999).

Besonders der ventromediale und orbitofrontale Kortex scheinen somit v.a. bei der Generation emotionaler Reaktionen und der Inkorporation emotionaler Konsequenzen eigener Handlungen in die alltäglichen Verhaltensstrategien stark beteiligt zu sein (Berridge, 2003).
Des Weiteren sind die belohnungs-relatierten Repräsentationen im ventromedialen Präfrontalkortex viel weniger „stimuls-driven“, also von den Reizeigenschaften bestimmt, als in der Amygdala, und damit stärker höheren kognitiven und emotionalen Verarbeitungsprozessen zugänglich, was für die übergeordnete Bedeutung des Präfrontalkortex bei emotionalen Prozessen spricht (Damasio et al., 2003).
Zusammengefasst kann davon ausgegangen werden, dass v.a. der ventromediale Präfrontalkortex:
„… is a critical component of the neural system by which we acquire, represent, and retrieve the values of our actions. This mechanism includes the generation of overt somatic states, and/or the generation of overt somatic states, that correspond to the anticipated future outcome of decisions (Damasio, 2003, S. 85).

5.2. Visuelle Emotionsinduktion: Befunde und Theoretische Grundannahmen

Da in der vorliegenden Arbeit unter anderem Emotionsverarbeitungsprozesse in Abhängigkeit von der Kardiosensibilität anhand von visuellem Stimulusmaterial untersucht werden, möchte ich existierende Befunde aus Bildgebungsstudien und EEG-Untersuchungen zur zentralnervösen Regulation von Emotion auf solche beschränken, welche gängige Emotionsinduktionsparadigmen benutzten, die auf der Präsentation von emotionalen Bildern beruhen.

Die visuelle Modalität ist zudem die am besten untersuchte, wenn es um Emotionsinduktion geht. Zu diesem Zweck existiert seit fast rund 30 Jahren ein normiertes Bilderset, welches als ein kontrolliertes und ethisch unbedenkliches Verfahren von zahlreichen Emotionsforschern eingesetzt wird. Dabei handelt es sich um das normierte Bildersystem „International Affective Picture System“ (IAPS) von Peter J. Lang, Margaret M. Bradley und Bruce N. Cuthbert, welches am „NIMH Center for the Study of Emotion and Attention“ der University of Florida entwickelt wurde (siehe Lang et al., 1988, 1993, 1997).

Damit assoziiert ist eine heute dominierende Sichtweise von Emotion: nämlich die „dimensionale Sicht von Emotion“ (Lang et al., 1997; Osgood, Suci, Tannenbaum, 1957; Russel & Mehrabian, 1977).

Da in den experimentellen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit das IAPS als wesentliche Quelle zur Emotionsinduktion herangezogen wird, werde ich im Folgenden Anwendung und theoretische Hintergründe des IAPS als Möglichkeit zur visuellen Induktion von Emotion sowie die dimensionale Sichtweise von Emotion zusammenfassend besprechen sowie auf relevante und aktuelle Befunde zur Emotionsverarbeitung eingehen.

5.2.1. Das „International Affective Picture System“ (IAPS) und die dimensionale Sichtweise von Emotionen

Das IAPS wurde basierend auf *dimensionalen Emotionsmodellen* (Lang et al., 1997; Osgood, Suci, Tannenbaum, 1957; Russel & Mehrabian, 1977) entwickelt. Es werden dort zwei bis drei, den Emotionen zugrunde liegende, Dimensionen postuliert (z.B. Hamm et al., 2003). Auf die dimensionale Organisation von Emotion werde ich im Folgenden noch näher eingehen.

Das IAPS besteht momentan in der mir zuletzt vorliegenden Form (International Affective Picture System: CD, 1999) aus insgesamt 771 Bildern, welche nach dem Ausmaß ihres zu induzierenden „Arousals“, ihrer „Valenz“ und „Dominanz“, als Emotionen konstituierende Dimensionen, normiert sind.

Ziel der Entwicklung des IAPS war und ist es, ein umfangreiches Set standardisierter Farbbilder zusammen zu stellen, welche in der Lage sind, unterschiedliche Emotionen zu evozieren, international verfügbar sind und einen weiten Bereich semantischer Kategorien beinhalten (Lang et al., 1999).
Neben dem IAPS, das ja visuelles, emotionales Stimulationsmaterial darstellt, wurde am „NIMH Center for Emotion and Attention“ auch weiteres standardisiertes Material entwickelt, welches über andere nicht-visuelle sensorische Modalitäten wirksam wird:

- International Affective Digitized Sound System (IADS)
- The Affective Lexicon of English Words (ANEW)

Letzteres ist, wie der Name schon signalisiert, vorerst natürlich nur im englischsprachigen Raum einsetzbar. Nichtsdestotrotz gibt es mittlerweile auch Ansätze deutschsprachigen emotionalen Wort-Materials, so etwa an der Universität Konstanz, welches zu Forschungszwecken aktuell im Einsatz ist, um emotionale Verarbeitungsprozesse sprachlicher Stimuli zu untersuchen. Dieses Stimulusmaterial ist momentan allerdings noch nicht offiziell verfügbar.

Um das IAPS zu normieren, was eine emotionale Beurteilung der Bilder impliziert, wurde zu Beginn der Entwicklung des IAPS mit dem Semantischen Differenzial von Osgood (Osgood, Suci & Tannebaum, 1957) gearbeitet, das eine recht einfache dimensionale Sichtweise von Emotionen zu Grunde legt. Diese Sicht geht davon aus, dass Emotionen anhand der Koinzidenz von Werten auf verschiedenen Dimensionen definiert werden können.
Faktorenanalytische Tests über eine Reihe von verbalen Urteilen indizierten in Osgoods Arbeit, dass die Varianz bei Erhebungen der emotionalen Einschätzung durch drei Dimensionen erklärt werden konnte. Die beiden primären „Emotionsdimensionen“ konnten als „affektive Valenz“ und „Arousal“ beschrieben werden. Die Dimension „Valenz“ bewegt sich zwischen den Polen „angenehm“ (pleasant) und „unangenehm“ (unpleasant) und die Dimension „Arousal“ rangiert von „ruhig“ (calm) bis „aufregend“ (excited). Eine dritte, weniger exakt abgrenzbare Dimension wurde als „Dominanz“ (dominance) oder auch „Kontrolle“ (control) benannt.

Die ***dimensionale Sichtweise von Emotion***, so wie sie auch der Entwicklung des IAPS zu Grunde liegt, geht, wie erwähnt also davon aus, dass zwei bis drei Dimensionen existieren und ausreichen, um Emotionen zu beschreiben und zu klassifizieren.
Das dimensionale Begreifen von Emotionen reicht zurück bis zu Wilhelm Wundt (1910), der in seiner „mental chemistry“, den Gedanken verfolgte, dass Affekte durch allumfassende,

motivationale Faktoren organisiert sind. Er definierte drei grundlegende Dimensionen der Emotion, die aus experimentellen Untersuchungen von Emotionsverläufen abgeleitet wurden. Diese drei Dimensionen waren: Lust vs. Unlust; Erregung vs. Beruhigung und Spannung vs. Lösung. Diese Sichtweise eines dimensionalen Ansatzes wurde und wird von vielen späteren Emotionsforschern immer wieder aufgegriffen (z.B. Mehrabian und Russel, 1974; Mehrabian, 1978; Lang et al., 1997).

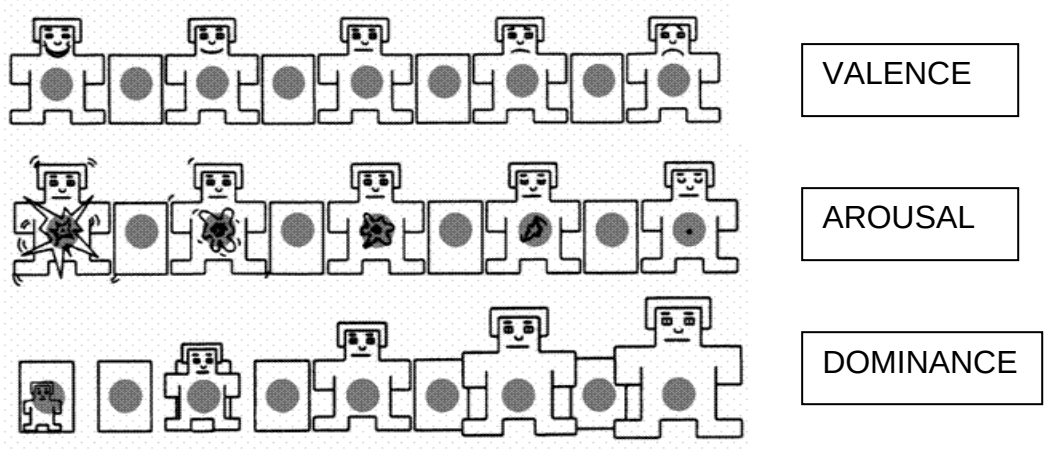
Für die Arbeiten von Lang et al. (1997), welche das IAPS im Rahmen dieser dimensionalen Sichtweise von Emotionen entwickelten, war die „Drei-Faktoren-Theorie“ von Mehrabian (Mehrabian & Russel, 1974; Mehrabian, 1978) ein wichtiger Ausgangspunkt. Das Schlüsselaxiom der Drei-Faktoren-Theorie (Valenz, Erregung, und Dominanz) Mehrabians ist, dass Menschen auf außerordentlich unterschiedliche Umwelten auf der Basis nur weniger grundlegender Gefühlsdimensionen reagieren, und dass diese grundlegenden Gefühlsdimensionen wiederum sehr unterschiedliche Verhaltensweisen hervorrufen können.

Zur individuellen Beurteilung der emotionalen Bedeutung der Bildreize sowie aufbauend auf den drei Dimensionen Valenz, Arousal und Dominanz, wird die von Lang und Bradley (Lang, 1980; Bradley & Lang, 1994) entwickelte so genannte ***„Self-Assessment Manikin“ (SAM)*** Skala verwendet.

Bei der SAM handelt es sich um ein affektives, nonverbales Ratingsystem, welches das subjektive Erleben bzw. die subjektive Einschätzung dieser drei Dimensionen (Arousal, Valenz, Dominanz) anhand von drei entsprechenden 9-stufigen Skalen bereitstellt. In großen Normierungsuntersuchungen wurde festgestellt, dass SAM-Ratings und Ratings aus dem Semantischen Differential sehr gut übereinstimmten (Korrelationen zwischen r = 0.97 und 0.95) (Hamm et al., 2003).

Abbildung 5.4. zeigt einen Ausschnitt der gebräuchlichen Papier-Bleistift-Version des SAM.

Abbildung 5.4. „Self Assessment Manikin“ (SAM) (aus: Lang, Bradley & Cuthbert, 1999)



Anzukreuzen sind auf allen 3 Skalen 9 Stufen. Ein Wert von 1 bedeutet dabei den kleinsten möglichen Wert und ein Wert von 9 den höchstmöglichen Wert pro Skala.

Die Erhebung des SAM-Ratings an einer großen Stichprobe US-amerikanischer Probanden erlaubte die Normierung des IAPS-Systems. Diese Ratings stimmten sehr gut mit den Ratings der Bilder in deutschen Stichproben überein (Hamm et al., 2003; siehe Abbildung 5.5.(B). Diese Normierung erlaubt die Auswahl von Bildstimuli, welche als besonders erregend (Arousal) und besonders positiv oder negativ (Valenz) gelten können. Es liegen auch Normen für die Dominanzdimension vor, welche aber weniger genutzt werden.

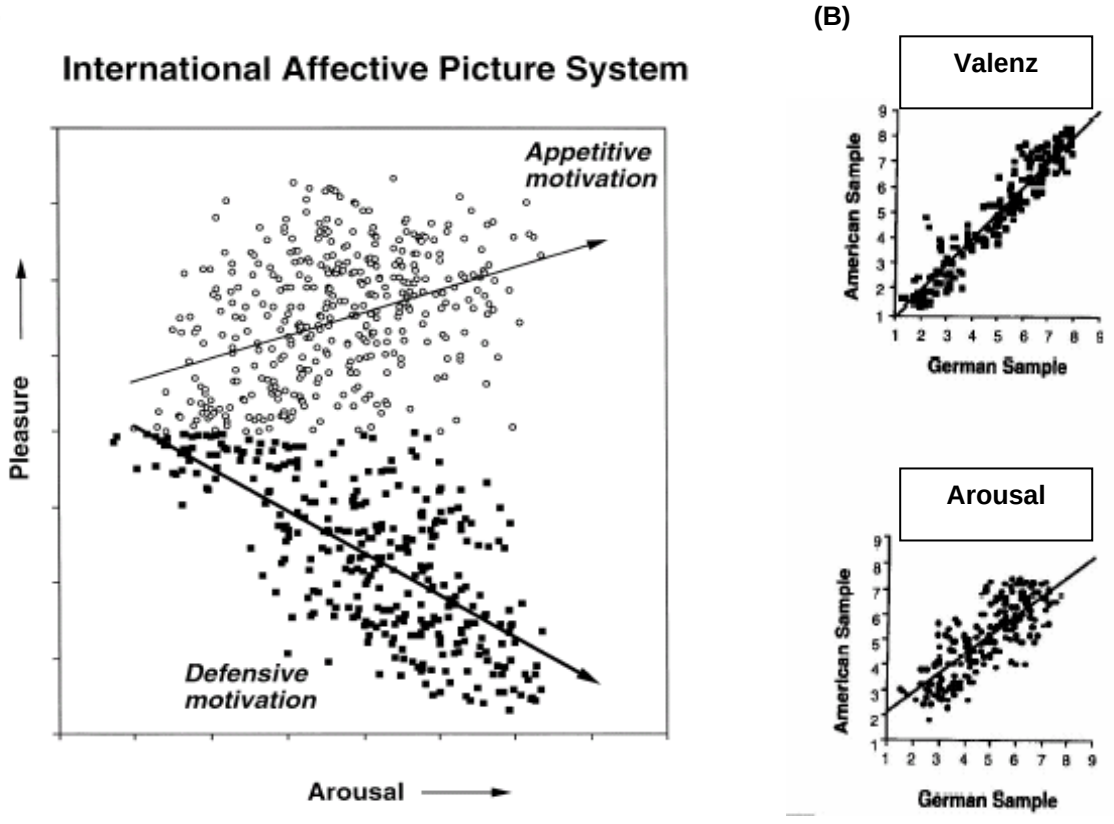
Werden IAPS-Bilder auf den Dimensionen Valenz und Arousal anhand des SAM geratet, so ergibt sich nicht nur in den groß angelegten Normierungsuntersuchungen, sondern auch in kleineren Stichproben die typische Verteilung der Bilder, welche als der affektive Raum zwischen den Achsen „Arousal“ und „Valenz“ bezeichnet wird (z.B. Hamm et al., 2003; Lang. Bradley & Cuthbert, 1999).

Abbildung 5.5. (A) zeigt einen Scatterplot, der den typischen affektiven Raum der IAPS-Ratings darstellt.

Abbildung 5.5.

(A) Der „affektive Raum“ der IAPS-Bilder: Mittlere SAM-Ratings des Arousals und der Valenz

(B) Regression der SAM-Ratings US-amerikanischer und deutscher Probandenstichproben für Arousal und Valenz (aus: Hamm et al., 2003; Bradley, 2000)



Der Scatterplot zeigt die Ratings der Bilder, wobei auf der X-Achse das Arousal und auf der Y- Achse die Valenz der „gerateten“ Bilder abgetragen sind. Abbildung 5.5. (B) visualisiert die Stabilität der affektiven Bewertungen über Ländergrenzen hinweg. Auch deutsche Probanden bewerteten die Bilder in ihrem Arousal und ihrer Valenz sehr ähnlich zu US-amerikanischen Probanden (Korrelationen für Arousal: r = 0.78; für Valenz: r = 0.94) (z.B. Hamm et al., 2003).

Erkennbar wird in obiger Abbildung die typische Bumerang-Verteilung der Bilder. Neutrale Bilder befinden sich entsprechend in der und um die Mitte der Verteilung. Neutrale Bilder besitzen also ein nur gering ausgeprägtes Arousal. Ausgehend von der Mittelachse des affektiven Raums der Bilder, befinden sich Bilder, die stärker angenehm oder unangenehm erlebt werden. Der linke obere Quadrant umfasst dann etwa alle diejenigen Bildstimuli, welche als niedrig erregend und hoch positiv eingeschätzt werden. Der obere rechte Quadrant bildet dementsprechend die hoch erregenden und hoch positiven Bilder. Der linke untere Quadrant fasst niedrig erregende und wenig angenehme (aversive) Dias zusammen und der rechte untere Quadrant bildet hoch erregende und wenig angenehme (aversive) Stimuli ab. Die Bumerang-Form der Verteilung lässt somit erkennen, dass je affektiv ansprechender (Valenzdimension) die Bilder sind, desto mehr werden sie auch als erregend (Arousaldimension) erlebt. Ito et al. (1998) konnten zeigen, dass die Koppelung zwischen Arousal und Valenzdimension deutlicher für unangenehme Bildstimuli existiert als für angenehme. Dies wird auch in Abbildung 5.5.(A) ersichtlich, welche eine enger zusammen liegende Punktewolke für zunehmend erregende und aversive Bilder erkennen lässt, als für die positiven Bildstimuli.
Diese sichelförmige Verteilung der Emotionen korrespondiert mit einer motivational interpretierbaren Relation zu Objekten der Umwelt, die erst bei stärkerer Erregung eindeutig (positiv oder negativ) werden.

Dies leitet über zu dem zu Grunde liegenden ***„motivationalen Modell emotionaler Organisation“***, welches von Lang und Mitarbeitern (z.B. Lang, Bradley & Cuthbert, 1997; Lang, Bradley & Cuthbert, 1998; Bradley, Codispoti, Cuthbert & Lang, 2001; Bradley, Codispoti, Sabatinelli & Lang, 2001; Bradley, Sabatinelli, Lang, Fitzsimmons, King & Desai, 2003) auf der Basis von tier- und humanexperimentellen Befunden vertreten wird:

Die Emotionsforschung geht relativ einheitlich davon aus, dass Emotionen Handlungsdispositionen darstellen, welche bestimmtes Verhalten favorisieren und stattfindendes Verhalten und kognitive Prozesse zu unterbrechen bzw. zu fördern oder

hemmen in der Lage sind (z.B. Hamm et al., 2003; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997). Auch Damasio betont letztlich diesen Aspekt von Emotion (Damasio, 1999, 2000).

Die oben im Rahmen des IAPS erörterte dimensionale Sicht von Emotion impliziert zudem zumeist die Annahme, dass das emotionale bzw. das Affekt-System sich aus einer motivationalen Basis heraus entwickelt hat, welches eine grundlegende *zwei-faktorielle Organisation (Valenz, Arousal) aufweist* (z.B. Hamm et al., 2003; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997).

Es wird davon ausgegangen, dass die motivational-emotionalen Systeme dafür verantwortlich seien, die aus der gegebenen Umweltinformation relativ wichtigen oder salienten Reize herauszufiltern (z.B. Hamm et al., 2003; Caciopoo et al., 1999; Lang et al., 1997, 1998). Im Laufe der Evolution haben sich diese Systeme so entwickelt, dass der Organismus auf Reize, welche für das Überleben bedeutsam oder für die Fortpflanzung von Relevanz sind, besonders reagieren kann; und zwar mit Flucht bzw. Vermeidung oder Annäherung. Es wird also ein aversives und ein appetitives, motivationales System unterschieden. Dies betrifft den Valenz-Faktor, welcher die Fluktuationen von Reizen auf einer kontinuierlichen Achse von sehr unangenehm bis sehr angenehm beschreibt.

Wird das aversive, motivationale System aktiviert, so treten defensive und protektive Verhaltensweisen in Kraft, um sich von dem aversiven Stimulus so schnell wie möglich zurückziehen zu können („Withdrawal"), während bei Aktivierung des appetitiven Systems Annäherungs- bzw. „Approach"-Verhalten zum Stimulus hin gefördert wird (z.B. Hamm et al., 2003; Lang, 1998). Das emotional-motivationale System weist somit eine ***biphasische Organisation*** auf. Dabei ist die motivationale Organisation von Emotion nicht auf Verhaltensreaktionen beschränkt, sondern auch im subjektiven Erleben (SAM-Rating: Valenzachse) sowie in peripher-physiologichen Veränderungen nachweisbar (z.B. Hamm et al., 2003).

Wie obige Abbildung 5.5.(A) zeigt, finden sich entsprechend im „affektiven Raum" der IAPS-Bilder zwei Gradienten, welche diese beiden Motivsysteme wieder spiegeln.

Nach Lang et al (1998) bedeutet dies, dass „Affekte" von Gehirnsystemen organisiert werden, die grundsätzlich auf zwei Stimulationstypen adaptiv ansprechen, nämlich entweder appetitiv, d.h. sich dem Reiz zuwendend, oder aversiv, d.h. sich dem Reiz abwendend, wobei das „appetitive" und „defensive" System bzgl. Aktivierung bzw. „Arousal", also der Intensität ihrer Aktivierung (metabolisch oder neural), variieren können. Die beobachteten verschiedenen emotionalen Zustände reflektieren letztendlich diese basalen Motivationssysteme:

Zwei Motivationssysteme:

- ***Das appetitive System*** (Erreichen eines erstrebten Zieles, Sexualität und Fürsorge) ist gekennzeichent durch annäherndes Verhalten („approach“)
- ***Das aversive System*** ist demgegenüber durch Schutz, Rückzugstendenzen und Verteidigung gekennzeichnet („defense“ bzw. „withdrawal“)

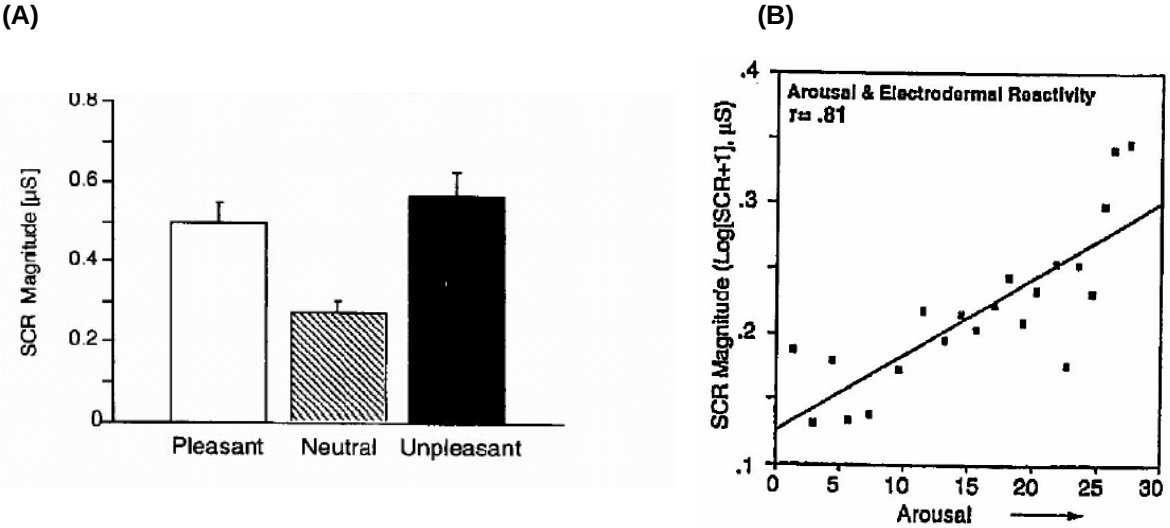
Obwohl Emotionen genetisch determiniert sein können, und Lernprozesse nötig sind, um sich an unterschiedliche Kontexte anzupassen, geht man also davon aus, dass Emotionen prinzipiell motivational organisiert sind, also in einem Kontext von zwei wesentlichen Dimensionen: affektive Valenz (d.h. appetitiv oder aversiv) und Arousal (Intensität der Aktivierung) stehen (Lang et al., 1998).
Das jeweils dominante System bestimmt die Wertigkeit des emotionalen Ausdrucks (Lust oder Unlust), und beide Systeme modulieren die Intensität der Aktivierung oder die „metabolische“ und „neurale“ Erregung in der affektiven Reaktion.
Entsprechend haben Lang et al. (1992) postuliert, dass Assoziationen, kognitive Repräsentationen und Verhaltensprogramme, die mit dem - am Wahrnehmungsprozess beteiligten – Motivationssystem verknüpft sind, eine höhere Wahrscheinlichkeit des Zugangs zum Informationsverarbeitungssystem haben und damit zusammenhängend die Output-Stärke in höherem Maße bestimmen. Andererseits weisen entsprechend mentale Ereignisse und „Programme“, die nicht mit dem jeweils aktivierten System verbunden sind, eine reduzierte Wahrscheinlichkeit des kognitiven Zugangs und eine geringere Aktivation auf.
Die Aktivierung des appetitiven oder aversiven Systems wirkt also wie ein *„affektives Priming“* auf den Bewertungsprozess des Objekts. Auf diese Art und Weise findet im Fall eines aversiv motivierten Organismus (der affektive Status ist von Unlust geprägt) ein spezifisches „Priming“ für die Reaktionen auf andere unangenehme Reize statt und zur gleichen Zeit werden Reaktionen auf appetitive Reize reduziert oder sie fehlen gänzlich.
Rund um dieses Thema des „emotionalen Primings“ und der Aufmerksamkeitsallokation wurden das so genannte „Emotionale Priming Modell“ und der Startle-Reflex untersucht (z.B. Lang et al., 1992; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990; Vrana et al., 1988; Cuthbert et al., 1996; Bradley et al., 1994; Hamm et al., 1997; Miltner et al., 1994). Auf diese Studien kann in diesem Rahmen nicht ausführlicher eingegangen werden, es sei auf einschlägige Literatur hierzu verwiesen (z.B. Hamm et al., 2003; Bradley et al., 1994; 2001a), welche zusammenfassend obige Ausführungen bzgl. des affektiven Primings unterstützt.

5.2.2. Autonom-nervöse und behaviorale Reaktionen auf emotionale Bilder

Abgesehen von der Messung des subjektiven Erlebens emotionaler Bilder, haben sich zahlreiche Studien mit der behavioralen und autonom-nervösen Reaktivität auf affektive Bildstimuli, insbesondere im Rahmen des biphasischen Motivationsmodells beschäftigt. Die Literatur, besonders die peripher-physiologische emotionale Reaktivität betreffend, ist sehr umfangreich, so dass hier nur eine wesentliche Zusammenfassung der relevantesten Ergebnisse, welche für die vorliegende empirische Arbeit von Interesse sind, erfolgen soll.
Zudem werden nur wesentliche Ergebnisse zusammengefasst werden, die sich für die visuelle emotionale Stimulation demonstrieren ließen. Auf Resultate, welche sich mit der fazialen Aktivität (EMG-Messungen der Aktivität des Korrugatormuskels) sowie der Startle-Reaktivität beschäftigten, wird nicht explizit eingegangen werden (z.B. Hamm et al., 2003; Bradley, Cuthbert & Lang, 1990)
Hamm et al. (2003) fassen zusammen, dass Studien zur Reaktivität peripherer physiologischer Parameter konsistent zeigten, dass die Ausprägung der Hautleitfähigkeitsreaktionen („skin conduction reactions“: SCR) mit dem beurteilten Arousalniveau emotionaler IAPS-Bilder positiv korrelierte, und dies unabhängig von der Valenz der Bilder (z.B. Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993; Hamm, Cuthbert, Globisch & Vaitl, 1997; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990,1997,1998). Sowohl angenehme als auch unangenehme Bilder evozierten signifikant größere SCRs als neutrale Bilder. Dies ist in Abbildung 5.6. dargestellt.

Abbildung 5.6.
(A) Reaktion der Hautleitfähigkeit (SCR) auf emotionale Bilder (aus: Hamm et al., 2003)
(B) Zusammenhang zwischen Arousal-Beurteilung und Hautleitfähigkeitsreaktionen (SCR) (aus: Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993)

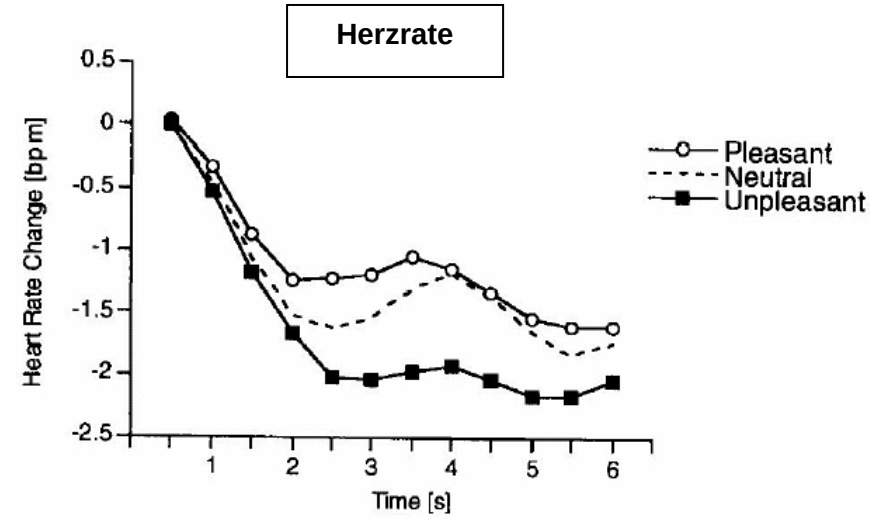
(A) **(B)**



Die elektrodermale Aktivität ist ein sehr eindeutiger Indikator für sympathisches Arousal.
Befunde zur Reaktivität der Herzrate auf emotionale Bildstimuli demonstrieren ein Ansprechen der Herzrate auf die Valenz der Bilder. Hierzu ist zu erwähnen, dass gegenüber der Hautleitfähigkeit die Aktivität des Herzens sowohl sympathischen als auch parasympathischen nervösen Einflüssen unterliegt. Studien zur Herzratenreaktivität haben neben der Registrierung der mittleren Herzrate auf einen Block Bilder gleicher Valenz und gleichen Arousals v.a. den zeitlichen Verlauf der Herzrate über die Bilddarbietung hinweg betrachtet (z.B. Hamm et al., 2003; Hamm, Cuthbert, Globisch & Vaitl, 1997; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990,1997,1998; Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993) Dabei wurde ein triphasisches Muster der Herzratenveränderungen während der Bildbetrachtung eruiert.

Abbildung 5.7. zeigt ein solches typisches, dreiphasisches Reaktivitätsmuster der Herzrate für emotional positive, negative und neutrale Bildstimuli.

Abbildung 5.7. Verlauf der Herzratenreaktivität während emotionaler Bildbetrachtung (aus: Hamm et al., 2003)



Zu Beginn der Bildbetrachtung tritt dabei eine initiale Dezeleration der Herzrate auf, die von einer leichten Akzeleration gefolgt wird. Die dritte Phase demonstriert eine zweite Herzratendezeleration (z.B. Hamm et al., 2003; Hamm, Cuthbert, Globisch & Vaitl, 1997; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990,1997,1998; Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993).
Die affektive Modulation der Herzrate äußert sich in einer stärkeren initialen Herzratendezeleration für aversive Bilder und einem ausgeprägteren akzeleratorischen Peak für positive Bilder (z.B. Hamm et al., 2003).

Was die gemittelte Herzratenreaktivität auf emotionale Bilder angeht so wurde zumeist eine stärkere Herzratendezeleration auf emotionale Bilder eruiert, wobei negative Bilder die stärkste Dezeleration verursachten (z.B. Angrilli et al., 1994; Palomba et al., 1997).
Umfangreiche Studien haben demonstriert, dass die Arousal-Dimension v.a. durch die Höhe der sympathisch regulierten elektrodermalen Aktivität und die Valenz-Dimension durch die Herzratenreaktion abzubilden ist (Bradley, 2000; Lang et al., 1993). Dies wird im Rahmen des biphasischen Emotionsmodells als Hinweis darauf verstanden, dass Veränderungen des kardiovaskulären Systems die Vorbereitung des Organismus für spezifische Handlungen im Sinne von „Approach“ bzw. „Withdrawal“ reflektieren. So führen furchterregende Inhalte eher zu einer Mobilisierung des Organismus und zu offenen motorischen Handlungen, was sich teilweise in einer Herzratenakzeleration zeigt (z.B. Hamm et al., 2003).
Was die Herzratenreaktivität angeht, so lassen sich jedoch neben ihrer Abhängigkeit von der Valenz von Stimuli durchaus auch spezifische Reaktionen auf spezifische emotionale Gefühle bzw. Reize nachweisen. So konnte gezeigt werden, dass besonders Bilder, welche Furcht induzieren eine starke Herzratenakzeleration evozieren, während dies bei Ekel-induzierenden oder Trauer- sowie Wut-auslösenden Bildern nicht der Fall ist (z.B. Hamm et al., 2003). Für Ekel erregende Bilder wurde im Gegenteil eine mittlere Dezeleration der Herzrate gezeigt, welche als erhöhte parasympathische Aktivierung und ein Rückzug sympathischer Aktivität interpretiert wird (Palomba et al., 2000). Auch Bilder, welche Glück und Fröhlichkeit auslösen sollen, führen eher zu einer Herzratenakzeleration.

An dieser Stelle ist zu vermerken, dass v.a. die Herzratenreaktivität (sowie die Muster der sympatho-vagalen Regulation) seit langem in Beziehung zu Aufmerksamkeitsprozessen gebracht wird (z.B. Lacey & Lacey, 1970; Porges, 1992, 2001; Richards & Casey, 1992). Lacey & Lacey (1970) formulierten etwa ihr Modell des „sensory intake“ und der „sensory rejection“, was dann von Obrist (1981) hinsichtlich eines „active“ oder „passive coping“ erweitert wurde. Nach der Lacey´schen Theorie der differenziellen Fraktionierung werden bekanntlich zwei Muster kardiovaskulären Reagierens auf zwei Typen von Situationen unterschieden: Aufgaben, welche eine Konzentration und Aufmerksamkeitsausrichtung auf äußere Reize hin verlangen, führen zu einem Abfall der Herzrate (wie dies bei passiver Bildbetrachtung etwa der Fall ist), während Aufgaben, die eine Konzentration auf interne, kognitive Vorgänge erfordern mit einem Anstieg der Herzrate assoziiert sind. Es wurde dabei davon ausgegangen, dass Herzratenveränderungen zu Aktivierung der Barorezeptoren im Carotis Sinus führen, wenn die Aufgabe Informationsabwehr aus der Umwelt erfordere (motivierte Unaufmerksamkeit). Diese habe einen hemmenden Einfluss auf die zentralnervöse Aktivität (v.a. Kortex). Wird die Aufmerksamkeit jedoch für externe Umweltreize benötigt, so führe die kardiale Dezeleration zu einem Abfall der

Barorezeptorentladungen und reduziere damit auch die Hemmung der kortikalen Hirnfunktionen, was zur Aufnahme extern dargebotener Information beitrage. Bei Obrist (1981) war die kritische Variable für die Art der Herzratenreaktion die Verfügbarkeit einer aktiven Bewältigungsreaktion. Wenn eine Person auf einen Reiz hin mit einer motorischen Reaktion reagieren könnte, kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Herzrate, der Muskelaktivität und des Blutdrucks, während bei einer passiven Reizdarbietung ein Herzratenabfall eintritt.

In der Tat wird eine anhaltende Herzratendezeleration beobachtet, wenn Personen ihre Aufmerksamkeit auf erregende emotionale Bilder, v.a. aversiver Natur, richten, wobei dies mit einer parasympathischen Dominanz im autonomen Nervensystem assoziiert ist (Palomba et al., 2000; Richards & Casey, 1992).
Entsprechend wird die Herzratendezeleration (und die parasympathische Aktivierung) auch als Indikator für die Intensität der Aufmerksamkeitsallokation auf Reize betrachtet (z.B. Angrilli et al., 1994; Palomba et al., 2000; Bradley et al., 1993; Porges, 1992, 2001). Tierexperimentelle Forschung (Campbell et al., 1997) hat gezeigt, dass während einer Vorphase der Vermeidung von bedrohlichen Stimuli eine Bradykardie auftritt, was für eine erhöhte Aufmerksamkeit auf die Reize spricht. Diese erhöhte Aufmerksamkeitsreaktion, die sich auch in der Herzratendezeleration zeigte, vergrößert laut den Autoren die Chance des Tieres auf eine schnellstmögliche (behaviorale) Vermeidung des Reizes.

Für emotional erregende Stimuli, wurde gezeigt, dass diese bevorzugt zu einer Aktivierung der Amygdala führen (siehe Kapitel 5.1.1.), welche wie ausführlich erörtert als wesentliche Emotionsinduktionsstruktur selbst und über Projektionen zum Hypothalamus und zu Hirnstammkernen zu einer Reihe von autonom-nervösen und somatischen Reaktionen führt (z.B. Damasio, 1999, 2000; Bradley, Codispoti, Cuthbert & Lang, 2001a; LeDoux, 1996). Diese Aktivierung fördere zudem die Verarbeitung relevanter Reize (siehe Kapitel 5.1.1.) indem diese Stimuli besondere Aufmerksamkeit auf sich ziehen und besonders gut prozessiert werden (z.B. Bradley et al., 2001a; Lang et al., 1997).

Aufbauend auf tierexperimentellen Studien (z.B. Blanchard & Blanchard, 1989), die gezeigt haben, dass die physiologische Reaktivität der Defensivreaktion zeitlich strukturiert ist haben Lang und Mitarbeitern (z.B. Bradley, Codispoti, Cuthbert & Lang, 2001) ein so genanntes ***„defensive cascade model“***, ein Kaskadenmodell der Defensivreaktion formuliert, was die Allokation von Aufmerksamkeit und assoziierter physiologischer Reaktionen auf aversive Bilder bzw. Stimuli näher spezifiziert.

Es wird davon ausgegangen, dass unangenehme Bild-Stimuli nach dem Ausmaß (Arousal), in dem diese eine Aktivierung des „Defensiv-Systems“ bewirken angeordnet werden können. Hiermit ist nichts anderes gemeint, als dass je nach der Intensität (Arousal) der Dimension „negative Valenz“ (also defensives Motivsystem) eine entsprechende Kaskade an reflexiven, physiologischen und behavioralen Reaktionen definiert wird.

Eine bevorzugte perzeptuelle Prozessierung relevanter, aversiver Stimuli finde nur in den frühen Stadien der Defensivreaktion statt, wenn die allgemeine Aktivierung noch nicht zu hoch ist. Diese Tatsache, wird durch die Befunde zu Veränderungen der Herzrate gestützt, die zeigen, dass die eintretende Herzratendezeleration bei Betrachten von emotionalen Bildern, wie sie zumeist bei gesunden Probanden gefunden wird, und für eine Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeitszuwendung auf das Stimulusmaterial steht, dann in eine Herzratenakzeleration umkippt, wenn etwa Phobiker oder Angstpatienten, welche ein hohes angstbezogenes Arousalniveau aufweisen mit entsprechend angstrelevantem Bildmaterial konfrontiert werden (Hamm et al., 1997; Klorman, Weissbert & Wiessenfeld, 1977). Diese Herzratenakzeleration steht ja letztlich für eine defensive bzw. „fight/flight“ Reaktion. Entsprechendes gilt für die elektrodermale Reaktion (Hautleitfähigkeit), die mit zunehmender/-m emotionaler/-n Intensität/Arousal ansteigt, genauso der valenzabhängige Startle-Reflex. Auch dies konnte etwa bei Stichproben von Phobikern und Angstpatienten anhand der IAPS Bilder nachgewiesen werden (Hamm, Cuthbert, Globisch & Vaitl, 1997).

Insgesamt bedeutet das „defensive cascade model“ also, dass bei Betrachten von emotionalen Bildern, welches als eine Situation vorzustellen ist, im Verlauf derer der Proband meist auf einem Stuhl ruhig da sitzt, d.h. also keine aktive Handlungsmöglichkeit besitzt, und aufmerksam betrachtet („sensory intake“), ohne die Möglichkeit unmittelbar aus der Situation zu fliehen, ähnlich wie ein akut bedrohtes Tier, das in ein hilfloses „Freezing“ verfällt, die Herzrate (Dezeleration) und die elektrodermale Aktivität (EDA) (leichter Anstieg) sich dementsprechend verhalten, dass Aufmerksamkeitszuwendung und Orientierung, also noch keine stark ausgeprägte Defensiv-Reaktion eintritt. Hier wird das vorhandene Stimulusmaterial also aufmerksam betrachtet und analysiert. Wenn jedoch die Intensität des defensiven Motivsystems sehr stark angesprochen wird, wenn also auch ein offenes Handeln initiiert werden soll (d.h. z.B. der Pb. hat die Möglichkeit aus der Situation zu entfliehen oder sich dagegen zu wehren – oder der Pb. hat bereits eine „endogenes“ hohes Arousal, wie dies im Fall von Phobikern beispielsweise der Fall ist, welche sich angstrelevante Bilder ansehen), dann dominieren die vollen Ausprägungen entsprechender physiologischer Veränderungen der Defensiv-Reaktion (Herzratenakzeleration, sehr starker Anstieg der EDA, Startle-Reflex-Potenzierung) (siehe Bradley, Codispoti, Cuthbert & Lang, 2001).

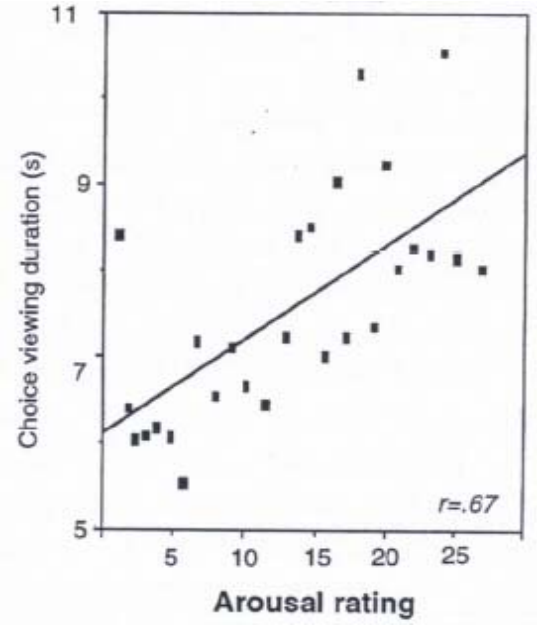
Aufbauend auf diese Befunde und Konzepte wird ein Konzept der ***„motivated attention“*** vertreten. Dies beschreibt den einsichtigen Gedanken, dass die Ausrichtung von Aufmerksamkeit in der natürlichen Umgebung und wie sie im visuellen emotionalen Stimulationsparadigma (Betrachten von emotionalen Bildern) untersucht werden kann, primär durch die Motivation (d.h. die beiden Motivationssysteme „Approach“ vs. „Withdrawal“) determiniert wird (z.B. Lang et al., 1997; Bradley et al., 2001a). Die Aufmerksamkeit wird selektiv und anhaltend daher eher auf Stimuli ausgerichtet werden, welche eine motivationale Bedeutung für den Organismus besitzen als auf eher wenig motivational bedeutsame, einfache, „neutrale“ Reize. Dies besitzt eine evolutionäre Historie und hat sich für das Überleben als wichtig und sinnvoll erwiesen. Dies gilt für die meisten Säugetiere. Die so genannte „motivierte Aufmerksamkeit“ wird daher als Prozess betrachtet, der die Selektion und Evaluation motivational bedeutsamen bzw. salienten Stimulusinputs beschreibt.
Diese selektive, anhaltende Allokation von Aufmerksamkeit zeigte sich entsprechend obiger Befunde in dem physiologischen Output (v.a. Herzrate, elektrodermale Aktivität), welche innerhalb des zwei-dimensionalen Modells von Emotion die Bedeutung des Arousals sowie der Valenz (Motivationssysteme: „Approach“ vs. „Withdrawal“) signalisierten.

Das Konzept der „motivated attention“ schließt erstens zudem ein, dass, da der Grad an Motivation des Organismus abhängig ist von dem existierenden individuellen „Grundzustand“ („drive state“) des Organismus (z.B. Hunger, sexuelle Bedürfnisse etc.), das Ausmaß an „motivierter Aufmerksamkeit auch von diesem Zustand beeinflusst wird. Zum zweiten wird explizit erwähnt (Lang et al., 1997, S. 97), dass abhängig von der Art, wie relevante Umweltstimuli im Gehirn verarbeitet werden und abhängig von dem Ausmaß und der Richtung der im Output-System (v.a. peripher-physiologische Reaktionen) generierten Reaktionen, diese Reaktionen selbst wiederum zurückwirken auf zentrale Verarbeitungsprozesse und das „attentional set“ modulieren sowie die Art, wie neuer perzeptueller Input wahrgenommen und prozessiert wird, beeinflussen.
An dieser Stelle möchte ich zum einen an Damasios Ausführungen erinnern, die sich mit der hier erörterten Bedeutung dieses peripheren „Feedbacks“ sehr wohl vereinbaren lassen und stark decken. Damasio (1999, 2000) betont nicht nur die Bedeutung des körperlichen Feedbacks für emotionale Verarbeitungsprozesse, Verhalten und Bewusstsein, sondern unterstreicht, wie in Kapitel 2.4.5. ausführlich beschrieben wurde, den im Rahmen der Entstehung des Kernbewussteins wichtigen Prozess der Integration und fortlaufenden Veränderungen in Karten „erster und zweiter“ Ordnung im Gehirn, welche sowohl die körperlichen Veränderungen sowie die „Veränderungen des Umweltobjekts“ (z.B. emotionale Bilder) betreffen. Dabei kommt es durch diese Interaktionen zwischen körperlichen

Veränderungen und Informationen über das auslösende Objekt in der Umwelt nicht nur zur Generierung des Kernbewussteins, sondern zudem zu einer „Verstärkung der Vorstellung über das verursachende Objekt“ (Damasio, 2000). Nach Damasio resultiert daraus, als Resultat des Kernbewusstseins, dass ein für den Organismus wichtiges Objekt in der Wahrnehmung besonders hervorgehoben wird, es besonders fokussiert wird und somit dieses Objekt noch intensiver sensorisch verarbeitet werden kann (Damasio, 2000, S. 221).
Man kann hier erkennen, dass die Konzepte der „motivierten Aufmerksamkeit“ sowie Damasios „somatic marker“ Theorie durchaus vereinbar sein können.
Gleichfalls habe ich in Kapitel 5.1.1., bei der Diskussion von Befunden LeDouxs bereits ausgeführt, dass besonders die Amygdala eine wichtige Rolle bei der schnellen Verarbeitung visueller emotional bedeutsamer Stimuli spielt, und dass es während des sensorischen Verarbeitungsprozesses, v.a. im „ventralen visuellen Strom“ zu einer Verstärkung der sensorischen Prozessierung von visuellen, relevanten Stimuli kommt (LeDoux, 1996). Ich habe in Kapitel 5.1.1. auch bereits Befunde erörtert, welche eine verstärkte Aktivierung des visuellen Kortex in Abhängigkeit vom Erregungsgrad emotionaler visueller Stimuli eruiert haben (Lane et al., 1999; Reiman et al., 1997; Adolphs et al., 2000; Lang et al., 1998; Bradley et al., 2003) sowie auf Befunde hingewiesen, welche nahe legen, dass interozeptive Signale durchaus den Prozess der visuellen, sensorischen Verarbeitung von bedeutsamen Reizen beeinflussen können (LaBar et al., 2001; Critchley et al., 2000a, b, 2005).

Zuletzt möchte ich noch wesentliche Befunde zusammenfassen, die einen ***behavioralen Indikator bei visueller, emotionaler Stimulation*** zum Thema haben. Da Emotionen als Handlungsdispositionen betrachtet werden, manifestieren sich entsprechende motivational emotionale Prozesse auch als Reaktionen im offenen Verhalten.
Prinzipiell gibt es bis heute jedoch kaum Studien, die den behavioralen Aspekt des „Approach“ bzw. „Withdrawal“ konkret anhand unterschiedlicher Verhaltensindikatoren untersucht haben. Bislang wurde nur *ein* solcher Indikator näher untersucht. Dabei handelt es sich um die ***„Viewing Time“*** von emotionalen Bildern.
Die freiwillige Bildbetrachtungszeit (Viewing Time) von emotionalen IAPS-Bildern zeigt ähnlich wie die Hautleitfähigkeit eine positive Korrelation mit dem Arousal der Bilder (siehe Abbildung 5.8.). Befunde weisen darauf hin, dass prinzipiell erregende positive und aversive Bilder länger freiwillig betrachtet werden als neutrale Bildstimuli (Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997,1998; Lang, Bradley, Greenwald & Hamm, 1993).

Abbildung 5.8. Zusammenhang zwischen „Viewing Time“ von IAPS-Bildern und Arousal (aus: Lang, Bradley & Cuthbert, 1998)



Die „Viewing Time“ der Bilder wird als Indikator für das Interesse an den Bildern bzw. das Ausmaß an Allokation von Aufmerksamkeit, das die Bilder bewirken, interpretiert (z.B. Moratti, Keil & Stolarova, 2004; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997,1998; Lang, Bradley, Greenwald & Hamm, 1993). Die Resultate zeigten daher, dass Probanden mehr Verarbeitungszeit und mehr Aufmerksamkeitsressourcen für erregende, emotionale als auf neutrale Bilder aufwenden, unabhängig von der Valenz der Bilder. Zudem wurde gezeigt, dass erregende Bilder, unabhängig von der Valenz, sowohl kurzfristig als auch langfristig (bis zu 1 Jahr!) besser erinnert werden als neutrale IAPS-Bilder (Bradley, Greenwald, Petry & Lang, 1992).

Allerdings wurde demonstriert, dass die visuelle Bildbetrachtungszeit sich nicht immer so verhält, wie eben beschrieben. So zeigte sich im Sinne des „Kaskadenmodells der Defensivreaktion“, dass, wenn Bilder ein sehr hohes Ausmaß an Arousal induzieren, eine Reduktion der „Viewing Time“ auf emotionale Bilder eintritt (z.B. Hamm et al., 1997; Lang, Bradley & Cuthbert, 1998; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997). Dies wurde bei Angstpatienten und Phobikern (Hamm et al., 1997) demonstriert, welche auf angstrelevante Stimuli deutlich kürzere „Viewing Times“ und ein deutlich intensiveres emotionales Empfinden (Arousal im SAM) auf diese Bilder zeigten als gesunde Probanden. Dies wird als eine ausgeprägtere Defensiv-Reaktion bei den Angstpatienten interpretiert (z.B. Daly, 1978; Hamm et al., 1997; Lang, Bradley & Cuthbert, 1998; Tolin et al., 1999).

Für eine Defensiv-Reaktion bei starkem Arousal (z.B. Angstpatienten) spricht auch die eruierte starke Herzratenakzeleration von Angstpatienten auf die angstrelevanten Bilder (Hamm et al., 1997) im Gegensatz zur Herzratendezeleration auf emotionale Bilder bei gesunden Probanden, die gemeinsam mit einer längeren „Viewing Time“ als Ausdruck einer stärkeren Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeitsallokation auf diese Bilder betrachtet wird (z.B. Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997,1998).
Amdur, Larsen & Liberzon (2000) zeigten außerdem, dass Patienten mit traumatischen Erfahrungen diejenigen Bilder am längsten betrachteten, deren emotionaler Inhalt auf Emotionen schließen ließ, die diese Gruppe am meisten entbehrte. Diese Patienten schauten sich v.a. diejenigen Bilder am längsten an, welche ruhige und angenehme Emotionen andeuteten, aber vermieden Bilder, die aversiv und sehr erregend waren.

Was die kortikale Verarbeitung (auf die Bedeutung emotional relevanter Hirnstrukturen wurde in Kapitel 5.1. bereits ausführlich eingegangen) von emotionalen Bildreizen angeht, so existiert heute eine ganze Reihe an Studien, die auch das Konzept der „motivated attention“ stützen. Die Emotionsforschung hat anhand von EEG-Studien (siehe Kapitel 5.2.4.) gezeigt, dass ereigniskorrelierte Potentiale vornehmlich mit dem Arousalaspekt von Emotion, also der Intensität von Emotion korreliert sind (z.B. Hamm et al., 2003).
Prinzipiell liegen zur zentralnervösen Aktivität bei visueller Emotionsinduktion Befunde aus Bildgebungsstudien (fMRI, PET) sowie v.a. Ergebnisse aus Studien, welche ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) des EEGs untersuchten vor. In der vorliegenden Arbeit steht u.a. besonders die Untersuchung emotionaler und kognitiver Verarbeitungsprozesse anhand des EEGs im Vordergrund, so dass ich im Folgenden v.a. Studienergebnisse referieren möchte, welche sich mit Emotionsverarbeitungsprozessen mit Hilfe der Untersuchung der hirnelektrischen Aktivität (EEG) beschäftigt haben.

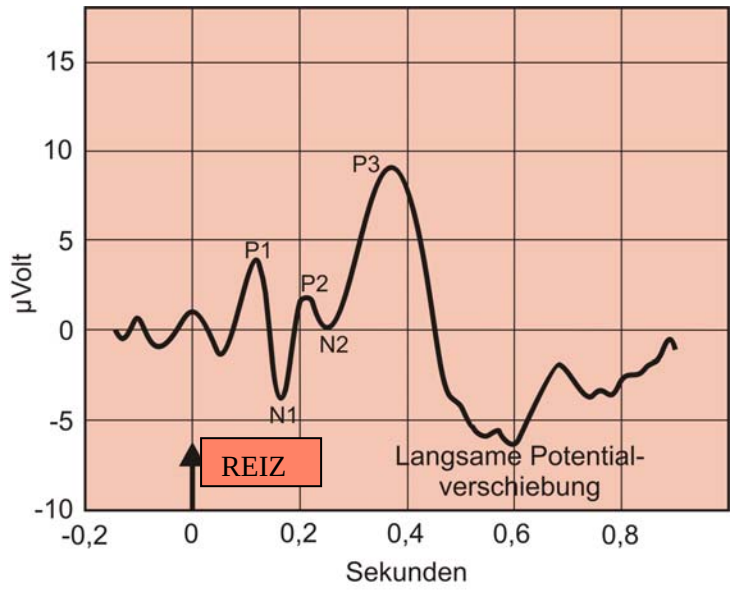
Bevor ich auf den Forschungsstand diesbezüglich eingehe, möchte ich zum einen zur Erklärung der Untersuchung kortikaler Verarbeitungsprozesse anhand des EEGs (ereigniskorrelierte Potentiale), und zum anderen aufgrund der Tatsache, dass in dieser Arbeit auch „non-emotionale“ Aufmerksamkeitsprozesse anhand eines klassischen, visuellen Stimulationsparadigmas (Oddball) untersucht wurden, eine kurze Zusammenfassung über wichtige Komponenten v.a. visuell ereigniskorrelierter Potentiale vorausschicken sowie auf die Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen anhand des EEGs eingehen.

5.2.3. Aufmerksamkeitsprozesse und Evozierte Potentiale

Die Aufzeichnung der elektrischen Aktivität des Gehirns ist ein sehr wichtiger methodischer Zugang zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen Gehirn und Verhalten beim Menschen. Da informationsverarbeitende Prozesse im Gehirn z.T. sehr rasch ablaufen (in ms-Intervallen), erfordert ihre Messung eine Zeitauflösung, die bildgebende Verfahren (z.B. fMRI) (noch) nicht besitzen. Der Nachteil elektroenzephalographischer Methoden besteht darin, dass sie ihre präzise Zeitstruktur mit relativer örtlicher Ungenauigkeit über den anatomischen Ursprung einer bestimmten Spannungsfluktuation erkaufen müssen.
Elektrochemische Prozesse und die sich daraus ergebenden Membranpotentiale bilden die Basis neuronaler Aktivität. Das Elektroenzephalogramm (EEG), die Aufzeichnung hirnelektrischer Vorgänge an der Schädeloberfläche, ist eine Konsequenz aus diesen Membranpotentialen (z.B. Schandry, 2003a; Zschocke, 2002).
EEG-Signale an der Schädeloberfläche stellen stets die summierte Aktivität aus einer Vielzahl elektrischer Prozesse dar, die in vielen neuronalen Strukturen unter Beteiligung unterschiedlicher Transmittersysteme ablaufen. Die an der Schädeloberfläche abgetasteten Potentiale können eine Amplitudenhöhe bis zu 100 µV erreichen (Schandry, 2003a).
Neben dem Spontan-EEG bilden ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) (auch bekannt als evozierte Potentiale) eine wichtige Methode zur Untersuchung hirnelektrischer Abläufe. Ereigniskorrelierte Potentiale stellen hoch-auflösende Maße des Zeitverlaufs neuronaler Aktivitätsmuster dar, welche mit perzeptuellen und kognitiven Prozessen assoziiert sind (z.B. Hillyard & Anllo-Vento, 1998). Es handelt sich dabei um alle elektrokortikalen Potentiale, die vor, während und nach einem sensorischen, motorischen oder psychischen Ereignis im EEG messbar sind. EKPs sind in der Regel von sehr viel kleinerer Amplitude (-30 µV) als das Spontan-EEG.

EKPs werden in der Emotionsforschung regelmäßig zur Untersuchung zentralnervöser Prozesse der Emotionsverarbeitung sowie der Bedeutung von Aufmerksamkeitsfunktionen verwendet. Die aus dem EEG durch Mittelung des EEGs auf einen Reiz oder vor einer Reaktion eruierbaren Komponenten repräsentieren unterschiedliche neurophysiologische und psychologische Vorgänge.
Abbildung 5.9. zeigt das Beispiel eines akustisch evozierten Potentials mit seinen unterschiedlichen Komponenten.

Abbildung 5.9. Akustisch evoziertes Potential (aus: Schandry, 2003a)



Quelle: Schandry, Biologische Psychologie, 2003 (Abb. 26.5 Akustisch evoziertes Potential)

Wie erkennbar, setzt sich das hier dargestellte akustisch evozierte Potential aus fünf wesentlichen Komponenten und einer langsamen Potentialverschiebung zusammen, welche für unterschiedliche Prozesse mit unterschiedlichen Zeitlatenzen stehen.

Nach gängiger Meinung werden sensorische EKPs in exogene (frühe) und endogene Komponenten (späte) unterschieden. Meist liegen die frühen Komponenten im Latenzbereich deutlich unter 200 ms. Frühe Komponenten spiegeln primär die sensorische Reizanalyse wieder, während die späten Komponenten v.a. Reaktionen weiterer Kortexareale sind und stärker mit psychischen Einflüssen kovariieren (Schandry, 2003a).

Ab einer Latenz von 50 ms folgen allerdings bereits regelhaft mehrere Komponenten, welche sowohl in ihrer Latenz als auch in ihrer Amplitude durch psychologische Variablen moduliert werden können. Diese werden nach ihrer Polarität (N = negative Spannung; P = positive Spannung) sowie nach ihrer Latenz (in ms) – z.B. P100 bzw. P1, oder P3 bzw. P300 – eingeteilt.

Die wichtigste und am besten untersuchte Komponente ist die P300. Sie tritt etwa 250-600 ms nach dem Reiz als positive Welle auf und wird besonders durch Aufmerksamkeitsprozesse und Relevanz der Reize, also durch höher geordnete kognitive Prozesse beeinflusst (siehe Kapitel 5.2.3.1.).

Langsame Potentialverschiebungen (slow brain potentials) sind in der Psychologie von großer Bedeutung, da sie die Aktivität eines ausgedehnten neuronalen Systems wiederspiegeln, das u.a. für die Planung und Mobilisierung zielgerichteten Verhaltens notwendig ist. Die bedeutendste langsame Potentialverschiebung ist die „Contingente

Negative Variation“ (CNV), die sich in einer typischen Versuchsanordnung zwischen einem Ankündigungsreiz und dem imperativen Reiz, nach dem der Proband etwa eine Taste drücken soll, aufbaut (z.B. Schandry, 2003a).
In der Emotionsforschung haben sich positive langsame Potentialverschiebungen als wichtige Indikatoren für eine vertiefte Prozessierung emotional relevanter visueller Reize im Vergleich zu emotional neutralen Reizen als relevant erwiesen (siehe Kapitel 5.2.4.1.)

Wenn das Gehirn Information aufmerksam verarbeitet, können unterschiedliche Verarbeitungsprozesse beobachtet werden, deren elektrophysiologische Korrelate anhand ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) untersucht werden. Mittlerweile werden auch die oszillatorische Hirnaktivität und ihre Beziehung zu Aufmerksamkeitsprozessen analysiert. Hierauf möchte ich jedoch nicht näher eingehen, sondern auf einschlägige Literatur verweisen (z.B. Herrmann & Knight, 2001; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999; Basar et al., 1997; Klimesch et al., 2000).
Hier sollen nun kurz drei wesentliche Komponenten besprochen werden, die mit verschiedenen Prozessierungsschritten von Aufmerksamkeit assoziiert sind: Dabei handelt es sich um die N1, P1 und P3. Die so genannte „mismatch negativity“ (MMN) soll hier nicht näher behandelt werden (z.B. Giard et al., 1990; Schröger, 1996).
Das klassische Paradigma zur Untersuchung elektrophysiologischer Korrelate selektiver und automatischer Aufmerksamkeitsprozesse und Informationsverarbeitungsprozesse stellt das Oddball-Paradigma dar, welches v.a. bei der Untersuchung der P300 eine wichtige Rolle spielt (z.B. Courchesne, Hillyard & Galambos, 1973; Delplanque et al., 2005; Polich & Kok, 1995).

5.2.3.1. P300

Funktionelle Charakteristika

Wie schon angesprochen, stellt die P300 bzw. P3 eine positive Komponente im EKP dar und erreicht ihren Gipfel bei ca. 300 ms nach Stimulusonset (Latenz ca. 250 – 600 ms). Die P3 ist eine der deutlichsten und sensitivsten Komponenten kognitiver Verarbeitungsprozesse (z.B. Verleger, 1988; Herrmann & Knight, 2001). Sie wird typischerweise ausgelöst, wenn ein selten auftretender Reiz in einer Serie häufiger Stimuli auftritt, vor allem wenn der Proband sich auf diesen spezifischen seltenen Stimulus konzentrieren soll und die entsprechenden Stimuluseigenschaften diskriminieren muss, etwa um diesen spezifischen Stimulus von anderen ähnlichen Stimuli zu unterscheiden (z.B. Herrmann & Knight, 2001; Polich & Kok, 1995; Sutton et al., 1965).

Die P3 wurde erstmalig von Sutton (Sutton et al. 1965) beschrieben und wird ganz typisch durch die Darbietung selten und randomisiert auftretender Zielreize (targets), die in häufig auftretende Stimuli (standards) eingebettet sind hervorgerufen. Dieses Paradigma ist als Oddball-Paradigma bekannt.

Im klassischen Fall wird der Proband hierbei aufgefordert, sich auf den relevanten, seltenen Zielreiz zu konzentrieren und diesen entweder mit einem Tastendruck zu bekunden oder ihn mitzuzählen, während er die anderen häufig auftretenden Nicht-Zielreize ignorieren soll. Die Detektion seltener, aufgabenrelevanter Stimuli evoziert ausgeprägte P3-Amplituden (10-20 µV), mit einer vornehmlich parietalen Topographie (maximale Amplituden über parietalen Elektrodenorten).

Die P3 wird normalerweise durch die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses, unabhängig von der Aufgabenrelevanz beeinflusst (Herrmann & Knight, 2001). Das heißt, dass die Amplitude der P3 ansteigt mit abnehmender Häufigkeit und Unvorhersagbarkeit des Reizes (Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975). Dennoch ist die P3-Amplitude für Stimuli mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 50:50 höher für so genannte Zielreize (go-Reize bzw. „targets“, d.h. Reize, auf die explizit geachtet werden soll) als für Nicht-Zielreize (no-go-Reize bzw. „standards“) (z.B. Herrmann & Knight, 2001; Pfefferbaum et al., 1985). Es wird auch die Ansicht vertreten, dass der Faktor „Stimuluskategorisierung“ eine größere Rolle bei der Beeinflussung der P3-Amplitude spielt als der Faktor „Stimuluswahrscheinlichkeit“ (Herrmann & Knight, 2001; Mecklinger & Ullsperger, 1993).

Die Tatsache, dass die P3 auch ohne jegliche Aufgabenstellung (nämlich der, sich auf den Target-Reiz zu konzentrieren und diesen mitzuzählen oder per Knopfdruck zu registrieren), auftritt, sondern auch prinzipiell auf selten auftretende, unvorhersehbare Stimuli provoziert wird, wird so interpretiert, dass die P300 einen Index für eine Orientierungsreaktion darstellt, ganz unabhängig von der Aufgabenrelevanz der Stimuli (Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975). Generell ist zusammenzufassen, dass die P3-Amplitude sowohl die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Stimulus als auch die Aufgabenrelevanz bzw. Relevanz des Stimulus reflektiert, während die P3-Latenz die Dauer bzw. Geschwindigkeit der Stimulusevaluation kennzeichnet (Donchin & Coles, 1988).

Es existiert eine signifikante negative Beziehung zwischen der P300-Latenz und mentalen, neuropsychologischen Funktionen, besonders der Schnelligkeit der Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen auf einen Stimulus und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eines Stimulus (Polich & Kok, 1995). Es werden aber auf einen Target-Stimulus hin zum einen nicht nur ausgeprägtere P3-Amplituden, sondern häufig auch längere P3-Latenzen gemessen, da auf diese Targets eine größere Bedeutung gelegt wird und eine ausgeprägtere Verarbeitungstiefe und mehr Aufmerksamkeitsallokation stattfindet (Donchin, 1981). Eine ausgeprägtere P300 auf Target-

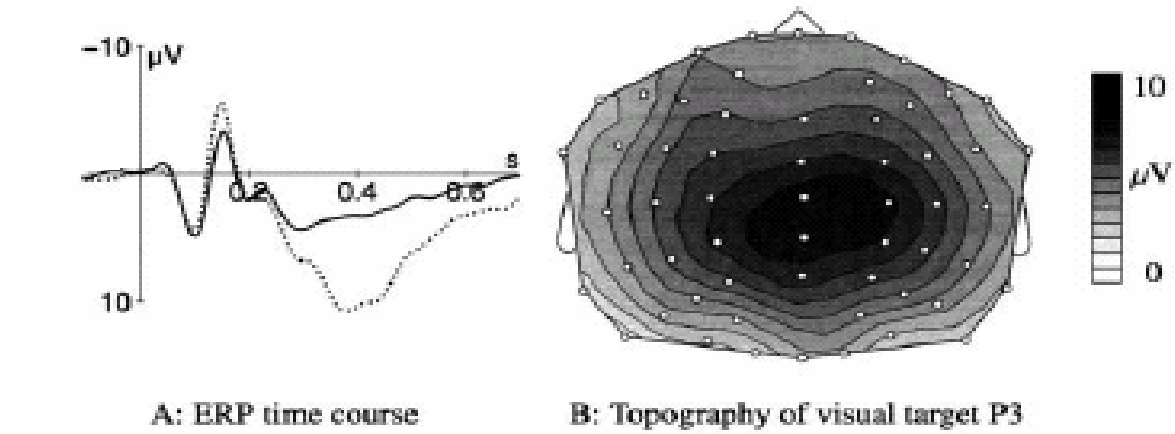
Reize und längere P300 Latenzen können so auch eine verlängerte Stimulusevaluation und eine verstärkte Anstrengung bei der Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit indizieren (z.B. Karl et al., 2004).

Abbildung 5.10. (A) veranschaulicht den zeitlichen Verlauf einer so genannten Target-P3 im Vergleich mit einer Non-Target P3 in einem visuellen Oddball-Paradigma mit einem Peak bei rund 400 ms. Dargestellt ist in der Grafik die elektrische Aktivierung an der Elektrode Pz. In einem derartigen klassischen Oddball-Paradigma reflektiert die P3 die willkürliche, also freiwillige, objektbezogene selektive Richtung von Aufmerksamkeit innerhalb einer Modalität, hier der visuellen. Abbildung 5.10. (B) zeigt die Topographie am Schädel einer visuellen Target-P3 in einem vergleichbaren visuellen Klassifikationsparadigma mit einem zentral-parietalen Maximum.

Abbildung 5.10.

(A) Typischer Zeitverlauf eines visuellen „Target" EKPs (gepunktete Linie) im Vergleich zu einem „Non-Target" EKP (durchgezogene Linie). Man erkennt eine P1 (ca. 100 ms), N1 (ca. 160 ms) und P3 (ca. 400 ms).

(B) Topographie einer visuellen „Target P3" mit maximalen Amplituden über zentralen und parietalen Elektroden (aus: Herrmann & Knight, 2001)



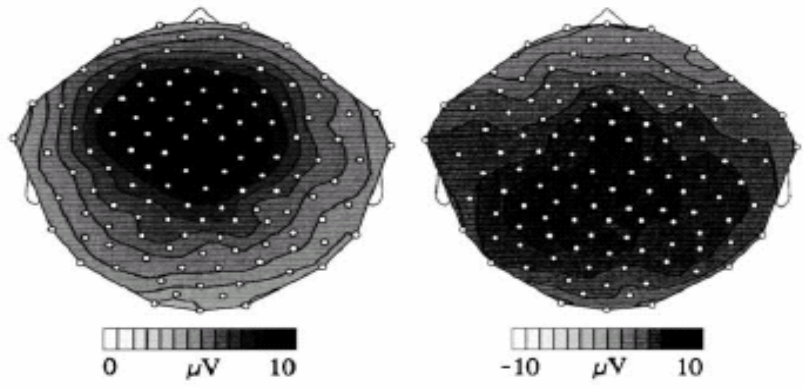
Während frühe Komponenten, wie die P1 und die N1 in Reaktion auf auditorische oder visuelle Stimuli vornehmlich in den jeweils auditorischen, respektive visuellen Kortizes generiert werden, wird die P3 in zahlreichen weiteren Hirnregionen generiert (Herrmann & Knight, 2001).

Die Spannungsverteilung am Schädel bzw. Topographie der P3 ist weitgehend unabhängig von der Input-Modalität während die P3-Amplitude ausgeprägter und die P3-Latenz länger in der visuellen als in der auditorischen Modalität ist (Herrmann & Knight, 2001). Dies war

Anlass dafür, zu spekulieren, dass P3-Generatoren zumindest teilweise von der Stimulusmodalität abhängig sein könnten.

Die ***Bezeichnung P3b*** wurde geprägt für die oben besprochene ***Target-P3***, um diese abzugrenzen von einer früheren positiven Komponente, welche auf neuartige, seltene und aufgabenirrelevante Reize hin auftritt, die so genannte ***P3a*** bzw. ***„Novelty P3“*** (z.B. Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975; Polich & Kok, 1995). Die P3a erscheint etwas früher im EKP (ca. um 50 ms früher) als die P3b und besitzt eine ausgeprägtere fronto-zentrale Topographie als die spätere P3b. Auch in ihrer Amplitude ist die P3a über frontal ausgeprägter als zentro-parietal (Polich & Kok, 1995).
Abbildung 5.11.(A) zeigt die Topographie einer P3a in Reaktion auf neue, auditorische Stimuli mit einem Maximum über fronto-zentralen Elektroden in einem auditorischen Oddball mit „Novelty- Reizen“ (Herrmann & Knight, 2001). Dagegen erkennt man in Abbildung 5.11. (B) die Topographie der P3b auf auditorische Target-Stimuli hin mit einem Maximum über zentro-parietalen Elektroden (Hermann & Knight, 2001).

Abbildung 5.11. Topographie der P3a (A) und der P3b (B). Die früher auftretende P3a besitzt eine stärker frontale Topographie als die nachfolgende P3b (nach: Opitz, Mecklinger, von Cramon & Kruggel, 1999)



P3 a und P3b wurden als Korrelate unterschiedlicher Aufmerksamkeitsprozesse interpretiert: Die frontale P3a reflektiert eher passive Aufmerksamkeits-Switches bzw. eine „Orientierungsreaktion“ (Näätänen, 1990; Polich & Kok, 1995), welche eine Re-Orientierung und Re-Allokation von Aufmerksamkeit auf neue, aber aufgabenirrelevante Stimuli anzeigt, während die eher zentro-parietal auftretende P3b die exekutive Fähigkeit, die Aufmerksamkeit selektiv auf einen Target-Stimulus hin aufrechtzuerhalten, widerspiegelt (Johnson, 1986; Näätänen, 1990). Für die P3a wird zudem ein Mechanismus der Reaktions-

Inhibierung diskutiert (Courchesne et al., 1975). Die P3a soll deutlicher Funktionen des frontalen Kortex reflektieren (Polich & Comerchero, 2003)
Die P3b scheint dabei Komponenten von Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses zu reflektieren, wobei der „Ereigniskategorisierungsprozess“ eine wichtige Rolle spielt. Dieser Prozess ist wichtig für die Entscheidung, dass ein externer Stimulus den internen Repräsentationen des Stimulus oder der Stimuluskategorie entspricht (Polich & Kok, 1995; Donchin & Coles, 1988).
Anhand der P300 auf Target-Stimuli (P3b) in einem Oddball-Paradigma können letztlich v.a. selektive Aufmerksamkeit als auch Daueraufmerksamkeitsprozesse sowie die Stimulusevaluation, generell das Ausmaß, indem eine Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen auf bestimmte Aufgabenanforderungen erfolgt, gemessen werden (z.B. Kosson & Newman, 1986; Pritchard, 1981; Alexander et al., 1994; Picton & Hillyard, 1974; Donchin, 1981). Die P3b wird als sensitiv erachtet für die (bewusste) Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen und Prozesse, die beim „Context updating“ und Entscheiden eine Rolle spielen (Polich & Kok, 1995; Donchin & Coles, 1988).

Die P3a bzw. Novelty-P3 wird besonders ausgeprägt und deutlich auf unvorhersehbare, selten auftretende Nicht-Zielreize, hin ausgelöst. Hierzu gibt es jedoch unterschiedliche Angaben: Zum einen wurde gezeigt, dass nicht die Komplexität dieser so präsentierten, selten dargebotenen Stimuli die P3a ausschlaggebend zu beeinflussen scheint als vielmehr die Unvorhersagbarkeit des Auftretens dieser Stimuli (Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975). Auf der anderen Seite spielt jedoch der Neuartigkeitscharakter dieser Reize durchaus eine wesentliche Rolle bei der Auslösung der P3a (z.B. Polich & Comerchero, 2003; Courchesne et al., 1978).
Andererseits können besonders intensive oder relevante Stimuli genauso eine deutliche und ausgeprägte P3b auslösen, welche auch durch das Arousal bzw. das Erregungsniveau der Personen beeinflusst ist (z.B. Polich & Kok, 1995).
Prinzipiell ist die P300 als Ganzes stark von Arousalprozessen beeinflusst, so dass erhöhtes Arousal zu höheren P300-Amplituden beiträgt (Polich & Kok, 1995).

Neben dem klassischen 2-er Oddball (häufig dargebotene Standard-Reize und selten dargebotene Target-Reize) kann also neben der selektiven und willkürlichen Aufmerksamkeit, welche zu einer ausgeprägten P3b führt, zudem auch die automatische, passive Aufmerksamkeitsorientierung untersucht werden. Dies gestaltet sich dann meist so, dass ein 3-facher Oddball verwendet wird, der neben den seltenen Target-Reizen und den häufigen Standard-Reizen zudem noch selten auftretende Distraktor- oder Novel-Reize

enthält, welche sich in ihrer Neuartigkeit bzw. Abgrenzbarkeit von den anderen Reizen unterscheiden können (z.B. Bledowski et al., 2004; Wang et al., 1999).

Hier ist zu erwähnen, dass noch eine weitere Bedingung im Rahmen des Oddball-Paradigmas existiert, welche zu einer Auslösung einer P300-Komponente mit zentraler, anteriorer Topographie führt und früher als die P3b auftritt. Diese Komponente wird als No-Go-Komponente bezeichnet, und wird durch selten auftretende, aufgabenirrelevante, typische, also nicht besonders neuartige Non-Target-Reize (bzw. Distraktoren) hervorgerufen (Courchesne, 1978; Courchesne et al., 1978, Falkenstein et al., 1994; Pfefferbaum et al., 1985). Ihren Namen verdankt diese Komponente der Tatsache, dass auf diese seltenen, jedoch nicht auffallend andersartigen oder neuen Non-Targets nicht reagiert werden soll (z.B. Tastendruck).
Zusätzlich haben eine ganze Reihe an Forschungsarbeiten zum Thema der P300 und des Oddball-Paradigmas immer deutlicher gemacht, dass neben oben genannten Einflüssen auf die P3a und P3b vor allem das modifizierte 3-er Oddball-Paradigma auch von Kontexteffekten abhängig ist. Es wurde etwa gezeigt, dass eine P3a bzw. „Novelty P3“ vornehmlich dann auf seltene Non-Target Reize bzw. Distraktoren über frontal auftritt, wenn die ebenfalls dargebotenen Target- und Standard-Reize sehr schwierig voneinander zu unterscheiden sind (z.B. Polich & Comerchero, 2003; Courchesne, 1978) und/oder der Non-Target-Reiz einen besonderen „Neuartigkeitscharakter“ im Vergleich dazu besitzt (Bledowski et al., 2004; Courchesne, 1978; Courchesne et al., 1978; Polich & Comerchero, 2003).

Eine Reduktion vor allem der P3b-Amplitude im visuellen Oddball wurde bei den unterschiedlichsten pathologischen Phänomen, wie etwa Morbus Alzheimer (Holt et al., 1995), bei Menschen mit Lerndefiziten (Lubar et al., 1990) und Aufmerksamkeitsstörungen (Klorman, 1991), bei Schizophrenen (Ford, 1999), bei Depressiven (Bruder et al., 1995), bei Patienten mit Amputation und Phantomschmerz (Karl et al., 2004) sowie bei Personen mit psychopathischen Tendenzen (Kiehl et al.,1999) beschrieben. Diese Befunde wurden als Hinweise für Beeinträchtigungen bei der Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit und der adäquaten Allokation von Aufmerksamkeit auf relevante Aufgabenanforderungen interpretiert (z.B. Holt et al., 1995; Kiehl et al., 1999). Die im Vergleich zu Gesunden bei manchen klinischen Stichproben reduzierte Target-P300 scheint eine beeinträchtigte Mobilisierung und Re-Mobilisierung sowie schnelle Fokussierung von Aufmerksamkeit auf Stimuli, auf welche reagiert werden soll, und ein beeinträchtigtes „Switchen“ von Aufmerksamkeit zu reflektieren (z.B. Kiehl et al., 1999; Kosson, 1996).

Generell wird eine verminderte P3-Amplitude vornehmlich in die Richtung interpretiert, dass eine verminderte Verfügbarkeit von Aufmerksamkeitsressourcen vorhanden ist, und eine Störung in der effektiven Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen sowie der selektiven Aufmerksamkeit bei der Reizverarbeitung existiert; teilweise scheint auch eine reduzierte Motivation sowie ein geringeres Arousal dafür verantwortlich zu sein (Ford, 1999; Johnson, 1986; Näätänen, 1990; Polich & Kok, 1995; Picton & Hillyard, 1974. Zudem werden im Rahmen des „Context Updating“ die Bedeutung der P300 für Prozesse des Arbeitsgedächtnisses und des Neuorientierens von Gedächtnisrepräsentanzen diskutiert (z.B. Polich & Kok, 1995; Donchin & Coles, 1988).

Was die P300 auf seltene Nicht-Zielreize (P3a bzw. „Novelty-P3“) hin angeht, so wird diese gerne als die kognitive Komponente von Pawlows „What is it“ – Reaktion auf neue Reize, sprich eine „Orientierungsreaktion“ sowie als kognitive Evaluationsleistung der Stimulussignifikanz“ interpretiert (Ritter & Vaughn, 1969; Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975). Zusammen mit der N2 bzw. der MMN (welche auf Nicht-Zielreize, aber abweichende Reize in einer homogenen Stimulussequenz auftritt) wird der N2/P3a-Komplex auch als „Orientierungskomplex“ bezeichnet (Knight, 1984; Näätänen et al., 1990).

Entstehungsorte der P300 im Gehirn

Zahlreiche Studien haben bis heute versucht, die Entstehungsorte bzw. Generatoren der P300 zu eruieren. Hierzu wurden verschiedene Methoden verwendet, wie z.B. Quellenlokalisation der am Schädel abgegriffenen Potentiale, intrakranielle Ableitungen, funktionelle Bildgebung (fMRI, PET) sowie die Interpretation von Läsionsstudien.

Studien, welche Quellenlokalisationsverfahren benutzten, verweisen auf multiple Hirnstrukturen, welche für die Generierung der auditorischen und/oder visuellen P3b verantwortlich sind. Folgende Strukturen werden genannt (Herrmann & Knight, 2001): Thalamus, Temporal- und Parietalkortex, präfrontaler Kortex, Hippocampus/parahippocampale Regionen, anteriorer und posteriorer cingulärer Kortex und Insula.

Intrakranielle Ableitungsuntersuchungen fanden v.a. limbische Strukturen als verantwortlich für im auditorischen Oddball-Paradigma generierte Potentiale von über 200 µV (Herrmann & Knight, 2001). Eine extensive und umfangreiche Studie von Halgren, Baudena, Clarke und Mitarbeitern (1995), welche intrakranielle Ableitungen bei Epilepsie-Patienten während eines visuellen und auditorischen Oddball-Paradigmas untersuchten, stellte fest, dass das Cingulum und der Gyrus supramarginalis bedeutsam für die Evozierung der P3a zu sein

scheint, während der superiore Parietallappen eine wesentliche Quelle bei der Generierung der P3b im visuellen Oddball darstellt .
Auch frontale Hirnstrukturen, wie der orbito-frontale Cortex, der anteriore cinguläre Kortex und inferiore Teile des Frontallappens zeigen eine Aktivierung während der Entstehung der P3a als auch der P3b (Herrmann & Knight, 2001).

Funktionelle Kernspintomographie (fMRI) und Positronen-Emissions-Tomographie (PET) stellen Verfahren dar, anhand derer die hämodynamische Reaktion von Gehirnarealen während der Durchführung einer ganz bestimmten Aufgabe im Vergleich zu einer dazu kontrastierenden Bedingung bildhaft dargestellt werden kann. PET-Studien konnten zeigen, dass weite Bereiche des limbischen Systems (Hippocampus, parahippocampaler Gyrus, Thalamus, anteriorer und inferiorer cingulärer Kortex, Putamen, medialer Präfrontalkortex) bei Darbietung von neuen visuellen Stimuli aktiviert werden (Herrmann & Knight, 2001). McCarthy, Luby, Gore und Mitarbeiter (1997) konnten zeigen, dass während einer visuellen Target-Detektions-Aufgabe neben der Aktivierung des parietalen und cingulären Kortex auch eine Aktivierung des Frontallappens stattfindet. Dies bestätigten Kirino et al. (2000) und zeigten, dass die frontale Aktivierung nicht auf die Detektion neuer Reize beschränkt war. Letzteres bedeutet, dass die Aufgabenrelevanz eines Stimulus ganz wesentlich für die Beteiligung des Frontallappens zu sein scheint (siehe Herrmann & Knight, 2001), wobei allerdings eine wesentliche Beteiligung des Präfrontalkortex auch bei der Beeinflussung von N200 und P300 auf einfache neue Reize hin diskutiert wird (Bledowski et al., 2004).
Aktuelle fMRI-Studien (z.B. Opitz, 2003) demonstrierten, dass die P300-Amplituden auf visuelle Non-Target-Stimuli mit der Aktivierung und Größe des Frontallappens gekoppelt ist, während die P300-Amplitude auf Zielreize mit der Größe des Parietallappens korreliert ist

Die Untersuchung von EKPs bei Patienten mit Läsionen in umschriebenen Hirnstrukturen (sog. „Läsionsstudien“) zeigten, die obigen Befunde mit bildgebenden Methoden unterstützend, dass Läsionen frontaler Hirnstrukturen zu einer Beeinträchtigung der auditorisch evozierten P300 auf neue Reize hin (sog. „Novelty P3“) führten, aber eher weniger die „Target P3“, sprich die P3b, welche auf auditorische, zu beachtende Zielreize hin, veränderte (Herrmann & Knight, 2001).
Weitere relevante Hirnbereiche, welche sowohl bei der Entstehung der „Novelty P3“ als auch der „Target P3“ von Bedeutung sind, scheinen Läsionsstudien zufolge temporo-parietale Hirnstrukturen und posteriore Hippocampusbereiche zu sein (Hermann & Knight, 2001).
Generell kann man davon ausgehen, dass der laterale und mediale Präfrontalkortex zusammen mit inferioren parietalen und superioren temporalen Kortizes sowie insulärem Kortex und cingulärem Kortex als Regionen des „Target Detection Networks“ prinzipiell bei

der Genese der P3b eine wichtige Rolle spielt (z.B. Herrmann & Knight, 2001; siehe Bledowski et al., 2004).

5.2.3.2. P100 und N100

Funktionelle Charakteristika

Es wurde lange Zeit angenommen, dass frühe EKP-Komponenten, wie etwa die P100 (bzw. P1) und N100 (bzw. N1) primär exogene Prozesse reflektieren, die durch Attribute des dargebotenen physikalischen Stimulus an sich, aber nicht durch kognitive Prozesse, bestimmt werden. Die visuelle P1 und N1 beispielsweise, werden so beide von der Helligkeit eines visuellen Reizes beeinflusst.

Eine fundamentale Frage, Aufmerksamkeitsprozesse betreffend, ist, ob diese bereits in sehr frühen Stadien operieren und die Enkodierung eines Stimulus bereits zu einem so frühen Zeitpunkt beeinflussen, oder ob Aufmerksamkeitsprozesse erst zu einem späteren Zeitpunkt (also nach 200 ms) wirksam werden, in einem Zeitbereich also, in dem kein Einfluss auf die Enkodierung eines Stimulus mehr möglich ist.

Nach heutigen Erkenntnissen kann man diese Frage in der Tat so beantworten, dass Aufmerksamkeitsprozesse sehr früh bereits Einfluss auf sensorische Verarbeitungsprozesse besitzen.

Hillyard und Koautoren (1973) konnten zeigen, dass die Aufmerksamkeitsausrichtung auf Töne, die jeweils abwechselnd einem Ohr dargeboten wurden, zu einer Steigerung der N1-Amplitude führte. Das bedeutet somit, dass die räumlich-selektive Aufmerksamkeit bereits sehr früh (um die 100 ms) nach Stimuluspräsentation wirksam ist. Es konnte anhand eines visuellen Paradigmas zudem gezeigt werden, dass sogar die visuelle P1-Amplitude spatial-selektive Aufmerksamkeitsprozesse reflektiert (Herrmann & Knight, 2001). Luck et al. (1990) unterschieden die Aufmerksamkeitseffekte auf die visuelle P1 und N1 dahingehend, dass die P1 eine Erleichterung der frühen sensorischen Verarbeitung von Stimuli, welche an einem erwarteten Ort auftreten, repräsentiert (also spatial-selektive Aufmerksamkeitsprozesse betreffend), während die N1 eher die Aufmerksamkeitsausrichtung auf aufgabenrelevante Stimuli (wie es bei einem einfachen visuellen Odbball-Paradigma etwa der Fall ist) anzeigt. Ähnliches berichten auch Hillyard & Anllo-Vento (1998).

Zusammenfassend kann man nach heutigen Erkenntnissen also davon ausgehen, dass Aufmerksamkeit die EKP-Amplituden der P1 als auch der N1 deutlich modulieren (Herrmann & Knight, 2001).

Wie ich bei der Besprechung von Studienergebnissen zu evozierten Potentialen bei visueller Emotionsstimulation (v.a. Kapitel 5.2.4.2.) noch ausführen werde, ziehen besonders emotional erregende Bildstimuli Aufmerksamkeit auf sich, was sich bereits in sehr frühen

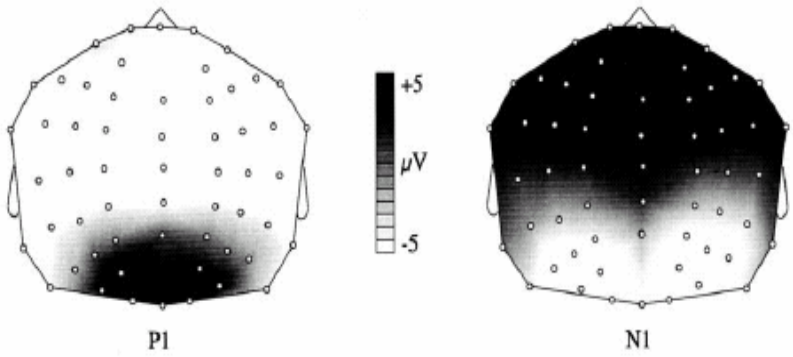
Komponenten visuell evozierter Potentiale über visuellen Rindenfelder im Okzipitalkortex niederschlägt!

Entstehungsorte der frühen EKPs im Gehirn

Die frühen EKPs der P1 und der N1 werden in den primären sensorischen Rindenfeldern des Kortex generiert, so dass man hier nach der jeweiligen Input-Modalität, also der Art der Reizdarbietung, unterscheiden muss. Ich möchte hier kurz die wesentlichen Befunde die visuelle und auditorische P1 und N1 betreffend, zusammenfassen.

Abbildung 5.12. zeigt zuallererst die topographische Verteilung der P1 und der N1, wie sie in einem visuellen Oddball-Paradigma typischerweise auf Target-Reize und Non-Target-Reize hin auftritt.

Abbildung 5.12. Topographie der visuell evozierten P1 und N1 (aus: Herrmann & Knight, 2001)



Dipol-Quellenlokalisationstechniken des EEGs und PET-Untersuchungen haben gezeigt, dass die Generatoren der visuellen P1 vornehmlich im fusiformen Gyrus des Kortex liegen, während die visuelle N1 primär im lateralen extrastriatalen Kortex generiert wird (Herrmann & Knight, 2001). Auch dorsale okzipito-parietale Hirnregionen sowie ventrale okzipto-temporale Hirnbereiche sind an der Entstehung der N1 involviert (Clark et al., 1995; Herrmann & Knight, 2001).

Clarke et al. (1995) berichten wiederum, dass die im Zeitfenster der N1 stattfindende simultane frontale Positivierung nicht nur eine Projektion von posterioren Generatoren reflektiert, sondern von frontalen Generatoren produziert wird.

Die auditorischen frühen EKPs betreffend, ist zu sagen, dass in der auditorischen Modalität die N1 die früheste Komponente darstellt, die sehr eindeutig sensitiv auf Aufmerksamkeitsreaktionen reagiert. Hermann & Knight (2001) fassen zusammen, dass Dipol-Quellenanalysen der auditorischen N1 relativ einhellig eine Aktivität im primären

auditorischen Cortex, d.h. im Heschl Gyrus aufzeigten. Zudem existieren deutliche Lateralitätseffekte, wobei die N1 jeweils kontralateral zu dem jeweils stimulierten Ohr auftritt.
Läsionsstudien haben wiederum verdeutlicht, dass Läsionen des temporo-parietalen Kortex zu einer Reduktion der N1-Amplitude führten, sowie dass Läsionen des Frontalkortex zu einer Amplitudenminderung der N1 während einer selektiven Aufmerksamkeitsbedingung führen (siehe Herrmann & Knight, 2001). Frontokortikale Läsionen beeinträchtigen jedoch die N1-Amplitude nicht, wenn keine gezielte Aufmerksamkeit verlangt wird, wie dies etwa nur bei dem bloßen Betrachten eines neutralen, visuellen Stimulus (Non-Target-Reize) der Fall ist. Allerdings scheint es so zu sein, dass der Frontalkortex die Amplitude der okzipital generierten visuellen P1 moduliert, und dies so, dass bei einer Läsion des Frontalkortex eine Suppression der P1-Amplitude auch auf Non-Target-Reize ipsilateral zur Schädigung des Frontalkortex auftritt (siehe Herrmann & Knight, 2001).
Der Präfrontalkortex soll zudem inhibitorische Effekte auf die Generierung der EKPs besitzen. So wird berichtet, dass bei Patienten mit unilateraler Schädigung des dorsolateralen Präfrontalkortex, eine Erhöhung der P1-Amplitude in Reaktion auf zufällig dargebotene auditorische Klicks zu beobachten ist (Herrmann & Knight, 2001).

Man kann die neueren Erkenntnisse dahingehend zusammenfassen, dass die Frage, ob Aufmerksamkeitsprozesse bereits in frühen sensorischen Verarbeitungsstadien wirksam werden, in die Richtung beantworten, dass EKP-Untersuchungen, welche mit dem Oddball-Paradigma arbeiteten, deutlich demonstriert haben, dass eine frühe Aufmerksamkeitsmodulation der P1 und der N1 möglich ist. Auch hämodynamische Reaktionen zeigten, dass Aufmerksamkeit die neuronale Aktivität in primären und sekundären kortikalen Rindenfeldern moduliert (Woldorff et al., 1993; Somers et al., 1999). Diese frühen Stadien der Stimulusenkodierung finden in den primären sensorischen Kortizes statt, und dies spezifisch je nach Input-Modalität. Räumlich-selektive Aufmerksamkeit moduliert hierbei frühe EKPs wie die visuelle P100, wobei es zu ausgeprägteren P1-Amplituden kommt, wenn der Stimulus an dem Ort erscheint, an dem er erwartet wurde, im Vergleich dazu, wenn der Stimulus an einem Ort erscheint, der nicht vorhersehbar war. Obwohl die sensorische frühe Kodierung vornehmlich in den sensorischen Kortizes prozessiert wird, kann der Präfrontalkortex sowohl exzitatorische als auch inhibitorische Einflüsse auf die neuronalen Generatoren früher EKPs ausüben (Herrmann & Knight, 2001). Sensorische kortikale Strukturen, die für frühe Stimulusverarbeitungsstadien zuständig sind, scheinen von frontalen Hirnbereichen unterstützt zu werden (Herrmann & Knight, 2001). Wie fMRI-Studien gezeigt haben, scheint der Präfrontalkortex die Aktivität im visuellen Cortex zu modulieren (Büchel & Friston, 1997).

5.2.4. Emotionsverarbeitung und Evozierte Potentiale

Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung des EEGs bietet die Untersuchung visueller ereigniskorrelierter Potentiale (VEPs) auf emotionale visuelle Reize den Vorteil der Betrachtung des zeitlichen Verlaufs und der Stärke der kortikalen Aktivierung über dem Schädel. Wie ich im vorhergehenden Kapitel besprochen habe, kann davon ausgegangen werden, dass späte positive Potentiale („late positive potentials"; LPP) sensitiv für höher-geordnete Aspekte der perzeptuellen und zentralen Informationsverarbeitung sind und zudem mit der Aufgabenrelevanz bzw. wahrgenommenen Stimulusrelevanz korreliert sind (z.B. Kok, 1997).
Die im Folgenden zusammengefassten Studienergebnisse, welche VEPs auf emotionale Stimuli untersuchten, basieren auf der wichtigen Beobachtung, dass die perzeptuelle Enkodierung visueller Stimuli nicht nur durch willkürliche, „bewusst" gerichtete visuelle Aufmerksamkeit moduliert wird, sondern auch durch „reflexive" Aufmerksamkeit, die direkt durch den visuellen Reiz an sich provoziert wird (z.B. Hopfinger & Mangun, 1998; Cuthbert et al., 2000; Schupp et al., 2004; Keil et al., 2002).

Auf der Basis des in Kapitel 5.2.1. erörterten Konzepts der „motivated attention" (Lang, Bradley & Cuthbert, 1990, 1997; Bradley et al., 2001a), das mit der emotionalen, motivationalen Bedeutung von Reizen und der automatischen Aufmerksamkeitsallokation durch motivational saliente Reize einen besonderen evolutionären Stellenwert betont, gibt es mittlerweile zahlreiche Studie, welche kortikale Reaktionen während passiver, affektiver Bildverarbeitung untersuchten (z.B. Hamm et al., 2003; Cacioppo & Gardner, 1999; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002; Palomba et al., 1997; Waldstein et al., 2000; Schupp et al., 2003a, b; Junghöfer et al., 2001, 2006; Moratti et al., 2003).
Diese Studien haben sich zum ersten mit dem Effekt emotional relevanter bzw. erregender visueller Stimuli auf VEPs im späten Latenzbereich (LPPs) sowie zweitens mit der frühen, sensorischen Verarbeitung visueller Emotionsreize beschäftigt. Dabei wurde gezeigt, dass die affektive oder motivationale Relevanz eines Stimulus, welche sich im Arousal, also dem Ausmaß der Erregung auf der Arousal-Dimension des zwei-faktoriellen affektiven Raums (siehe Kapitel 5.2.1.) abbildet, die Intensität bzw. Amplitude der entsprechenden VEPs beeinflusst.

Im Folgenden möchte ich auf Studienergebnisse eingehen, welche diesen Effekt für LPPs (P300, und positive Slow Wave Aktivität) sowie für die frühe sensorische Verarbeitung emotional signifikanter, visueller Reize, wie sie sich in der so genannten „Early Posterior Negativity" (EPN) abbildet, gezeigt haben.

5.2.4.1. “Late Positive Potentials (LPP)”: P300 und „Positive Slow Wave“

Studien, welche den späten Latenzbereich visuell evozierter Potentiale auf emotionale Bildreize untersucht haben, demonstrierten relativ einhellig eine höhere Amplitude der LPPs (P300 und positive Slow Wave) bei der passiven Betrachtung emotional erregender Bildstimuli im Vergleich zu neutralen Bildern (z.B. Hamm et al., 2003; Cacioppo, Crites, Gardner & Berntson, 1994; Cacioppo & Gardner, 1999; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997; Palomba et al., 1997; Schupp et al., 2000).
Dieser Arousal-korrelierte Effekt, welcher im Sinne des in Kapitel 5.2.1. besprochenen „motivationalen Modells“ von Lang und Mitarbeitern (z.B. Lang, Bradley & Cuthbert, 1990, 1997; Bradley et al., 2001a) als ein Effekt der motivationalen Relevanz bzw. motivational-emotionalen Bedeutung von Stimuli betrachtet wird, wurde nachgewiesen für die P300 sowie die positive Slow Wave Aktivität (z.B. Cacioppo et al.; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2001, 2002; Palomba et al., 1997; Schupp et al., 2000).
Das Konzept „motivated attention“ geht ja davon aus, dass motivational bedeutsame Stimuli automatisch Aufmerksamkeitsressourcen der Motivationssysteme aktivieren und diese auf den Stimulus ausrichten, so dass emotional erregende Stimuli bevorzugt prozessiert werden (z.B. Hamm et al., 2003; Keil et al., 2002; Lang et al., 1997; siehe Kapitel 5.2.1).
Die ausgeprägteren Amplituden der P300 und der positiven Slow Wave werden als ein Maß für die kortikale Aktivität im Sinne einer ausgeprägteren und zeitlich anhaltenden, selektiven Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen auf emotional erregende Stimuli interpretiert (z.B. Cuthbert et al., 2000; Moratti et al., 2003; Keil et al., 2002; Mini et al., 1996; Palomba et al., 1997; Schupp et al., 2000). Dadurch können diese Reize intensiver und elaborierter verarbeitet werden. Die P300 und die positive Slow Wave reflektieren dabei ähnliche Prozesse (z.B. Kok, 1997), wobei besonders die langsame, anhaltende Positivierung eine intensivierte und zeitlich überdauernde selektive Verarbeitung emotionaler Bildstimuli und eine Aktivierung der Motivationssysteme anzeigt (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002).
Wie dies für die klassische Auslösung der P300 in Kapitel 5.2.3. beschrieben wurde, wird die P300 auch in den meisten Emotionsstudien in einem Latenzbereich von ca. 300 – 400 ms (bis zu 600 ms) post Stimulus-Onset eruiert und weist ein Maximum über zentroparietalen Elektroden auf (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002; Palomba et al., 1997).
Die positive Slow Wave wird zumeist *ab* einer Latenz von rund 500 bis 700 ms gefunden und zeigt ebenfalls eine maximalen Ausprägung über zentroparietalen Regionen (Cuthbert et al., 2002; Keil et al., 2002). Die Dauer ihrer Aktivierung ist abhängig von der Dauer der Bildpräsentation. In den meisten Studien wird jedes IAPS-Bild bis zu 6 Sekunden lang präsentiert. Die Slow Wave Aktivität hält zumeist über die gesamte Präsentation eines Bildes an (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002), schwächt sich aber zum Ende hin ab.

Ich habe bereits in Kapitel 5.2.3.1. darauf hingewiesen, dass die P300 neben Faktoren der Relevanz und der Auftretenswahrscheinlichkeit der Stimuli sowie, wie eben demonstriert, von der motivational-emotionalen Signifikanz der Stimuli auch von biologischen Prozessen wie dem Arousal-Zustand des Individuums abhängig ist (Polich & Kok, 1995). Ähnliches wird für die positive Slow Wave Aktivität berichtet (Polich & Kok, 1995; Kok, 1997).

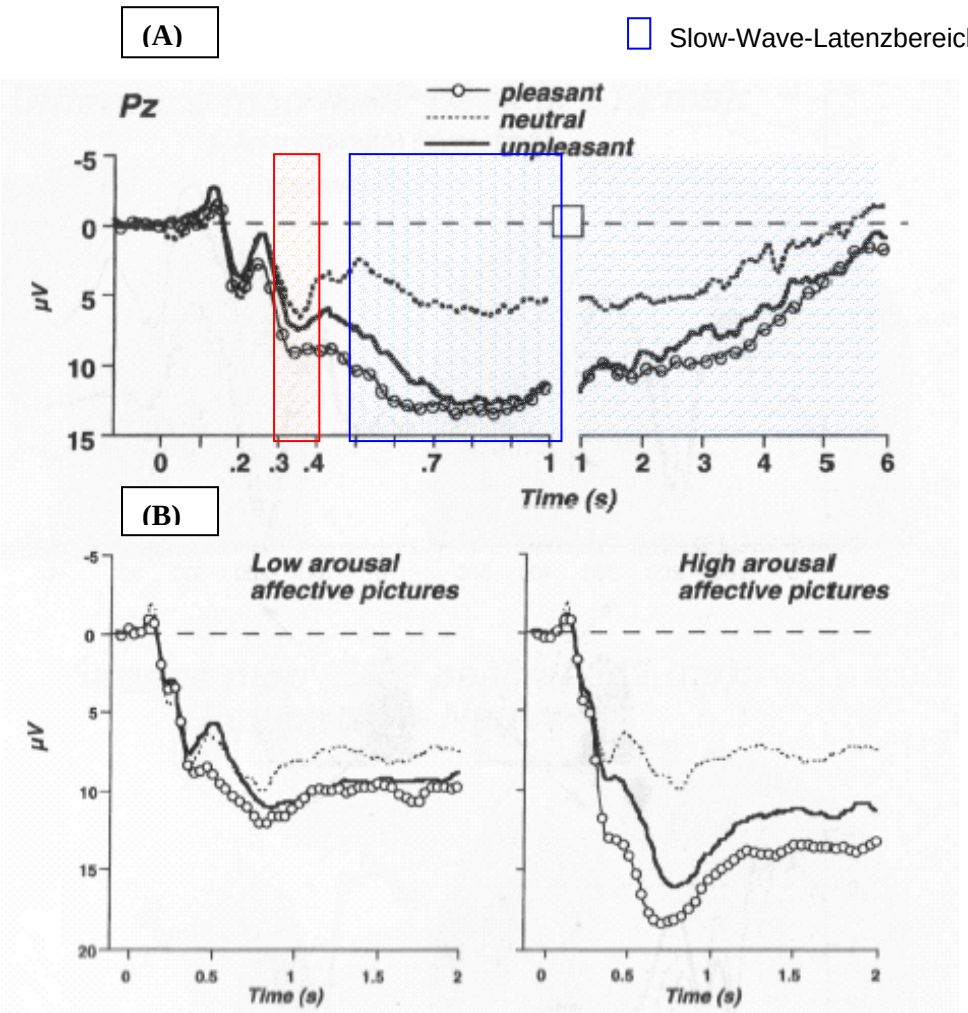
Abbildung 5.13. (A) zeigt den Verlauf der für emotionale Bilder eruierten VEPs an der Elektrode Pz, wobei die emotionale Differenzierung über beiden zerebralen Hemisphären v.a. deutlich für den P300- und den Slow Wave-Latenzbereich erkennbar wird. In Abbildung 5.13. (B) kann man den besprochenen Arousal-Effekt erkennen, welcher verdeutlicht, dass hoch-erregende emotionale IAPS-Bilder eine deutlichere Differenzierung in der P300- sowie Slow Wave Aktivität gegenüber emotional neutralen Bildern produzieren als gering-erregende emotionale Bilder (Hamm et al., 2003).

Abbildung 5.13

(A) VEPs während passiver Betrachtung erregender emotionaler und neutraler Bilder

(B) Differenzierung der VEPs für niedrig-erregende und hoch-erregende emotionale IAPS-Bilder

(adaptiert nach: Hamm et al., 2003, S. 195)



Obwohl die P300-Amplitude sowie die Amplitude der Slow Wave Aktivität typischerweise für emotional erregende (positive und negative Bilder) deutlich ausgeprägter ist als für neutrale Bilder, und die Amplituden der LPPs signifikant mit dem Arousal-Niveau der Stimuli variieren, wird in vielen Studien hierzu auch von ausgeprägteren P300- und Slow Wave-Amplituden auf sehr erregende positive Bilder, welche erotische und eindeutig sexuelle Szenen darstellen, im Vergleich zu erregenden aversiven Bildern berichtet (z.B. Hamm et al., 2003; Cuthbert et al., 2000; Schupp et al., 2004). Dies wird als ein so genannter „positivity-offset" bezeichnet (z.B. Ito & Cacioppo, 2005). Im Gegensatz zum so genannten „negativity bias" bedeutet der „positivity offset", dass in der natürlichen Umwelt das appetitive System (Reaktion auf positive Stimuli) aktiver sein kann als das aversive, v.a. wenn sehr eindeutige Stimuli vorliegen, wie das ja etwa bei erotisch-sexuellen Bildern der Fall ist, und die evaluative Leistung eher gering ist (z.B. Ito & Cacioppo, 2005).

Besonders Studien, welche mit so genannten „dense sensor arrays", also einer hohen Anzahl von Elektroden über welche das EEG abgeleitet wird, arbeiteten, konnten die Arousal-abhängigen Effekte der LPPs bestätigen (Junghöfer et al., 1999; Schupp et al., 1999; Keil et al., 2002). Diese Anordnung erlaubt besonders die Berechnung von „Minimum Norm Schätzungen", welche es ermöglichen die zeitliche Dynamik und die kortikalen Quellen der Spannungsveränderungen der am Schädel abgegriffenen ereigniskorrelierten Potentiale zu schätzen (Hauk, Keil, Elbert & Müller, 2002; Keil et al., 2002; Hamm et al., 2003).
Vor allem eine Studie von Keil et al. (2002) konnte anhand eines solchen Vorgehens einerseits bestätigen, dass erregende emotionale Bilder unabhängig von ihrer Valenz zu ausgeprägteren P300- sowie Slow Wave-Amplituden im Vergleich zu neutralen Bilder führten, und zeigte, dass diese Effekte besonders ausgeprägt über medial-superioren, posterior-inferioren und posterior-superioren Elektrodenpools waren. Die Analyse der Dipol-Stärken anhand eines Minimum Norm Modells bestätigte diese Ergebnisse insofern, als dass erregende emotionale Bilder höhere Dipol-Stärken im P300- sowie Slow Wave-Latenzbereich zeigten. Die Arousal-abhängigen Effekte zeigten v.a. eine starke Ausprägung über parietalen und posterioren Kortizes, nahe des okzipito-temporalen Kortex (Keil et al., 2002).

Den Arousal-relatierten Effekt der LPPs bestätigten auch Untersuchungen von Cuthbert et al. (2000) und Keil et al. (2001). In diesen Studien wurden signifikante, positive Pearson-Korrelationen zwischen dem subjektiv bewerteten Erregungsniveau (Arousal) der Bilder (anhand des SAM) und der Ausprägung der Amplituden der LPP eruiert ($r = 0.73$). Cuthbert et al. (2000) sowie Lang et al. (1993) demonstrierten zudem die zwei-faktorielle Lösung bei Einbezug von VEPs, Herzratenveränderungen, Hautleitfähigkeit, SAM-Rating (Arousal,

Valenz): Auf den Faktor „Arousal“ luden P300- und Slow Wave Amplitude sowie Hautleitfähigkeit sowie die SAM-Arousal-Ratings, während Herzratenveränderungen sowie Valenz-Ratings des SAM auf den Faktor „Valenz“ luden.

Neben der Betrachtung der späten VEPs (LPPs) auf visuelle Bilder liegt mittlerweile eine Reihe an interessanten Studien vor, welche demonstrieren konnten, dass eine emotionale Differenzierung von visuellen Stimuli im Sinne einer intensiveren kortikalen Verarbeitung von emotionalen Bildern bereits sehr früh in der visuell-sensorischen Verarbeitung dieser Stimuli stattfindet.
Dies möchte ich im folgenden Kapitel erörtern.

5.2.4.2. Frühe, visuelle Emotionsverarbeitung: „Early Posterior Negativity (EPN)“

Studien, welche sich mit der bevorzugten, frühen visuellen Prozessierung emotional bedeutsamer Stimuli (IAPS-Bilder) befasst haben, basieren theoretisch zu allermeist auf dem motivationalen Modell von Lang und Kollegen (z.B. Lang, Bradley & Cuthbert, 1997), welches ich in Kapitel 5.2.1. kurz erörtert habe. Eine sehr ähnliche Perspektive nehmen Cacioppo und Mitarbeiter (z.B. Cacioppo, Gardner & Berntson, 1999) ein.
Hier wird zur Erinnerung davon ausgegangen, dass das affektive System bzw. das motivationale System sich evolutionsgeschichtlich aus einer motivationalen Basis heraus entwickelt hat, das eine Zwei-Faktoren-Organisation (Valenz, Arousal) aufweist (Lang, 1995; Cacioppo et al., 1999). Dabei wird motivationales Verhalten als zielgerichtet betrachtet und Emotionen stellen Handlungsdispositionen dar, welche den Organismus entweder auf so genantes „avoidance-related behavior“ (Vermeidungsverhalten) oder „approach-related behavior“ (Annäherungsverhalten) vorbereiten. Das Ausmaß an „Arousal“ bzw. Erregung von Umweltreizen beeinflusst dabei die Aktiviertheit dieser beiden Motivsysteme (Lang et al., 1997; siehe Kapitel 5.2.1.). Im „emotionalen Priming Modell“ (Lang, 1995) wird davon ausgegangen, dass affektives Engagement bzw. affektive Aktivierung entweder des „Approach-“ oder des „Avoidance-„Systems entsprechende Assoziationen, Repräsentationen und Handlungsprogramme, die den jeweiligen Motivsystemen zugeordnet sind, „primen“ bzw. grundieren. Das bedeutet, dass, wenn das aversive Avoidance-System aktiviert wird, defensives und protektives Verhalten gefördert wird, um den Organismus so schnell wie möglich aus aversiven Reizumgebungen zurück zu ziehen, während Aktivierung des appetitiven Approach-Systems dagegen das Annäherungsverhalten auf angenehm empfundene Reize fördert. Dies wurde u.a. anhand des Startle-Reflexes gezeigt (Hamm, Greenwald, Bradley & Lang, 1993; Bradley, 2000; Cuthbert, Bradley & Lang, 1996; Lang et al., 1997).

Damit sich nunmehr jedoch der Organismus auf einen angemessenen behavioralen Output gekoppelt an entsprechende physiologische Veränderungen, vorbereiten kann, muss zuallererst eine Diskriminierungsleistung stattfinden, die feindliche bzw. aversive von angenehmen, wohltuenden Reizen unterscheidet (z.B. Schupp et al., 2003; Junghöfer et al., 2001)

Affektive Reize bzw. Hinweisreize signalisieren wichtige Ereignisse in der Umwelt, welche die Aufmerksamkeitsprozesse des Individuums lenken. Anders ausgedrückt könnte man auch sagen, dass die Organisation erfolgreicher Verhaltensstrategien von einer effizienten Extraktion kritischer, also relevanter Information aus der Umwelt abhängt (Öhmann, Flykt & Lundqvist, 2000). Dementsprechend ist anzunehmen, dass die emotionale Modulation nicht nur den behavioralen und physiologischen Output, sondern auch die sensorische Enkodierung affektiver Reize erleichert und beeinflusst. Dies ist auch mit dem Begriff der „motivated attention“ gemeint (z.B. Keil et al., 2002; Schupp et al., 2003a,b).

Es wurde entsprechend bereits gezeigt, dass die perzeptuelle Enkodierung visueller Stimuli nicht nur durch willkürliche, „bewusst“ gerichtete visuelle Aufmerksamkeit moduliert wird, sondern auch durch reflexive Aufmerksamkeit, die direkt durch den visuellen Reiz an sich provoziert wird (Hopfinger & Mangun, 1998).

Die oben erörterten Befunde zu LPPs und deren Arousal-Relation haben bislang demonstriert, dass emotional erregende Bilder ausgeprägtere LPPs induzieren als neutrale Bilder. Dies reflektiert eine höhere, anhaltende Aufmerksamkeitsallokation emotional relevanter Bildstimuli. Die späten VEPs auf emotionale Bilder indizieren dabei eine postsensorische, höher geordnete Stimulusverarbeitung und Stimulusevaluation, nachdem die initiale Stimulusidentifikation bereits abgeschlossen ist (z.B. Schupp et al., 2003, 2004; Ritter & Ruchkin, 1992).

Aktuelle Studien konnten nunmehr zudem demonstrieren, dass emotional signifikante Stimuli sehr schnell und in sehr frühen sensorischen Verarbeitungsstadien bereits, praktisch auf reflexive Weise Aufmerksamkeit auf sich ziehen und so die höhere, elaboriertere Prozessierung dieser Reize erleichtern (z.B. Bradley et al., 2004; Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003; Lang et al., 1998).

Erste Belege dafür finden sich in den bereits in Kapitel 5.1.1.2. referierten Untersuchungen, welche den regionalen zerebralen Blutfluss (PET, fMRI) während der Verarbeitung emotionaler Reize untersucht haben und eine erhöhte Aktivierung im okzipitalen Kortex (Area18 und 19) während der Betrachtung emotional erregender im Vergleich zu neutralen Bildern eruierten (z.B. Bradley et al., 2003; Lane et al., 1997, 1999; Lang et al., 1998; Frederikson et al., 1993; Reiman et al., 1997). Das Ausmaß der Aktivierung im visuellen

Kortex für emotionale im Vergleich zu neutralen Bildern ist dabei mit der Intensität der Emotion assoziiert ist (z.B. Bradley et al., 2003). Die Aktivierung des okzipitalen Kortex war dabei um so größer, je stärker das Arousal der emotionalen Bilder war.
Zudem wurde gezeigt, dass Patienten mit phobischen Angststörungen eine erhöhte Aktivierung in den visuellen Assoziationsarealen aufwiesen, wenn sie angstrelevante Filme betrachteten (Frederikson et al., 1993). Bei Patienten mit posttraumatischer Belastungsstörung konnte eine signifikant stärkere Aktivierung des Okzipitalkortex beobachtet werden, wenn sie sich Trauma-bezogene Szenen vorstellten, als wenn sie neutrale Ereignisse imaginierten (Rauch et al., 1996).
Obwohl bildgebende Verfahren (z.B. PET, fMRI) bekanntlich eine hervorragende Möglichkeit zur Lokalisierung von zerebralen Vorgängen im lebenden Gehirn bieten, also eine gute räumliche Auflösung besitzen, sind sie allein jedoch nicht in der Lage, den Zeitverlauf der interessierenden Hirnprozesse darzustellen. Das bedeutet, dass die oben genannten Befunde nicht darlegen können, ob dieses affektive „Tuning“ des visuellen Assoziationskortex nur in späteren Phasen der Stimulusanalyse auftritt, wie sie in den Untersuchungsergebnissen der LPPs nachgewiesen wurde, oder ob eine selektive, sensorische Analyse affektiver Reize bereits selektiv schon viel früher stattfindet und erleichtert wird.
Um den Zeitverlauf solcher Verarbeitungsprozesse im Gehirn zu untersuchen, hat sich die Analyse von ereigniskorrelierten Potentialen als Methode der Wahl erwiesen.

Aktuelle EEG-Untersuchungen konnten nunmehr demonstrieren, dass die frühe perzeptuelle Enkodierung im visuellen Kortex durch die emotionale Bedeutsamkeit von visuellen Stimuli moduliert wird:
In diesen Untersuchungen wurden Bilder sehr schnell dargeboten, um schnelle, frühe, reflexive Mechanismen der visuell-sensorischen Prozessierung zu untersuchen (z.B. Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003a, 2003b) und um ein damit assoziiertes ereigniskorreliertes Potential, welches als langsame, frühe, relative Negativierung über okzipito-temporalen Elektrodenclustern dominiert („Early Posterior Negativity“, EPN), genauer zu erfassen.
Erste Untersuchungen von Schupp et al. (1999, 2003a), welche die einzelnen IAPS-Bilder mit 1.5 Sekunden Dauer (intertrial interval von 3 Sekunden) präsentierten, konnten demonstrieren, dass emotional erregende Bilder zu einem endogenen, relativen negativen Shift über temporo-okzipitalen Elektroden mit einem Beginn von ca. 150 ms post Stimulusonset und einem Peak bei rund 300 ms im Vergleich zu neutralen Bildern führten. Diese so genannte „Early Posterior Negativity“ (EPN), welche zumeist einen Zeitbereich zwischen 150 (bis zu 180 ms) – 320 ms Latenz einschließt und ein Maximum bei ca. 280-

300 ms besitzt (Schupp et al., 2003a,b; Junghöfer et al., 2001) ist ähnlich wie die LPPs mit dem Arousal-Niveau der Bildstimuli positiv korreliert. Die *relative* Negativierung der EPN bedeutet, dass in den meisten Studien keine definitive Negativität des VEP existiert, sondern eine „relative" Negativierung der Komponente im Vergleich zu den neutralen Bildstimuli (z.B. Schupp et al., 2003a,b; Schupp et al., 2004; siehe auch Abbildung 5.14., nächste Seite).
Es hat sich jedoch herausgestellt, dass die frühe, reflexive visuelle Prozessierung von emotional bedeutsamen Stimuli am besten anhand der sehr schnellen visuellen Präsentation von Bildern erfasst werden kann (Junghöfer et al., Schupp et al., 2003b; Schupp et al., 2004), da bei sehr schneller Bildpräsentation die höher-geordnete, anhaltende Prozessierung von Bildern unterdrückt werden kann und eine hohe perzeptuelle Beanspruchung („perceptual load") implementiert wird (z.B. Schupp et al., 2003b).
Junghöfer et al. (2001) haben ein Paradigma der schnellen Bildpräsentation von IAPS-Bildern (so genannte ***„rapid serial visual presentation" – RSVP***) vorgestellt, welches die frühe affektive, visuelle Diskriminierung und die EPN besonders gut erfasst. Das RSVP wurde bislang in der Erforschung kognitiver Verarbeitungsprozesse (Potter, 1999) verwendet. In diesem Paradigma wird der Proband einer anhaltenden Flut visueller Stimuli ausgesetzt, welche mit schneller Frequenz dargeboten werden. Potter (1999) geht davon aus, dass das Gehirn ein erstes, kurzfristiges konzeptuelles Gedächtnissystem besitzt, in dem Reize sehr schnell eine Bedeutungsrepräsentation erlangen, jedoch nicht dauerhaft konsolidiert werden. Werden Probanden also einem schnellen Bilderstrom ausgesetzt, so können sie den spezifischen Inhalt und die Bedeutung der Reize zwar sehr schnell verarbeiten und erkennen, jedoch werden die Bilder nicht akut in darüber hinausgehenden, höher geordneten Gedächtnissystemen weiter verarbeitet.
Gibson & Kelsey (1998) sprechen von einer "attentional capture".

Anhand des RSVP kann daher besonders die sehr frühe konzeptuelle Analyse visueller Stimuli untersucht werden (z.B. Junghöfer et al., 2001).
Im RSVP werden die Bilder zumeist in einem 3 Hz bis 5 Hz Rhythmus präsentiert. Es werden somit pro Sekunde 3 oder auch 5 Bilder ohne Inter-Stimulus-Intervall gezeigt (z.B. Junghöfer et al., 20021; Schupp et al., 2003b).

Die Relevanz früher, visueller ereigniskorrelierter Komponenten für die Emotionsforschung knüpft an Beobachtungen aus der kognitiven Forschung an, welche eine Beeinflussung früher visueller Prozessierung durch selektive Aufmerksamkeitsprozesse eruierten (z.B. Hillyard & Anllo-Vento, 1998). So führt die Konzentration auf einen spezifischen Ort im Raum zu einer Amplifikation der elektrokortikalen Reaktion bereits im Latenzbereich der P1-Komponente des VEP, welche um ca. 80 ms nach Stimulusonset beginnt (Martinez et al.,

1999). Richten Personen ihre Aufmerksamkeit auf bestimmte Reizcharakteristika wie etwa Farbe oder Form, wird häufig eine relative Erhöhung der N100-Komponente (ca. 140-200 ms) beobachtet (z.B. Luck & Hillyard, 1995).

Aufbauend auf diese Befunde aus der Forschung zu selektiver Aufmerksamkeit konnten Junghöfer et al. (2001) sowie Schupp et al. (2003b) demonstrieren, dass affektiv erregende Bilder präsentiert im RSVP deutlich mehr Aufmerksamkeitsressourcen – im Sinne einer reflexiven Aufmerksamkeit und einer „natural selective attention“ (z.B. Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003a,b) in sehr frühen Stadien visueller Prozessierung auf sich ziehen. Die Manifestierung dieses Effekts zeigt sich auf der Ebene der EPN, welche sich im Zeitbereich der P100/N100 und N200 Komponente der VEPs befindet (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b).
Abbildung 5.14. demonstriert den typischen Verlauf der EPN und die relative Negativierung auf emotional erregende Bilder.

Abbildung 5.14. Verlauf der „EPN“ über links- und rechts-okzipitalen Elektroden auf emotional erregende Bilder (adaptiert nach: Schupp et al., 2003a)

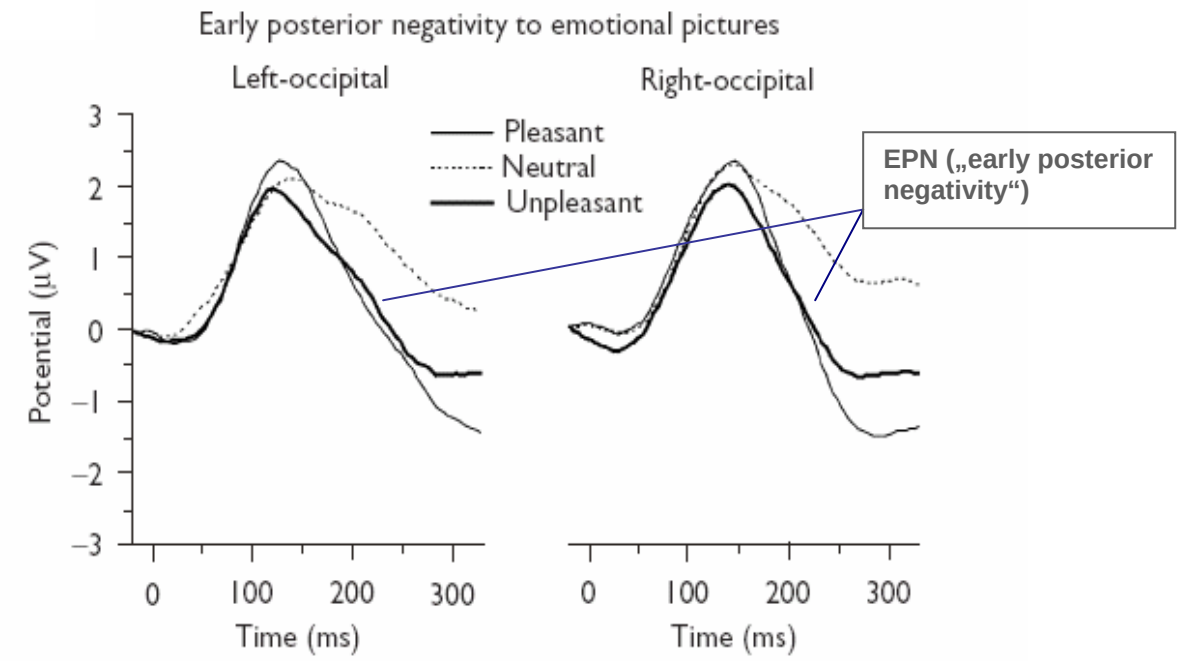
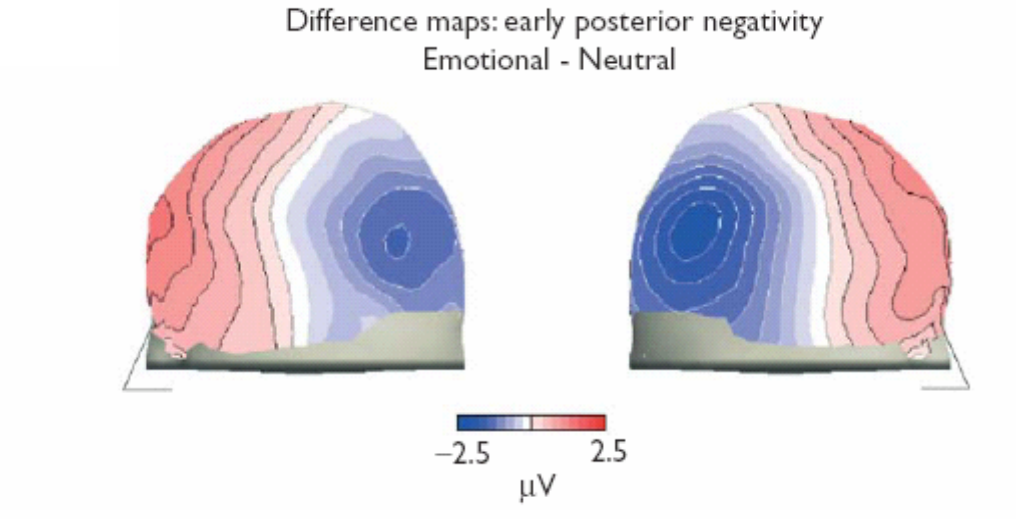


Abbildung 5.14. verdeutlicht nochmals den frühesten Beginn der EPN bei ca. 150 ms und ihr Maximum bei 300 ms.
Topographisch zeigt sich eine maximale Ausprägung der Spannungs-Differenzwerte der EPN auf emotional erregende Bilder über okzipitalen Regionen (Abbildung 5.15.).

Abbildung 5.15. „Difference Maps“ der EPN – Topographie der Spannungsdifferenzwerte der EPN für emotional erregende Bilder (aus: Schupp et al., 2003b).



Für die topographische Darstellung des Spannungsverlaufs der EPN wird, wie angedeutet, mit so genannten „Difference Maps“ gearbeitet. Das bedeutet, dass die Differenzwerte zwischen der mittleren Spannung im EPN-Latenzbereich für neutrale und emotional erregende Bilder pro Proband gebildet werden, welche sich dann topographisch als negative Spannungsverteilung abbilden lasen. Der Grund hierfür ist u.a. der, dass die EPN, wie Abbildung 5.15. zeigt, keine starke absolute Negativierung, sondern zumeist eine *relative* Negativierung aufweist, die sich topographisch nicht gut darstellen lässt (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b).

Junghöfer et al. (2001) untersuchten anhand des RSVP (Bilddarbietung mit 3 Hz und mit 5 Hz) erstmals 12 Probanden und konnten die EPN auf emotional erregende Bilder nachweisen. Dabei zeigte sich ähnlich wie für LPPs die Arousal-Bezogenheit der EPN. Die mittlere EPN-Amplitude war dabei ausgeprägter für hoch-erregende emotionale Bilder als für niedrig-erregende emotionale Bilder. In dieser Studie konnte zudem demonstriert werden, dass die affektive Diskriminierung der IAPS-Bilder, welche sich in der EPN zeigte, nicht von formalen visuellen Eigenschaften, wie Farbe, Helligkeit und Komplexität der Bilder abhängig war.

Die Topographie der EPN und insbesondere die Quellenanalysen in der Studie von Junghöfer et al. (2001) deuten darauf hin, dass die neuronalen Hauptquellen der frühen, visuellen emotionalen Diskriminierung in primären und sekundären visuellen Verarbeitungsarealen des Gehirns liegen.

Schupp et al. (2003b) wendeten ebenfalls das RSVP-Paradigma an. Bei 15 Probanden konnten die Autoren bei einer 3 Hz-Darbietung der IAPS-Bildstimuli (pro Bild 333 ms

Darbietungszeit) die EPN auf emotional erregende Bilder eruieren. Für die statistische Analyse wurde die EPN als mittlere Amplitude (Latenz: 160 – 292 ms) über linken und rechten temporo-okzipitalen Elektrodenclustern definiert. Die EPN deckte den Latenzbereich der N100- (160-224 ms) und N200-Komponente (232-292 ms) ab. In dieser Studie zeigte sich auch, dass positive, sehr erregende Bilder (v.a. sexuelle Szenen, Erotika) gegenüber anderen positiven Bildern (Babies, glückliche Familienszenen etc.) deutlich stärkere EPN-Amplituden produzierten. Genauso wurde eine ausgeprägtere EPN-Amplitude auf besonders aversive Bilder (blutende Unfallopfer, körperliche Entstellungen, Bedrohungsszenen) verglichen mit neutralen Bildern, welche eine geringere emotionale Signifikanz besitzen, demonstriert.
Ein weiteres interessantes Ergebnis dieser Studie beinhaltet, dass diese Ergebnisse sich auch demonstrieren ließen, wenn neben den im RSVP dargebotenen IAPS-Bildern zudem eine leichte Oddball-Aufgabe mit non-emotionalen Stimuli (verschiedene Schachbrett-Muster als Target- und Non-Target Stimuli) absolviert werden musste. Die Schachbrett-Targets führten, wie zu erwarten war, zu einer ausgeprägten P300, während emotionale Bilder dennoch eine ausgeprägte EPN auslösten.
Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass es sich bei der schnellen, frühen visuellen affektiven Diskriminierung, wie sie sich in der EPN abbildet, um einen relativ automatisierten Prozess handelt, der auch auftritt, wenn andere Aufgaben, welche jedoch nicht die emotionale Prozessierung bereffen, bearbeitet werden müssen (z.B. Schupp et al., 2004a,b), d.h. wenn also Aufmerksamkeitsressourcen anderweitig verwendet werden müssen.

Auch die Präsentation von IAPS-Bildern mit 120 ms pro Bild induzierte eine EPN auf emotional erregende Bilder (Schupp et al., 2004b). In dieser Studie wurde der Latenzbereich der EPN zwischen 280-320 ms beobachtet.
Diese Befunde zur EPN werden auch unterstützt von Studien (Schupp et al., 2004a; Sato et al., 2001), welche die EPN über temporo-okzipitalen Elektrodenclustern für emotionale (bedrohliche und freundliche) Gesichter im Vergleich zu neutralen Gesichtern demonstrieren konnten.
Eine aktuelle Studie von Junghöfer et al. (2006) konnte anhand eines fMRI-Paradigmas die intensivere Aktivierung auf emotional erregende Bilder gegenüber neutralen Bildern im inferioren temporalen und okzipitalen visuellen Kortex nachweisen. Dies konnte sogar für Bilddarbietungszeiten von nur 200 ms pro Bild (Bilder ähnlichen Arousals wurden seriell im Block für die fMRI-Untersuchung präsentiert) demonstriert werden.

Eine weitere aktuelle Studie von Wieser et al. (2006) konnte kürzlich die EPN anhand des RSVP auch bei Parkinson-Patienten nachweisen.

Besonders interessante Ergebnisse stammen von Stockburger et al. (2004, 2005), welche den Einfluss motivationaler Zustände, die eng mit interozeptiven Prozessen gekoppelt sind, auf die frühe sensorische Verarbeitung (EPN) im RSVP zeigen konnten. Die Resultate der Studien zeigten eine Verstärkung der EPN am visuellen Kortex auf nahrungsbezogene Bildstimuli bei nahrungsdeprivierten, also hungrigen, Probanden. Dieser Befund macht auf die Beeinflussung dieses frühen, perzeptuellen Verarbeitungsprozesses durch „bodily states" aufmerksam.
Die Bedeutung des motivationalen, interozeptiven Zustands – in diesem Fall „Hunger"-, welche hier für die frühe sensorische Prozessierung von relevanten Reizen nachgewiesen wurde, wird unterstützt von der bereits in Kapitel 5.1.1.2. erörterten Studie von LaBar et al. (2001), die in einer fMRI-Studie demonstrieren konnten, dass bei hungrigen Probanden visuelle, motivational relevante Stimuli von Nahrungsreizen zu einer deutlich stärkeren Aktivierung der Amygdala, sowie dem parahippocampalen Gyrus und dem fusiformen Gyrus im Okzipitalkortex als bei gesättigten Probanden führten. Dies unterstützt die Überlegung, dass die Amygdala und assoziierte inferotemporale Regionen, welche im „ventralen visuellen Strom" liegen und bei der verstärkten sensorischen Verarbeitung visueller Information durch motivational relevante Reize wichtig sind, ganz konkret bei der Integration des subjektiven interozeptiven Zustands (hier: Hunger) mit relevanten sensorischen Reizen involviert sind.
LaBar et al. (2001) betonen so auch, dass die extensiven Verbindungen der Amygdala mit sensorischen Assoziationskortizes, viszero-autonomen Pfaden und dem Hypothalamus, die wichtige Funktion der Amygdala für die Integration der Repräsentation motivational relevanter Reize (primärer Induktoren – nach Damasio, 2000) mit interozeptiven Signalen und Zuständen unterstützen.

Wie in Kapitel 5.1.1.2. diskutiert, scheinen v.a. die Amygdala und Strukturen des ventralen visuellen Stroms für die bevorzugte und verstärkte Prozessierung von sensorisch visuellen Reizen, welche für die motivationalen Bedürfnisse des Organismus besonders relevant sind, und die darauf folgende Regulation zielorientierten Verhaltens in höher-geordneten Verarbeitungsschritten, wichtig zu sein (LaBar, 2001).

Was die an diesem Prozess der schnellen und frühen affektiven Diskriminierung beteiligten Hirnstrukturen und Mechanismen angeht, so wird also davon ausgegangen, dass die ***Amygdala*** hierbei eine wesentliche Rolle spielt (z.B. Schupp et al., 2003b; Schupp et al., 2004a,b). Wie ich in Kapitel 5.1.1. ausführlich beschrieben habe, spielt die Amygdala eine wesentliche Rolle bei der Induktion von Emotionen sowie bei der automatischen Erkennung emotional bedeutsamer Reize (z.B. LeDoux, 1996). Nach Damasio ist die Amygdala die wesentliche Emotionsinduktionsstruktur für „primäre Emotionen" und triggert das gesamte Spektrum an emotionalen Zuständen, inklusive somatischer und peripher-physiologischer Veränderungen (Damasio, 1999, 2000).

Die Amygdala wird so auch aktiviert, wenn emotional erregende positive (z.B. erotische) als auch aversive Bilder betrachtet werden (z.B. Hamann et al., 2002). Zudem ist die Aktivierung der Amygdala nicht von der bewussten Identifikation von Stimuli abhängig, da gezeigt wurde, dass auch maskierte emotionale Bilder zu einer Amygdalaaktivierung führen (Whalen et al., 1998; Critchley et al. 2002).

LeDoux (1996) spezifizierte den Verlauf der visuellen Information vom primären visuellen Kortex über den ventralen Strom („Was-Weg“) und den von dort aus startenden Projektionen zur Amygdala, wobei die Amygdala selbst wieder zu allen Ebenen des ventralen Stroms zurückprojiziert (siehe Kapitel 5.1.1.1.). Le Doux betont die Bedeutung dieser Feedback-Schleifen für die Lenkung von Aufmerksamkeit auf emotional relevante Reize.

Zahlreiche Befunde stützen die Relevanz der Amygdala bei der Unterstützung der perzeptuellen Vigilanz (z.B. Morris et al., 1998; Whalen et al., 1998). Auch Daten von Anderson & Phelps (2001) legen nahe, dass die Amygdala ein kritisches Substrat für die schnelle Erkennung und Wahrnehmung emotionaler Stimuli darstellt. Dadurch werde die verstärkte schnelle visuelle Verarbeitung emotionaler Stimuli unterstützt (Amaral, Price, Pitkanen & Carmichael, 1992; siehe auch Schupp et al., 2003b).
Wie ich in Kapitel 5.1.1. ausführlich beschrieben habe, stellt die Amygdala somit einen Mechanismus bereit, der dafür sorgt, dass affektiv relevante Ereignisse und Stimuli stärker fokussiert werden und dadurch die Chance steigt, dass diese bewusst werden.

Eine sehr interessante fMRI-Untersuchung von Sabatinelli et al. (2005) zeigte neben der vom Arousal der emotionalen Bilder abhängigen Aktivierung des infero-temporalen visuellen Kortex sowie der Amygdala zudem einen vom individuellen Person-Arousal abhängigen Effekt auf die Aktivierung beider Strukturen. Zum einen stützten die Analysen der Untersuchung die enge Zusammenarbeit zwischen Amygdala und visuellen Kortizes bei der bevorzugten und intensiveren sensorischen Verarbeitung visueller emotionaler Bildreize. Zum zweiten demonstrieren die Ergebnisse dieser Studie, dass Personen mit Schlangenphobie auf entsprechende emotionale IAPS-Bilder eine intensivere Aktivierung der Amygdala sowie des infero-temporalen visuellen Kortex aufwiesen.

Die verstärkte sensorische, frühe Verarbeitung emotional relevanter Reize in visuellen Kortizes wird daher vornehmlich auf eine „re-entrant Prozessierung“ zwischen Amygdala (z.B. Amaral et al., 1992) und anterioreren Strukturen, v.a. dem cingulären Kortex, welche u.a. für Aufmerksamkeits- und motivational-emotionale Prozesse von Relevanz sind (z.B. Posner, 1990, 1996), sowie den primären und sekundären visuellen Rindenfeldern zurückgeführt (siehe Bradley et al., 2003). Die Amgdala besitzt, in Verbund mit diesen

genannten Hirnstrukturen, demnach wichtige „Top Down“ Einflüsse auf Reaktionen des visuellen Kortex (Bradley et al., 2003).

Des Weiteren existieren eine ganze Reihe von extensiven Verbindungen zwischen Amygdala und dem anterioren Aufmerksamkeitsnetzwerk (v.a. cingulärer Kortex, Pränfrontalkortex) (Thayer & Lane; z.B. Barbas et al., 2003; siehe Schupp et al., 2003b), welche bei diesem Prozess eine modulierende Rolle spielen (siehe auch Pessoa et al., 2002). Das anteriore Aufmerksamkeitsnetzwerk überlappt sich im Übrigen stark mit dem zentralen autonomen Netzwerk (CAN) (Thayer & Lane, 2000; siehe Kapitel 3 und 5.1.1.2.).

Aktuelle Ergebnisse verdeutlichen u.a. die Signifikanz eines fronto-parietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks, das die Orientierung auf einen externen Stimulus hin reguliert und dazu beiträgt einen „alert state“ aufrecht zu erhalten (Fernandez-Duque & Posner, 2001; Moratti, Keil & Stolarova, 2003).

Was die Bedeutung des anterioren cingulären Kortex bei der Beeinflussung der frühen, sensorischen affektiven Reizverarbeitung angeht (z.B. Bradley et al., 2003), so haben Posner & Peterson (1990) eine Verstärkung des visuellen Kortex für relevanten Input durch Aufmerksamkeitsprozesse des ACC betont. Des Weiteren existieren intensive reziproke Verbindungen zwischen Amygdala und ACC, wodurch eine Zusammenarbeit beider Strukturen bei der sensorischen Reizverarbeitung möglich ist (Amaral & Price, 1984).
Lane et al. (1998) betonen ebenfalls die Relevanz des ACC als Kopf des anterioren Aufmerksamkeitssystems für die Detektion exterozeptiver und interozeptiver bedeutsamer Reize.
Auch der mediale Präfrontalkortex wird als ein weiterer Kandidat für die Beeinflussung sensorischer Verarbeitungsprozesse diskutiert (Lane et al., 1999; Bradley et al., 2003). Auch diese Hirnstruktur weist enge Verbindungen zur Amygdala auf (z.B. Bechara et al., 1999).

Öhman & Mineka (2001) fassen zusammen, dass, was signifikante Reize angeht, automatisierte Routinen welche auf dem prä-existierenden Wissen über die Welt existieren, benutzt werden, um signifikante Hinweisreize in der Umwelt zu detektieren. Dies sollte sich in einer frühen Phase der visuellen, perzeptuellen Verarbeitung zeigen. Damit würde die spätere, höher geordnete, anhaltende Verarbeitung dieser bedeutsamen Stimuli gefördert. Letzteres entspricht dem, was Lang et al. (1997) als „natürliche selektive Aufmerksamkeit“ und „motivated attention“ bezeichnet haben.
Die schnelle visuelle Präsentation emotionaler Bilder (RSVP) betreffend, so kann davon ausgegangen werden, dass die dadurch induzierte EPN auf emotionale Bilder eine sehr schnell ablaufende initiale konzeptuelle Verarbeitung relevanter Stimuli darstellt, jedoch keine länger andauernden affektiven Zustände reflektiert. Dafür ist die Bildpräsentation zu

schnell (siehe Junghöfer et al., 2001). Jedoch lässt dieser Zeitbereich sowie der Latenzbereich innerhalb dessen die EPN (ca. 150-320 ms) auftritt genügend Raum, um oben beschriebene „re-entrant“ Abläufe zwischen Amygdala, cingulärem Kortex und visuellen Kortizes zu gestatten (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b).

6. Theoretische Herleitung der empirischen Studien

In den bislang ausgeführten Kapiteln habe ich theoretische Grundlagen und empirische Befunde geschildert, welche einen Bogen spannen von peripheren Emotionstheorien, die dem Feedback peripherer körperlicher Veränderungen zum Gehirn und der Beeinflussung emotionaler, kognitiver und Verhaltensprozesse eine wichtige Funktion einräumen (Kapitel 2), zu empirischen Befunden zur Emotionsverarbeitung visueller Bilder und der Untersuchung höher-geordneter und früher sensorischer Emotionsverarbeitungsprozesse sowie von selektiven Aufmerksamkeitsprozessen (Kapitel 5.2). Dabei wurden die neuroanatomischen Grundlagen interozeptiver Signalverarbeitung (Kapitel 3) sowie der Emotionsverarbeitung (Kapitel 5.1.) sowie bislang existierende Ergebnisse zum Konzept der Kardiosensibilität (bzw. Herzwahrnehmung) sowie interindividuelle Unterschiede in der Perzeption viszeraler Signale am Beispiel der Kardiosensibilität (Kapitel 4) erörtert. Die Überlappung von für interozeptive, emotionale und viszerale Regulation sowie für Aufmerksamkeitsprozesse relevanten Hirnstrukturen ist dabei eine wesentliche Grundlage für den Zusammenhang zwischen Interozeption und Emotionsverarbeitung.

Sowohl aus den theoretischen Modellen insbesondere von W. James sowie A. Damasio als auch aus den komplexen empirischen Befunden zur zentralen Repräsentation interozeptiver, viszeraler Signale und zur Kardiosensibilität lassen sich wesentliche Fragestellungen ableiten, welche bislang noch nicht empirisch untersucht wurden.
Sowohl die „Gefühlstheorie“ von James als auch die „Somatic Marker“ Theorie von Damasio gehen davon aus, dass körperliche Veränderungen im Gefolge eines emotional bedeutsamen Umweltreizes das Erleben von Emotionen, sprich Gefühle, und Verhaltensprozesse beeinflussen.
Für James gilt, dass *„… the bodily changes follow directly the perception of the exciting fact, and that our feeling of the same changes as they occur is the emotion“* (James, 1884, S. 189-190). Genau genommen ist damit die Perzeption körperlicher, physiologischer Veränderungen gemeint, welche für die Entstehung von Gefühlen, also das „Fühlen einer Emotion“ ausschlaggebend ist. Diese Abläufe waren für W. James (1884) vor allem für „standard emotions“ relevant. Damit bezeichnete James Emotionen, welche körperliche Veränderungen provozieren bzw. einen körperlichen Ausdruck besitzen, die im Gefolge eines Umweltstimulus hin auftreten. Diese „standard emotions“ sind praktisch auch gemeint, wenn Damasio von „primären Emotionen“ spricht, die automatisch bei Wahrnehmung eines relevanten Umweltreizes ausgelöst werden, wobei die Amygdala eine wichtige Rolle spielt (Damasio, 1994, S. 187). Wie in Kapitel 5.1.1. und Kapitel 5.2.4. besprochen wurde, findet sich die Bedeutung der Amygdala und „primärer Emotionen“ in zahlreichen

Emotionsmodellen wieder, welche sich mit der Verarbeitung emotionaler Reize beschäftigen (z.B. LeDoux, 1996; Lang et al., 1997).
Damasios Theoire spezifiziert, wie erörtert (Kapitel 2.4.), dass die Entstehung von somatischen Markern, welche als zentrale Repräsentationen in spezifischen Hirnstrukturen der im Gefolge von emotionalen Induktoren ausgelösten physiologischen, körperlichen Veränderungen, fortlaufend im Gehirn niedergelegt werden, wesentliche Grundbausteine für die Entstehung von Bewusstsein, sowie Emotions- und Verhaltensregulation sind. Insbesondere dem physiologischen Arousal wird bei der Genese von somatischen Markern und deren Auswirkungen auf genannte Prozesse eine wichtige Bedeutung zuerkannt, wie dies in den ausführlich erörterten Studien mit dem „Iowa Gambling Task“ beschrieben wurde (siehe Kapitel 2.4.6. und 4.4.2.)
Auch die so genannte „Zwei-Faktoren-Theorie“ Theorie von Schachter & Singer (1962) impliziert die Relevanz körperlichen Arousals. Das emotionale Erleben ist dabei vom Ausmaß der erfahrenen physiologischen Erregung abhängig, wobei letztere eine notwendige Bedingung für das Emotionserleben ist (siehe Kapitel 2.3.).

Das Konzept der Kardiosensibilität stellt, wie in Kapitel 4 beschrieben wurde, nunmehr eine interessante Möglichkeit dar, um zum einen die Beziehung zwischen der Perzeptionsfähigkeit viszeraler Signale und emotionalen und kognitiven Verarbeitungsprozessen sowie der Verhaltensregulation zu erfassen sowie die Bedeutung interindividueller Unterschiede in der Kardiosensibilität für diese Abläufe zu untersuchen.
Ich habe in Kapitel 4 Befunde zusammengefasst (z.B. Barrett et al., 2004; Critchley et al., 2994; Ferguson & Katkin, 1996; Hantas et al.,1982; Jones, 1994; Schandry et al., 1981), die zum einen deutlich gemacht haben, dass Kardiosensibilität relativ ökonomisch anhand von „Herzwahrnehmungstests“ festgestellt werden kann sowie zum anderen, dass kardiosensible Personen (gute Herzwahrnehmer) in den meisten vorliegenden Studien in der Tat ein intensiveres emotionales Erleben auf emotionale Stimuli zeigen als Kardiounsensible (schlechte Herzwahrnehmer). Diese Studien weisen darauf hin, dass es eine enge Beziehung zwischen Kardiosensibilität bzw. Herzwahrnehmungsfähigkeit und dem Ausmaß an empfundener emotionaler Erregung gibt (v.a. Barrett et al., 2004; Wiens et al., 2000).
Was die neuronalen Korrelate der Kardiosensibilität angeht, so demonstrierten aktuelle Befunde zum HEP (siehe Kapitel 4.3.), dass gute Herzwahrnehmer eine ausgeprägtere kortikale Verarbeitung von kardialen Signalen, ein ausgeprägteres HEP über frontalen und zentralen Elektroden zeigen als schlechte Herzwahrnehmer (Schandry et al., 1986; Pollatos & Schandry, 2004). Das HEP reflektiert dabei vor allem Quellen im ACC, Insula, präfrontalen Kortex und sekundären somatosensorischen Kortizes, wobei gute Herzwahrnehmer eine

höhere Dipolstärke in diesen Strukturen aufweisen als schlechte Herzwahrnehmer (Pollatos et al., 2005a).
Wie ich dargelegt habe (Kapitel 2.4. und Kapitel 3.2.), decken sich diese Strukturen zum großen Teil zum einen mit den von Damasio beschriebenen relevanten Repräsentationsstrukturen körperlichen-viszeralen Feedbacks sowie mit aktuellen fMRI-Befunden von Critchley et al. (2004), welche die Aktivierung dieser Hirnstrukturen während der Durchführung eines Herzwahrnehmungstests eruieren konnten. Für die bewusste Wahrnehmung viszeraler Signale scheint besonders der ACC sowie der insuläre Kortex und auch der ventromediale Präfrontalkortex eine wichtige Rolle zu spielen, wobei diese Strukturen eine Verbindung zwischen Viszerozeption und Emotionsverarbeitung ermöglichen (Craig, 2002; Critchley et al., 2004).
Diese Resultate zeigen also auf, dass die Perzeptionsfähigkeit viszeraler Signale, wie des eigenen Herzschlags, eine Basis in der Aktivierung spezifischer Hirnstrukturen, welche auch für die spontane, ständig stattfindende Verarbeitung viszeraler Abläufe relevant sind, besitzt, so dass man davon ausgehen kann, dass, untersucht man Kardiosensibilität in Beziehung zu psychologischen und physiologischen Variablen, die unterschiedlich starke Aktivierung in diesen interozeptiv relevanten Hirnstrukturen eine wesentliche Rolle spielen.
Die genannten Hirnstrukturen sind zudem wichtige Bestandteile des zentralen emotionalen und autonomen Netzwerks *(„central autonomic network", CAN)*, welches von höchster Bedeutung für die Verarbeitung von emotionalen Reizen, für Aufmerksamkeitsprozesse sowie für Verhaltensregulation ist (Kapitel 5; z.B. Damasio 1999, 2000; Craig, 2002; LeDoux, 1996).

Anknüpfend an das hier kurz Zusammengefasste ergeben sich wesentliche weiter führende Fragestellungen, welche die Grundlage der im Folgenden darzustellenden empirischen Studien dieser Arbeit darstellen. Diese lassen sich in ***drei Themenbereiche*** aufgliedern:
Da bei der einzelnen Besprechung der durchgeführten Studien jeweils eine explizite theoretische Einführung stattfindet, soll der Begründungszusammenhang der vorzustellenden Studien an dieser Stelle nur zusammenfassend geschehen. Detaillierte theoretische Einführungen sowie auch die Diskussion zu den einzelnen Studien finden sich bei der Besprechung der jeweiligen Untersuchungen.

Der ***erste Themenbereich***, welcher zwei experimentelle Studien **(Studie 1 und 2)** einschließt, befasst sich mit der Beziehung zwischen ***Kardiosensibilität und zentralnervöser Emotionsverarbeitung anhand ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs)***.

Der ***zweite Themensektor***, zu dem eine Studie **(Studie 3)** vorliegt, legt den Schwerpunkt auf die Relation zwischen ***Kardiosensibilität und non-emotionalen, zentralnervösen Verarbeitungsprozessen (Aufmerksamkeit)***, welche anhand eines visuellen Oddball-Paradigmas untersucht wurden.

Der ***dritte Untersuchungsbereich*** beschäftigte sich mit der Beziehung zwischen ***Kardiosensibilität und offen beobachtbarer Verhaltensregulation***. Hierzu wurden zwei Studien (Studie **4a,b und 5** durchgeführt.

Was den ***ersten Themenkomplex*** angeht, so wurde die Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Emotionsverarbeitung bislang vornehmlich unter dem Gesichtspunkt des subjektiven emotionalen Erlebens von Emotionsreizen untersucht, was sich, wie hier nochmals beschrieben, aus den Grundlagen der James´schen Theorie, sowie der Hypothese von Schachter & Singer als auch Damasios Ausführungen folgern lässt. Erstens lässt obige kurze Zusammenschau an rekapitulierten Befunden, besonders zu den involvierten Hirnstrukturen jedoch vermuten, dass kardiosensible Personen nicht nur auf der Ebene des subjektiven Erlebens, sondern auch auf der Ebene zentralnervöser Verarbeitungsprozesse eine intensivere emotionale Verarbeitung im Vergleich zu Kardiounsensiblen zeigen sollten, welche anhand von ereigniskorrelierten Potentialen untersucht werden kann (siehe Kapitel 5.2.4.). Hierfür eignet sich besonders das Paradigma der visuellen Emotionsinduktion anhand von IAPS-Bildern (Kapitel 5.2.). Zweitens, könnte der Nachweis einer intensiveren Emotionsverarbeitung bei guten Herzwahrnehmern eine „Verbindung“ schaffen zwischen dem bei diesen Personen nachweisbaren intensiveren subjektiven Emotionserleben und der diesen eigenen besseren Herzwahrnehmungsfähigkeit. Um diese höher-geordneten Emotionsverarbeitungsprozesse zu untersuchen, bietet sich die Evaluation von visuellen LPPs (P300, Positive Slow Wave), welche nachweislich eine ausgeprägtere Amplitude auf emotional erregende Stimuli zeigen (siehe Kapitel 5.2.4.1.).
Zudem wurde in Kapitel 5.2.4.2. verdeutlicht, dass emotionale Reize nicht nur diese anhaltenden, höher-geordneten Prozessierungsabläufe (Latenzbereich der LPPs) beeinflussen, sondern dass emotionale visuelle Stimuli bereits sehr schnell und früh, verstärkt, sensorisch bevorzugt prozessiert werden (siehe Kapitel 5.2.4.2.). Diese verstärkte sensorische, intensivere Verarbeitung, welche anhand der „EPN“ untersucht werden kann, scheint dabei die weiterführende, höher-geordnete Emotionsverarbeitung zu fördern. Dieser Prozess der frühen, sensorische Verarbeitung von Emotionsreizen ist dabei abhängig vom Arousalniveau der gezeigten Bilder, sowie vom Arousalniveau der Personen (z.B. Sabatinelli et al., 2005). Da gute Herzwahrnehmer auf emotionale Bildstimuli ein höheres subjektives Erregungsniveau erleben, ist zu vermuten, dass auch dieser schnell ablaufende, frühe

Prozess der sensorischen Emotionsverarbeitung und affektiven Diskriminierung bei guten Herzwahrnehmern ausgeprägter ist. Damasio expliziert in seiner Theorie zudem die Verstärkung von Aufmerksamkeit auf spezifische Umweltobjekte, welche aufgrund ihrer Relevanz bzgl. somatischer Marker im Proto- und Kern-Selbst stärker fokussiert werden (siehe Kapitel 2.4.5., S. 38). Diesbezüglich werde ich weitere Anhaltspunkte bei der detaillierten Besprechung dieser Fragestellung in Kapitel 8 erörtern, welche u.a. auf Damasios Theorie sowie die Plastizität neuronaler interozeptiver und emotionaler Netzwerke Bezug nehmen.

Bezüglich des ***zweiten Themenbereichs***, also der dritten Studie, stellte sich die Frage inwieweit Kardiosensibilität auch mit „non-emotionalen" Informationsverarbeitungs- bzw. Aufmerksamkeitsprozessen assoziiert ist. Diesbezüglich bespreche ich bei der Einführung zu dieser Studie in Kapitel 9 drei Hauptargumente, welche eine Assoziation zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und selektiven Aufmerksamkeitsprozessen nahe legen.

Was den ***dritten Untersuchungsbereich*** angeht, so interessierte besonders die Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Verhaltensregulation. Die Beziehung zwischen somatischen Markern und Verhaltensregulation wird besonders in Damasios Emotionsmodell hervorgehoben (Kapitel 2.4.), in dem ausführlich beschrieben wird, dass das Feedback körperlicher Reaktionen und viszeraler Erregung als somatische Marker, nicht nur Gefühlszustände, die das subjektive Emotionserleben einfärben (Damasio, 1994, 2000; Bechara, Damasio & Damasio, 2000) beeinflussen, sondern zudem, dass das somatische Feedback zum Gehirn ganz wesentlich das offen beobachtbare Verhalten beeinflusst (Damasio, 1994; Bechara et al., 1998; Bechara, 2004). Die Bedeutung der viszeralen Wahrnehmungsfähigkeit auf die Verhaltensregulation wird in zwei Studien untersucht werden, welche behaviorale Regulationsprozesse der psychischen und physischen Belastung examinierten.

Ich möchte nun zur detaillierten Besprechung der theoretischen Einleitung, Hypothesen Methode und Ergebnisdarstellung sowie Diskussion der einzelnen Studien überleiten, welche die drei besprochenen Themenbereiche beinhalten. Die Darstellung jeder durchgeführten Studie wurde dabei formal so gestaltet, dass sie im Sinne einer jeweils eigenständigen Abhandlung zu lesen ist. Die Darlegungen der Studien besitzen dabei jeweils einen ausführlichen Einführungsabschnitt und Diskussionsteil. Nach den jeweiligen Besprechungen der durchgeführten Studien findet dann im letzten Kapitel der Arbeit eine kurze, zusammenfassende Synthese und Diskussion der Studienergebnisse sowie ein Ausblick auf weiterführende Fragestellungen und Forschungsarbeit statt.

7. Studie 1: Kardiosensibilität, subjektives Emotionserleben und die Verarbeitung emotionaler Stimuli im späten EKP- Latenzbereich (P300 und Positive Slow Wave)

7.1. Einleitung und Hypothesen

Ich habe in Kapitel 6 bei der zusammenfassenden Herleitung der zu untersuchenden Themenbereiche der Arbeit auf die theoretischen Hauptgrundlagen der auszuführenden Fragestellungen und Hypothesen verwiesen.
Studie 1 und 2, welche den ersten Themenbereich der empirischen Untersuchungen umfassen, beschäftigen sich im Folgenden mit der zentralnervösen Verarbeitung emotionaler Reize anhand ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) des EEG. Dabei untersucht die hier zu Beginn vorgestellte Studie 1 die Beziehung zwischen Kardiosensibilität und der Emotionsverarbeitung im späten Latenzbereich (LPPs: P300 und Positive Sow Wave).

Die Herleitung der spezifischen Hypothesen für diese Studie basiert auf den theoretischen Modellen von W. James, Schachter & Singer sowie A. Damasio (siehe Kapitel 2.)
Die James-Lange Theorie der Emotion geht dabei davon aus, dass das emotionale Erleben als die Wahrnehmung körperlicher Reaktionen im Gefolge der Wahrnehmung relevanter Umweltreize definiert werden kann (James, 1884). Schachter & Singer (1962) betonen ebenfalls die Anwesenheit und die Wahrnehmung des körperlichen Arousals, damit Emotionen erlebt werden können.
Der moderne Nachfolger dieser theoretischen Modelle stellt die Emotionstheorie von A. Damasio dar (Damasio, 1994, 2000; siehe Kapitel 2.4). Auch bei ihm wird das Feedback aus der viszeralen und somatosensorischen Körperperipherie als ganz wesentlich zur Entstehung von Emotionalität betrachtet (Damasio, 1994, 2000). Damasio geht davon aus, dass automatisch generierte körperliche Arousalreaktionen, die durch interne oder externe Ereignisse induziert werden, zum Gehirn zurückgemeldet werden, und somit motivationales Verhalten steuern (Damasio, 1994, 1998, 2000), die Emotionsverarbeitung beeinflussen (Damasio, 1994; Blair & Cipolotti, 2000) sowie Entscheidungsprozesse und Verhalten wesentlich regulieren (Bechara et al., 1998; Bechara, 2004; Blair & Cippolotti, 2000; Damasio, 1994, 1999, 2000).
Eine wesentliche Schlussfolgerung aus der James-Lange Theorie als auch aus Damasio´s Modell ist, dass die Fähigkeit einer Person viszerale Signale aus der Körperperipherie wahrzunehmen, zum einen das subjektive Erleben von Emotionen und konsequenterweise auch die emotionale Verarbeitung emotionaler Stimuli beeinflussen sollte.

Es gibt eine ganze Reihe von Belegen für eine solche positive Assoziation zwischen dem Ausmaß der viszeralen Wahrnehmungsfähigkeit, zumeist gemessen anhand der Herzwahrnehmungsfähigkeit von Personen, und dem subjektiven Erleben von Emotionen (z.B. Barrett et al., 2004; Cameron, 2001; Critchley et al., 2004; Ferguson & Katkin, 1996; Hantas et al., 1982; Jones, 1994; Montoya & Schandry, 1994; Schandry, 1981; Wiens et al., 2000; Wiens & Palmer, 2001; siehe Kapitel 4). Dabei wurde demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer emotional erregende Bilder oder Filmstimuli deutlich erregender, unabhängig von deren Valenz, erlebten als schlechte Herzwahrnehmer. Besonders eine neuere Studie von Barrett et al. (2004) konnte demonstrieren und bisherige Studien bestätigen, dass es v.a. der Faktor „Arousal“ ist, welcher Unterschiede zwischen beiden Gruppen kennzeichnet. Die Autoren eruierten einen stärkeren „Arousal-Fokus“ bei guten Herwahrnehmern (siehe Kapitel 4.4.1.). Bisherige Studien legen somit sehr deutlich nahe, dass eine gute Herzwahrnehmungsfähigkeit mit einem ausgeprägteren subjektiven Emotionserleben, sprich mit einem höheren, subjektiv erlebtem Arousal, einhergeht. Befunde von Lane, Chuan & Dolan (1999) sowie von Heims et al. (2000) und Critchley et al. (2002) verdeutlichen ebenso, dass die Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern vornehmlich über den Erregungsaspekt, also dem Arousal, vermittelt sein könnten.
Einige Studien (Wiens et al., 2000; siehe Kapitel 4.4.1.) hierzu zeigten zudem, dass sich die beiden Gruppen nicht signifikant in ihrer peripher-physiologischen Reaktivität auf die Stimuli unterschieden, was darauf hinweist, dass sich eine erhöhte Kardiosensibilität nicht durch ein intensiveres v.a. kardiovaskuläres Arousal (und eine dadurch bedingte bessere Wahrnehmbarkeit kardialer Reize) sowie dadurch gefördertes, intensiveres Emotionserleben (z.B. Wiens et al., 2000; siehe Kapitel 4.4.), sondern durch eine bessere Reizweiterleitung und Reizverarbeitung viszeraler, kardialer Signale im Gehirn auszeichnet (z.B. Wiens et al., 2000).

Dass letzteres in der Tat der Fall ist, demonstrierten aktuelle Studien, welche zum ersten zeigen konnten, dass gute Herzwahrnehmer im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern eine intensivere kortikale Verarbeitung kardialer Signale, erkennbar am „heartbeat evoked potential“ (HEP) (siehe Kapitel 4.3.) besitzen (Schandry et al., 1986; Pollatos & Schandry, 2004). Gute Herzwahrnehmer zeigen in den Quellen des HEP (v.a. ACC, Insula, präfrontale Hirnregionen, somatosensorischer Kortex) eine deutlich ausgeprägtere Dipol-Stärke als schlechte Herzwahrnehmer (Pollatos et al., 2005a). Diese Hirnstrukturen decken sich mit den von Critchley et al. (2004) eruierten Strukturen, welche aktiviert werden, wenn Personen sich auf ihren eigenen Herzschlag konzentrierten. Alle genannten Strukturen bilden wesentliche Schaltstellen für die Verarbeitung interozeptiver Signale (siehe Kapitel 3). Wie

ich in Kapitel 3 ausführlich erörtert habe, stellen v.a. der ACC sowie die Insula, aber auch präfrontale Kortexregionen wichtige Kandidaten für die Verbindung zwischen der interozeptiven Signalverarbeitung und Emotionsverarbeitung sowie dem bewussten Wahrnehmen von viszeralen Reizen dar (z.B. Craig, 2002; Critchley et al., 2004). Alle diese Strukturen sind zudem auch Bestandteil des zentralen Netzwerks im Gehirn, welches für Emotionsverarbeitung und vegetative Regulation zuständig ist (siehe Kapitel 3 und 5.1.; Craig, 2002; Damasio, 1994, 1999, 2000; LeDoux, 1996). Hierfür sprechen auch die Ergebnisse von Damasio et al. (2000), welche eine Aktivierung des somatosensorischen Kortex, des Cingulums, der Insula sowie von Hirnstammkernen während des Erlebens von selbst-generierten Emotionen nachweisen konnten.

Dies lässt also vermuten, dass kardiosensible Personen nicht nur auf der Ebene ihres subjektiven emotionalen Erlebens, sondern auch auf zentralnervöser Ebene eine intensivere Verarbeitung emotional relevanter Reize zeigen sollten. Letzteres stellt somit eine „Verbindung“ her zwischen der individuellen Ausprägung von Kardiosensibilität und dem subjektiven emotionalen Erleben.
Ein indirekter Anhaltspunkt für diese Hypothese kommt aus der viel zitierten Studie von Critchley et al. (2004). Neben dem Resultat, dass die morphologische Größe des rechten insulären Kortex die Genauigkeit der Herzwahrnehmung vorhersagte, zeigten die Autoren auch, dass das Ausmaß an negativem, emotionalem Erleben positiv mit der Interozeptionsgenauigkeit korreliert war. Dabei gehen Critchley et al. (2004) davon aus, dass der rechte insuläre Kortex ein Substrat für emotionales Erleben darstellt und viszerale Sensitivität bzw. Bewusstheit („visceral awareness“) und subjektives emotionales Erleben verbindet. Eine ähnliche Studie von Pollatos et al. (2004b) konnte zudem für den ACC eine wichtige Rolle für die Verbindung zwischen Kardiosensibilität und subjektivem Emotionserleben nachweisen.

Damit ist folgendes zu schlussfolgern:
Kardiosensible Personen sollten nicht nur ein intensiveres emotionales Erleben während emotionaler Stimulation zeigen, sondern zudem emotionale Stimuli auf zentralnervöser, kortikaler Ebene intensiver verarbeiten.

Das Ziel der vorliegenden Studie 1 war es, die Beziehung zwischen Kardiosensibilität, der Intensität des emotionalen Erlebens, sowie der Emotionsverarbeitung auf zentralnervöser Ebene zu untersuchen.

Zur Untersuchung der Prozessierung emotionaler Stimuli wurden visuelle ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) auf emotionale Bilder (IAPS) herangezogen.

Um zentralnervöse Emotionsverarbeitungsprozesse zu untersuchen, haben sich, wie in Kapitel 5.2. zusammengefasst, vornehmlich Paradigmen zur emotionalen Bildpräsentation als hilfreich erwiesen (z.B. Cacioppo & Gardner, 1999; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002; Palomba et al., 1997; Waldstein et al., 2000). Wie in Kapitel 5.2.4. beschrieben wurde, induzieren emotional erregende Bilder sowohl eine ausgeprägtere P300 als auch „Positive Slow Wave“ im Vergleich zu neutralen Bildern (z.B. Cacioppo et al., 1994; Carretie et al., 1997; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2001, 2002; Palomba et al., 1997; Schupp et al., 2000; Waldstein et al., 2000). Dieser Effekt ist Arousal-bezogen, d.h. die Ausprägung der LPPs ist korreliert mit dem subjektiv empfundenen Ausmaß an Arousal der entsprechenden emotionalen Bilder (Lang et al., 1997, 1998; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002; Schupp et al., 2000).

Zur Untersuchung des subjektiv empfundenen Ausmaßes an Emotionalität (= Arousal) sowie dem Grad an empfundener Positivität bzw. Negativität (= Valenz) während emotionaler Stimulation, wird vornehmlich der „Self-Assessment-Manikin“ (SAM) von Lang (Lang, 1980; Bradley & Lang, 1994) herangezogen (siehe Kapitel 5.2.1.)

Diese Effekte werden theoretisch mit dem Konzept der „motivated attention“ in Verbindung gebracht (Kapitel 5.2.1.), das davon ausgeht, dass motivational relevante Stimuli eine „natürliche Aufmerksamkeitsallokation“ bewirken, so dass emotional erregende Stimuli bevorzugt und anhaltend vertieft verarbeitet werden.

Des Weiteren reflektiert die P300 (Kapitel 5.2.3.1. und 5.2.4.1.) einen Index der Verarbeitungskapazität, Aufmerksamkeit sowie Aufgabenschwierigkeit (z.B. Herrmann & Knight, 2001; Polich & Kok; Kok, 1997). Zudem wird die P300 sowie die Slow Wave durch den intrinsischen Erregungszustand (Arousal) der Personen positiv beeinflusst (Polich & Kok, 1995).

Die erhöhte P300- und Slow Wave- Amplitude auf emotional erregende Bilder reflektieren eine anhaltende und höher-geordnete Stimulusverarbeitung, und indizieren eine anhaltende Aufmerksamkeitsallokation auf motivational bedeutsame emotionale Stimuli (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002).

Die Untersuchung des P300- und Slow Wave-Latenzbereichs bietet sich daher für die vorliegende Fragestellung an, da in Studie 1 höher-geordnete Evaluations- und Prozessierungsabläufe emotionaler Reize im Vordergrund stehen und die Verbindung zwischen emotionalem Erleben, Emotionsverarbeitung und Herzwahrnehmungsfähigkeit untersucht werden soll. Emotionales Erleben findet auf einer bewussten Eben statt (es geht um bewusste „Gefühle“ – z.B. Damasio, 1994, 1999, 2000); genauso wird davon

ausgegangen, dass LPPs annähernd bewusste, höher geordnete evaluative Prozesse wieder spiegeln (Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2001; Lang et al., 1997). So wurden sehr hohe Korrelationen zwischen dem emotionalen Erleben des Arousals von Bildern und der Ausprägung der LPPs eruiert (Cuthbert et al., 2000, Keil et al., 2001).

Diese Überlegungen stellen zusammenfassend ***zwei Fragestellungen*** in den Vordergrund:

1. **Können Ergebnisse repliziert werden, die demonstrierten, dass gute Herzwahrnehmer ein intensiveres subjektives, emotionales Erleben auf emotionale Bildreize aufweisen als schlechte Herzwahrnehmer?**

2. **Demonstrieren gute Herzwahrnehmer eine intensivere, höher-geordnete Verarbeitung emotionalen Reizmaterials als schlechte Herzwahrnehmer? Zeigen sich diese emotionsspezifischen Gruppenunterschiede im Slow Wave- als auch im P300-Latenzbereich visuell evozierter Potentiale (VEPs)?**

Hypothesen:
Hierauf aufbauend lassen sich folgende Hypothesen für die erste EKP-Studie formulieren:

1. ***Gute Herzwahrnehmer zeigen ein intensiveres Emotionserleben (= höhere Erregung/Arousal) im SAM-Rating bei Wahrnehmung emotionaler Bilder als schlechte Herzwahrnehmer***
   1.1. Es existiert ein signifikanter, positiver Zusammenhang (Korrelation) zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und der Intensität des subjektiven-emotionalen Erlebens (Arousalskala des SAM)

2. ***Gute Herzwahrnehmer demonstrieren eine ausgeprägtere Positivierung der P300- und Slow Wave-Amplituden in Reaktion auf emotionale Bilder als schlechte Herzwahrnehmer.***
   2.1. Es existiert eine signifikanter, positiver Zusammenhang (Korrelation) zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und P300- sowie Slow Wave-Amplituden

Zuletzt ist darauf hinzuweisen, dass diese Fragestellung anhand eines sehr ähnlichen Vorgehens bereits kürzlich von Pollatos, Kirsch & Schandry (2005b) erstmals untersucht wurde. In dieser Studie wurde bei Probanden anhand des Herzwahrnehmungstests von Schandry (1981) der Herzwahrnehmungsscore der Probanden bestimmt und die

Studienteilnehmer wurden in gute und schlechte Herzwahrnehmer eingeteilt. Allen Probanden wurden je 20 emotional aversive, 20 emotional positive und 20 neutrale IAPS-Bilder gezeigt und das EEG abgeleitet. Während des Prozederes wurde das SAM-Rating nach jedem gezeigten Bild per Ankreuzen der SAM (Arousal und Valenz) erfasst. Die Ergebnisse der Studie zeigten zum einen, dass gute Herzwahrnehmer die emotionalen Bilder, jedoch nicht die neutralen Bilder, als deutlich erregender erlebten und ebenso eine signifikant ausgeprägtere Slow Wave-Amplitude auf die emotional erregenden Bilder zeigten als schlechte Herzwahrnehmer. Was den P300-Latenzbereich angeht, so zeigte sich allerdings kein emotionsspezifischer Gruppenunterschied: Gute Herzwahrnehmer reagierten auf alle IAPS-Bilder, als auch auf die neutralen Bilder, mit einer erhöhten P300-Amplitude im Vergleich zu den schlechten Herzwahrnehmern.
Im Rahmen der Emotionstheorien von W. James und A. Damasio und obigen Ausführungen hätte man erwarten können, dass sich die beiden Herzwahrnehmungsgruppen auch in der P300-Amplitude auf spezifisches, emotionales Bildmaterial unterscheiden sollten. Anders ausgedrückt, könnte man auch sagen, man würde eine verstärkte Aufmerksamkeitsallokation, auch signalisiert durch eine verstärkte P300-Amplitude, auf spezifisch emotional erregende Stimuli und nicht auch auf neutrale Bilder bei den guten Herzwahrnehmern erwarten.
Zudem ist nicht ganz einsichtig, weshalb in der Studie von Pollatos et al. (2005b) zwar gezeigt werden konnte, dass gute Herzwahrnehmer eine ausgeprägtere Slow Wave Komponente auf spezifisch emotional erregende Bilder zeigten als schlechte Herzwahrnehmer, beide Gruppen sich aber nicht emotionsspezifisch im P300-Latenzbereich voneinander unterschieden, da der P300- und der Slow Wave Latenzbereich ganz ähnliche Verarbeitungsprozesse abdeckt und beide den gleichen Einflüssen unterliegen (z.B. Cuthbert et al., 2000; Moratti et al., 2003; Keil et al., 2002; Moratti et al., 2003; Palomba et al., 1997; Kok, 1997; Schupp et al., 2000; Polich & Kok, 1995).

Ziel der vorliegenden ersten EKP-Studie war es somit die Befunde für den Slow Wave Bereich und das subjektiv-emotionale Empfinden in der Studie von Pollatos zu replizieren und zum anderen das Präsentationsdesign so zu verbessern, um zu erwartende emotionsspezifische Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern im P300 Latenzbereich zu überprüfen.
Die vorliegende Studie versteht sich somit als Replikation und Erweiterung der Ergebnisse von Pollatos et al. (2005b), und versuchte anhand eines sehr ähnlichen, jedoch in folgenden Punkten modifizierten Vorgehens die vorgestellten Fragestellungen und Hypothesen zu überprüfen:

1.) Ein erster Unterschied zwischen den beiden Studien besteht darin, dass in der Untersuchung von Pollatos et al. (2005b) eine andere zeitliche Abfolge der Bildpräsentation stattfand. Wie in der vorliegenden Untersuchung, wurde auch in der Untersuchung von Pollatos ein SAM-Rating durchgeführt, welches zur Quantifizierung des subjektiven Emotionsempfindens eingesetzt wurde. In der Untersuchung von Pollatos wurde jedes IAPS-Bild für 6 Sekunden dargeboten und nach jedem Bild, also während das EEG online aufgezeichnet wurde, das SAM-Rating durchgeführt, welches von den Probanden verlangte, jedes Bild einzeln nach Arousal und Valenz anhand eines Papier-Bleistift-Prozederes zu bewerten. Um Einflüsse, die durch diese Unterbrechung des Bildpräsentationsdesigns auf die EEG-Aufzeichnung entstehen könnten (z.B. der SAM verlangt eine konkrete Aufgabe, nämlich die Bewertung des jeweils gezeigten Bildes und das Ankreuzen von Skalen, wobei dies den üblichen, geläufigen Ablauf des visuellen Bildpräsentationsdesigns unterbricht) zu minimieren, wurde in der vorliegenden Untersuchung das SAM-Rating am Ende der visuellen Emotionsstimulation und der EEG-Aufzeichnung vorgenommen. Auch in der vorliegenden Studie betrachteten die Probanden die IAPS-Bilder ebenfalls jeweils 6 Sekunden lang während das EEG aufgezeichnet wurde. Jedoch wurde das SAM-Rating im Anschluss an die EEG-Aufzeichnung erhoben, indem die gezeigten Bilder nochmals zur Erhebung des SAM präsentiert wurden, wie dies in der Literatur üblicher ist (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2001; Lang et al., 1997). Das SAM-Rating wurde hier zudem nicht als Papier-Bleistift-Version sondern als computerisierte Fassung durchgeführt. Die Probanden konnten dabei direkt am Bildschirm mit der Maus die einzelnen IAPS-Bilder nach Valenz und Arousal bewerten.

2.) Ein zweiter Unterschied zwischen beiden Untersuchungen stellt die Tatsache dar, dass in der Studie von Pollatos insgesamt weniger IAPS-Bilder (insgesamt 60 Bilder: 20 positive, 20 negative, 20 neutrale Bilder) als in der vorliegenden Studie präsentiert wurden. In der vorliegenden Studie wurden dagegen insgesamt 120 IAPS Bilder (40 positive, 40 negative und 40 neutrale Bilder) präsentiert, was das Signal-Rausch-Verhältnis der evozierten Potentiale und die Stabilität der EKPs im EEG erhöht (z.B. Zschocke, 2002).

Durch diese Maßnahmen wurde versucht die Effekte der LPPs, v.a. der P300 zu verbessern und Gruppenunterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern deutlicher zu erfassen.

7.2. Methode und Experimenteller Ablauf

Versuchpersonen

Es wurden 37 (19 männlich, 18 weiblich) rechtshändige Probanden im Alter von 20 bis 43 Jahren (M = 24.8, SD = 6.1) untersucht. Die Probanden waren Studenten der LMU München, und erhielten für ihre Teilnahme an dem Experiment eine Bestätigung für Versuchspersonenstunden. Alle Teilnehmer wiesen keine kardialen Erkrankungen auf und waren zum Untersuchungszeitpunkt körperlich und psychisch ohne Befund.

Experimenteller Ablauf

Bei Ankunft im Labor wurden die Teilnehmer über den Ablauf des Experiments informiert und gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme.
Zuerst wurde der Herzwahrnehmungstest nach Schandry durchgeführt (Beschreibung siehe unten).
Hierzu wurde jeder Proband in eine lärmgeschützte Untersuchungskabine geführt und bekam nicht-polarisierbare Ag/AgCl Elektroden zur EKG-Aufzeichnung angelegt. Das EKG wurde nach Einthoven II anhand des Aufzeichnungs- und Analysesystems MP150, Version 3.7.2., und der zugehörigen Software AcqKnowledge (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara) aufgezeichnet. Die Probanden wurden gebeten sich vor Beginn der Untersuchung in einem bequemen Sessel 5 Minuten lang zu entspannen und während der Untersuchungen ruhig und still zu sitzen.
Nach der Beendigung des Herzwahrnehmungstests wurden die Probanden dann jeweils in die EEG-Untersuchungskabine geleitet. Dort nahmen sie in einem bequemen Sessel Platz und es wurden EEG- und EOG-Elektroden geklebt.
Vor dem Beginn des eigentlichen Experiments wurden den Probanden jeweils noch 4 neutrale Testbilder des IAPS, welche später nicht im Experiment präsentiert wurden, gezeigt, damit die Teilnehmer sich an die Präsentationsbedingungen gewöhnen konnten. Im Anschluss daran verließ der Versuchsleiter die Kabine und die Probanden betrachteten die IAPS-Bilder, während das EEG aufgezeichnet wurde.
Nach Abschluss der Bildpräsentation und der EEG-Aufzeichnung wuschen sich die Probanden die Haare und durften im Anschluss daran die bereits gezeigten Bilder anhand einer Computer-Fassung des „Self-Assessment-Manikin“ (SAM) bewerten. Den Probanden wurden alle während der EEG-Aufzeichnung präsentierten IAPS-Bilder in derselben Reihenfolge nochmals gezeigt.

Die Probanden saßen vor dem Computerbildschirm und nach Start des Programms erschien jeweils ein IAPS-Bild für 2 Sekunden, worauf sodann die Valenzskala des SAM erschien und nach Bearbeitung derselben die Arousalskala des SAM eingeblendet wurde. Die Probanden konnten jedes Bild nach Valenz (von sehr positiv bis sehr negativ) und nach Arousal (von sehr erregend bis gar nicht erregend) einschätzen, indem sie mit der Maus am Bildschirm die entsprechende Skala des SAM anklickten. Die Antworten wurden automatisch aufgezeichnet, in einzelnen Dateien für jede Versuchsperson abgelegt und konnten zur Analyse zuletzt ausgelesen werden.

Herzwahrnehmungstest

Der Herzwahrnehmungstest wurde nach Schandry (1981) durchgeführt.
Während des Herzwahrnehmungstests sollten die Probanden sich in drei Intervallen, welche durch einen Ton signalisiert wurden, auf ihre eigenen Herzschläge konzentrieren und diese still mitzählen. Es wurde ihnen mitgeteilt, dass sie ihren Puls nicht tasten durften oder andere Manipulationen zur besseren Wahrnehmung ihres Pulses durchführen durften, sondern entspannt zu sitzen und ihren Herzschlag wahrzunehmen. Es wurde ihnen zudem mitgeteilt, dass selbst wenn eine Wahrnehmung des Herzschlags nicht gut gelingen sollte, sie dennoch versuchen sollten, so gut es ginge, ihren Puls mitzuzählen.
Beginn und Ende eines jeden Intervalls wurde anhand eines sanften Tones signalisiert. Am Ende jeden Intervalls teilten die Probanden dem Versuchsleiter, der in der Nähe des Probanden saß, die Anzahl der mitgezählten Herzschläge mit. Die Probanden waren nicht über die Dauer der einzelnen Intervalle informiert. Währenddessen wurde das EKG aufgezeichnet und der Versuchsleiter entnahm daraus die Anzahl der tatsächlich auftretenden Herzschläge (R-Zacken) der Probanden.
Die Herzwahrnehmungsaufgabe bestand aus drei Intervallen, während derer die Probanden ihren Herzschlag wahrnehmen sollten. Die Intervalle dauerten jeweils 25, 35 und 45 Sekunden, wobei zwischen den Intervallen jeweils für 30 Sekunden kein Herzschlag mitgezählt werden sollte.
Der Grad der Herzwahrnehmungsfähigkeit wurde anhand eines Herzwahrnehmungsscores mittels folgender Formel quantifiziert:

Herzwahrnehmungsscore = 1/3 $\sum$ (1 – ($|$Anzahl tatsächlicher Herzschläge – Anzahl mitgezählter Herzschläge$|$) / Anzahl tatsächlicher Herzschläge)

Der maximale Score von 1 kennzeichnet eine absolut korrekte Herzschlagwahrnehmung.

Die Probanden wurden zur weiteren Analyse der Daten anhand ihres Herzwahrnehmungsscores in eine Gruppe guter Herzwahrnehmer und eine Gruppe schlechter Herzwahrnehmer aufgeteilt. In Anlehnung an Montoya et al. (1993) sowie Weitkunat & Schandry (1995) und Pollatos, Kirsch & Schandry (2005b) wurden Probanden mit einem Herzwahrnehmungsscore größer 0.85 der Gruppe der guten (N = 17) und Probanden mit einem Score kleiner 0.85 der Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer (N = 20) zugewiesen. Der Median des Herzwahrnehmungsscores der gesamten Probandenstichprobe betrug 0.80, so dass die geschilderte Aufteilung der Gruppen gerechtfertigt erschien.

Stimulusmaterial und Design

Es wurden 120 Bilder aus dem „International Affective Picture System“ (IAPS) (Center for the Study of Emotion and Attention, 1999), davon 40 positive, 40 neutrale und 40 negative Bilder ausgewählt. Die Bilder wurden gemäß der normativen Ratings des IAPS (Lang, Bradley & Cuthbert, 1999) selektiert und variierten sowohl was Valenz (angenehm-unangenehm) und Arousal (ruhig-erregend) anging.

Die positiven, neutralen und negativen Bilder unterschieden sich signifikant in ihrer Valenz (positive: M = 6.66; neutrale: M = 4.94; negative: 2.17; $F (3, 843) = 47.59$, $p < 0.001$).

Das Arousal betreffend, so waren die Bilder so ausgesucht, dass sich positive und negative Bilder nicht in ihrem Arousal unterschieden (Post-Hoc LSD $p > 0,05$), während sich natürlich die emotionalen Bilder im Arousal signifikant und deutlich von den neutralen Bildern unterschieden ($F (3, 844) = 101.07$, $p < 0.001$). Die neutralen Bilder (M = 2.65) waren dabei signifikant weniger erregend ($p < 0.001$) als sowohl die positiven (M = 6.30) als auch die negativen (M = 6.48).

Positive Bilder zeigten erotische und sexuelle Szenen sowie glückliche Familienszenen, neutrale Bilder beinhalteten Haushaltsobjekte und neutrale Gesichter, und die negativen Bilder zeigten bedrohliche und Angriffsszenen.

Die Bildabfolge wurde anhand eines Bildpräsentationsprogramms („Presentation“) so programmiert, dass die Bilder in pseudo-randomisierter Form gezeigt werden konnten.

Die Bildpräsentationsdauer eines jeden Bildes betrug 6 Sekunden. Das Intertrial-Intervall variierte zwischen 6,000 und 12,000 ms. Die Bilder wurden auf einem 19-inch Bildschirm präsentiert (refresh rate: 85 Hz). Der Bildschirm war ca. 1.5 Meter vor dem Probanden platziert, so dass der visuelle Winkel horizontal 15° Grad und vertikal 11° Grad betrug.

EEG-Datenerhebung

Die EEG-Aktivität wurde kontinuierlich an 61 Kanälen plus HEOG (horizontales EOG) und VEOG (vertikales EOG) mit einem DC Verstärker im AC Modus (Bandpass: 0.01 – 100 Hz; SYNAMPS, Neuroscan) aufgezeichnet. Die Digitalisierungsrate betrug 500 Hz. Die Elektrodenpositionen wurden anhand der verwendeten Elektrodenkappe (Easy Cap, Falk Minow Services) bestimmt (erweitertes 10-20er System). Cz war online Referenz, die Ground-Elektrode wurde an der linken Wange platziert.
Die Impedanzen wurden unterhalb 5 kΩ gehalten. Das EEG wurde offline nach verbundenen Mastoiden re-referenziert.

7.3. Datenreduktion und Analyse

Analyse des SAM-Ratings

Es wurden die Mittelwerte der Valenz- und der Arousalratings getrennt für jede Emotionskategorie berechnet. Zunächst wurden sogenannte „Ausreißer“ analysiert, sprich, es wurden Personen, welche mehr als zwei Standardabweichungen vom Gesamtmittelwert in ihren Valenz- und Arousalwerten abwichen aus der Stichprobe entfernt. Dies traf auf keinen der Probanden zu.
Zur statistischen Testung von Haupt- und Interaktionseffekten der Valenz- und Arousal-Ratings wurde eine Messwiederholungs-ANOVA mit dem Innersubjektfaktor „Emotionsinhalt“ (3 Stufen: positiv, neutral, negativ) und dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“ (2 Stufen: gute vs. Schlechte Herzwahrnehmer) durchgeführt. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme werden die unkorrigierten F-Werte zusammen mit den nach Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet. Zur Evaluation signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte ($p < 0.05$) wurden Post-hoc Testungen nach Scheffé herangezogen.
Zur korrelativen Überprüfung der Hypothesen wurden non-parametrische Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den SAM-Rating berechnet.

EEG-Analyse

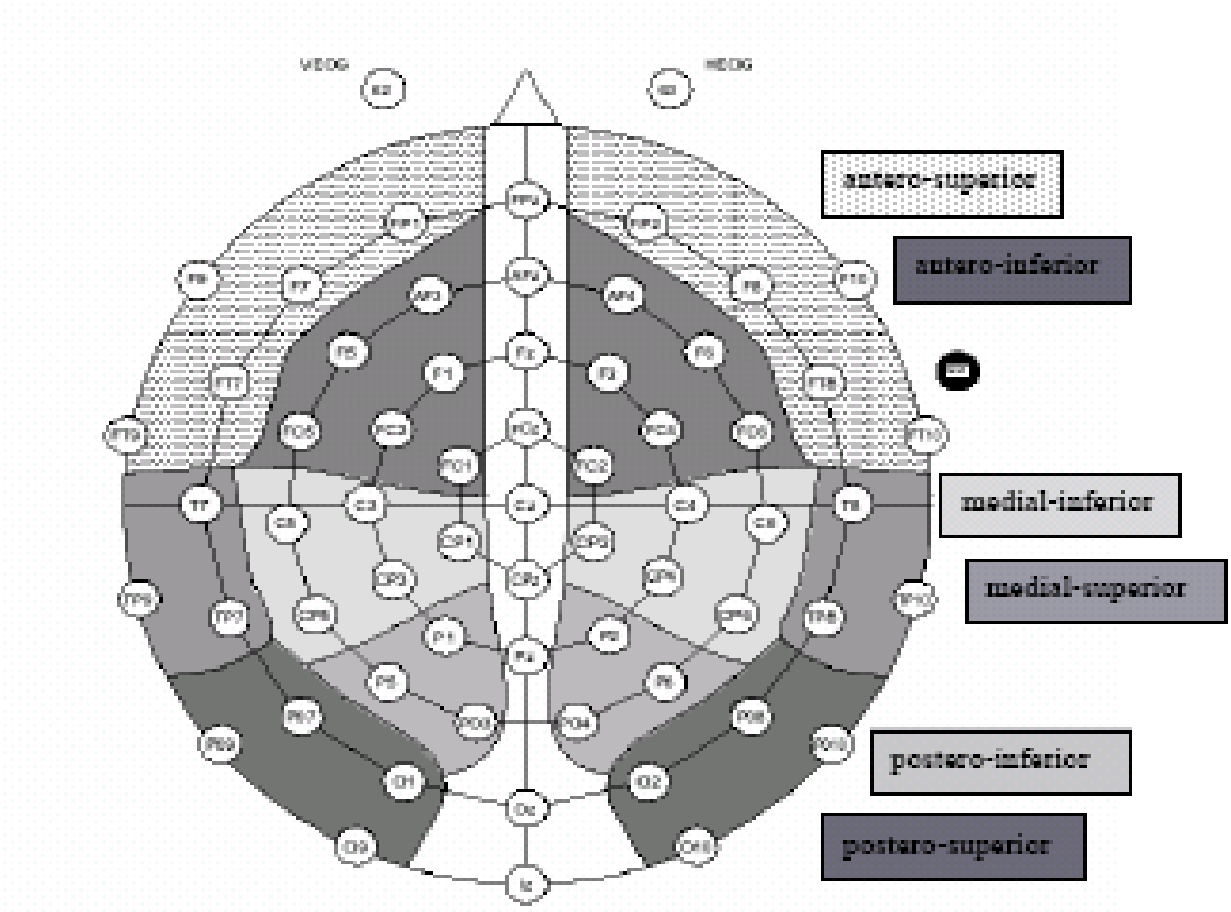
Das aufgezeichnete EEG wurde nach EOG, Muskelaktivität und anderen Quellen elektrophysiologischer Artefakte überprüft. Es wurde eine EOG-Korrektur nach Augenartefakten mittels Vision Analyzer, der EEG Auswertungssoftware (Brain Vision Analyzer, Brain Products GmbH, Germany), anhand des von Gratton, Coles & Donchin

(1983) entwickelten Korrekturalgorithmus durchgeführt. Zudem wurden Intervalle, welche eine Aktivität von über oder unter 80 µV beinhalteten von der weiteren EEG-Analyse ausgeschlossen. Das EEG wurde anhand eines Bandpass-Filers von 0.01 – 40 Hz offline gefiltert.

Nach den gesetzten Bildtriggern wurden sodann Epochen von 1100 ms (100 ms Prä- und 1000 ms Post-Stimulusonset) für jeden Stimulus gebildet, wobei eine Baseline von 100 ms Prä-Stimulusonset segmentiert wurde.

Für die statistische Analyse der Daten wurden die mittleren Spannungen (mean amplitude) der gemittelten VEPs für insgesamt 12 Elektrodenregionen „gepoolt". Dieses „Pooling" lässt sowohl eine Aussage über Lateralität (links/rechts), sowie anteriore, mediale und posteriore Elektrodenregionen, sowie auch inferiore und superiore Elektrodenbereiche zu. Dies geschah in Anlehnung an eine Studie von Keil et al. (2002), welcher ein ähnliches Verfahren zugrunde liegt. Abbildung 7.1. zeigt die Einteilung der 12 Elektrodenpools, welche in die statistische Analyse eingingen.

Abbildung 7.1. Layout der Elektrodenanordnung: Elektroden in den schattierten Clustern wurden für die statistische Analyse gruppiert („gepoolt")



Die mittleren Amplituden von zwei EKP-Latenzbereichen wurden berechnet: Dies betraf den P300-Latenzbereich (290-500 ms) und den Slow Wave-Latenzbereich (550-900 ms). Diese visuell in den Grand Averages erkennbaren Latenzbereiche (siehe Abbildung 7.3., siehe unten) entsprechen genau den Latenzbereichen, welche sowohl in der Studie von Keil et al. (2002) sowie von Pollatos, Kirsch & Schandry (2005b) zur Analyse der P300 und Slow Wave Amplituden herangezogen wurden.

Für die statistische Analyse wurden jeweils getrennt für den P300-Latenzbereich und den Slow Wave-Latenzbereich Wiederholungsmessungs-ANOVAs mit den Faktoren „Emotionsinhalt“ (3 Stufen: positiv, neutral, negativ), „Lateralität“ (2 Stufen: linke Hemisphäre vs. rechte Hemisphäre), „Region“ (6 Stufen: antero-inferior, antero-superior, medial-inferior, medial-superior, postero-inferior, postero-superior; siehe Abbildung 7.1.) und dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“ (2 Stufen: gute vs. schlechte Herzwahrnehmer).

Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme wurden die Freiheitsgrade (df) nach der Greenhouse-Geisser Methode (Greenhouse & Geisser, 1959) korrigiert. Dabei werden unkorrigierte F-Werte zusammen mit den korrigierten p-Werten berichtet. Zur Beurteilung signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte, wurden post-hoc Testungen nach Scheffé durchgeführt.

Auch hier wurden Korrelationsanalysen (non-parametrische Spearman-Rho; r_s) zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den P300-Amplituden sowie den Slow-Wave Amplituden berechnet.

7.4. Ergebnisse

Herzwahrnehmung

Der mittlere Herzwahrnehmungsscore in der Gesamtgruppe betrug 0.75 (SD = 0.18). Insgesamt 17 Probanden (8 weiblich, 9 männlich) wiesen einen Herzwahrnehmungsscore größer als 0.85 auf und wurden der Gruppe der guten Herzwahrnehmer zugeordnet. Diese Gruppe zeigte einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.90 (SD = 0.05). 20 Probanden hatten einen Herzwahrnehmungsscore kleiner als 0.85 und bildeten die Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer. Diese Gruppe wies einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.64 (SD = 0.15) auf.

Die weiblichen Probanden besaßen einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.77 (SD = 0.14) und männliche Probanden einen mittleren Score von 0.75 (SD = 0.21).

Die statistische Analyse anhand einer einfaktoriellen ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ (2 Stufen: Männer vs. Frauen) zeigte, dass sich weibliche und männliche Probanden nicht signifikant in ihrer Herzwahrnehmungsfähigkeit unterschieden ($F (1, 35) = 0.29$, $p > 0.05$).

Alter und Geschlecht

Die statistische Prüfung anhand eines Chi^2-Tests zeigte, dass sich die Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer nicht signifikant in ihrer Verteilung an Männern und Frauen unterschieden ($Chi^2 = 0.86$, $df = 1$, $p > 0.05$). Tabelle 7.1. zeigt die Verteilung von Männern und Frauen in den Gruppen guter und schlechter Herzwahrnehmer.

Tabelle 7.1. Geschlechterverteilung in den Gruppen der guten und der schlechten Herzwahrnehmer

	Männer	**Frauen**	**Total**
Gute Herzwahrnehmer	9	8	17
Schlechte Herzwahrnehmer	10	10	20
Total	19	18	37

Die beiden Gruppen unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant im Alter (einfaktorielle ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“: $F(1,35) = 1.17$, $p > 0.05$; gute Herzwahrnehmer: $M = 25.2$; $SD = 4.6$, schlechte Herzwahrnehmer: $M = 27.2$; $SD = 6.5$).

SAM-Rating

Varianzanalytische Ergebnisse

Wie zu erwarten war, unterschieden sich die Valenzratings des SAM auf signifikante Weise (signifikanter *Haupteffekt „Emotionsinhalt“:* $F (2, 70) = 584.35$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.94$), wobei sich sowohl das mittlere Valenzrating der positiven Bilder ($M = 6.98$), neutralen ($M = 4.91$) und negativen Bilder ($M = 2.28$) signifikant voneinander unterschied ($p < 0.001$).

Die Arousal-Ratings differenzierten zudem auf signifikante Wiese die verschiedenen Bildkategorien (signifikanter *Haupteffekt „Emotionsinhalt":* $F (2, 70) = 171.86$; $p < 0.001$; partielles $eta^2 = 0.831$). Positive Bilder ($M = 6.26$) als auch negative Bilder ($M = 4.90$) wurden dabei als signifikant ($p < 0.01$) stärker erregend bewertet als die neutralen Bilder ($M = 2.64$).
Die positiven Bilder wurden nunmehr jedoch auch als signifikant erregender bewertet als die negativen Bilder ($p < 0.01$).

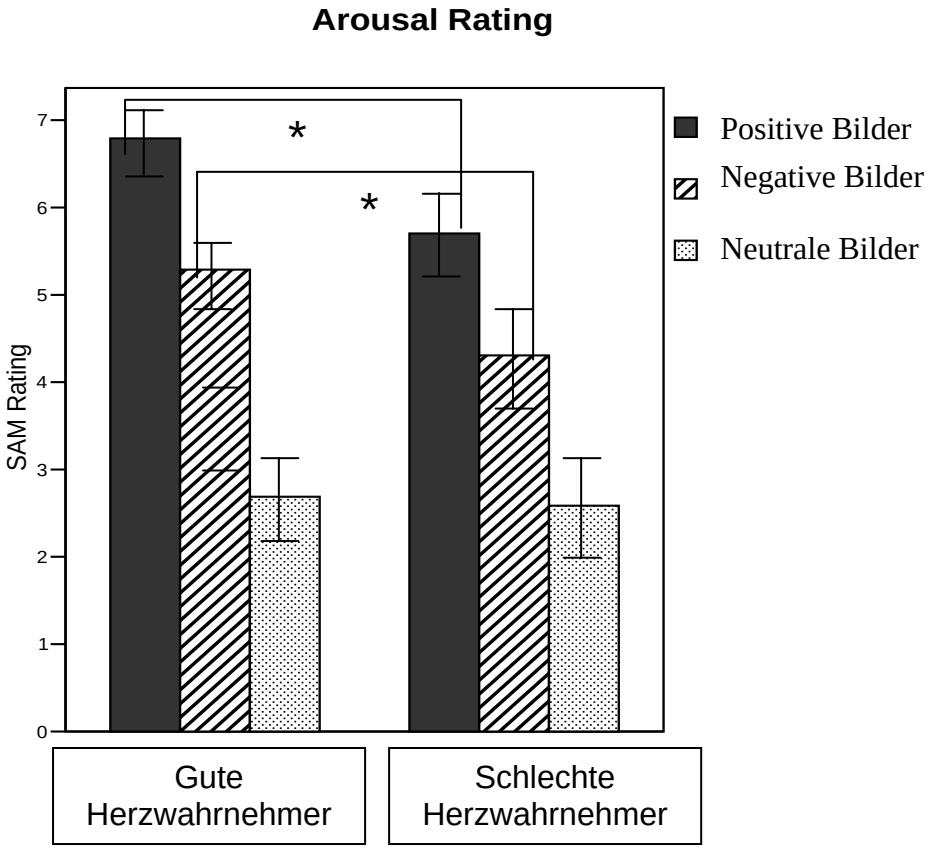
Was die Valenzratings angeht, so ergab die statistische Analyse *weder einen signifikanten Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe"* ($F (1,35) = 1.8$, $p > 0.05$) noch einen signifikanten *„Herzwahrnehmungsgruppe x Emotionsinhalt" Interaktionseffekt* ($F (2, 70) = 0.99$, $p > 0.05$).

Für die Arousalratings ergab sich ein *signifikanter Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe"* ($F (1, 35) = 6.41$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.16$), wobei die guten Herzwahrnehmer ($M = 4.92$) die Bilder geringfügig, jedoch signifikant erregender einstuften als die schlechten Herzwahrnehmer ($M = 4.14$).
Zudem zeigte sich für die Arousalratings ein *signifikanter „Herzwahrnehmungsgruppe x Emotionsinhalt" Interaktionseffekt* ($F (2, 70) = 3.82$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.10$). Post-hoc Scheffé Test zeigten, dass die guten Herzwahrnehmer sowohl die positiven ($M = 6.79$) als auch die negativen Bilder ($M = 5.29$) als signifikant ($p < 0.05$) erregender einstuften als die schlechten Herzwahrnehmer (positive Bilder: $M = 5.70$; negative Bilder: $M = 4.31$). Dagegen unterschieden sich die beiden Gruppen nicht in ihrer Bewertung der neutralen Bilder ($p > 0.05$).
Diese Ergebnisse für die Arousal-Ratings werden in Abbildung 7.2. (nächste Seite) graphisch dargestellt.

Korrelationsstatistik

Die Berechnung von Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten zwischen den Arousalratings des SAM und den Herzwahrnehmungsscores zeigte eine signifikante positive Assoziation zwischen diesen Variablen an. Es ergab sich eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und dem berichteten Arousalniveau der negativen Bilder ($r_s = 0.32$, $p < 0.05$) sowie eine sehr signifikante und beachtliche Korrelation zwischen Herzwahrnehmungsscore und dem berichteten Arousalniveau der positiven Bilder ($r_s = 0.55$, $p < 0.01$). Es konnte keine bedeutsame Korrelation zwischen Herzwahrnehmungsscore und dem Arousal-Rating der neutralen Bilder ($r_s = 0.18$, $p > 0.05$) sowie dem Valenzniveau der Bilder eruiert werden (positive Bilder: $r_s = 0.10$; negative Bilder: $r_s = 0.04$; $p > 0.05$)

Abbildung 7.2. Mittlere SAM-Arousal Ratings der guten (N = 17) und schlechten Herzwahrnehmer (N = 20) für positive, neutrale und negative IAPS-Bilder



Beachte: * bezeichnet signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0.05$)

Ereigniskorrelierte Potentiale

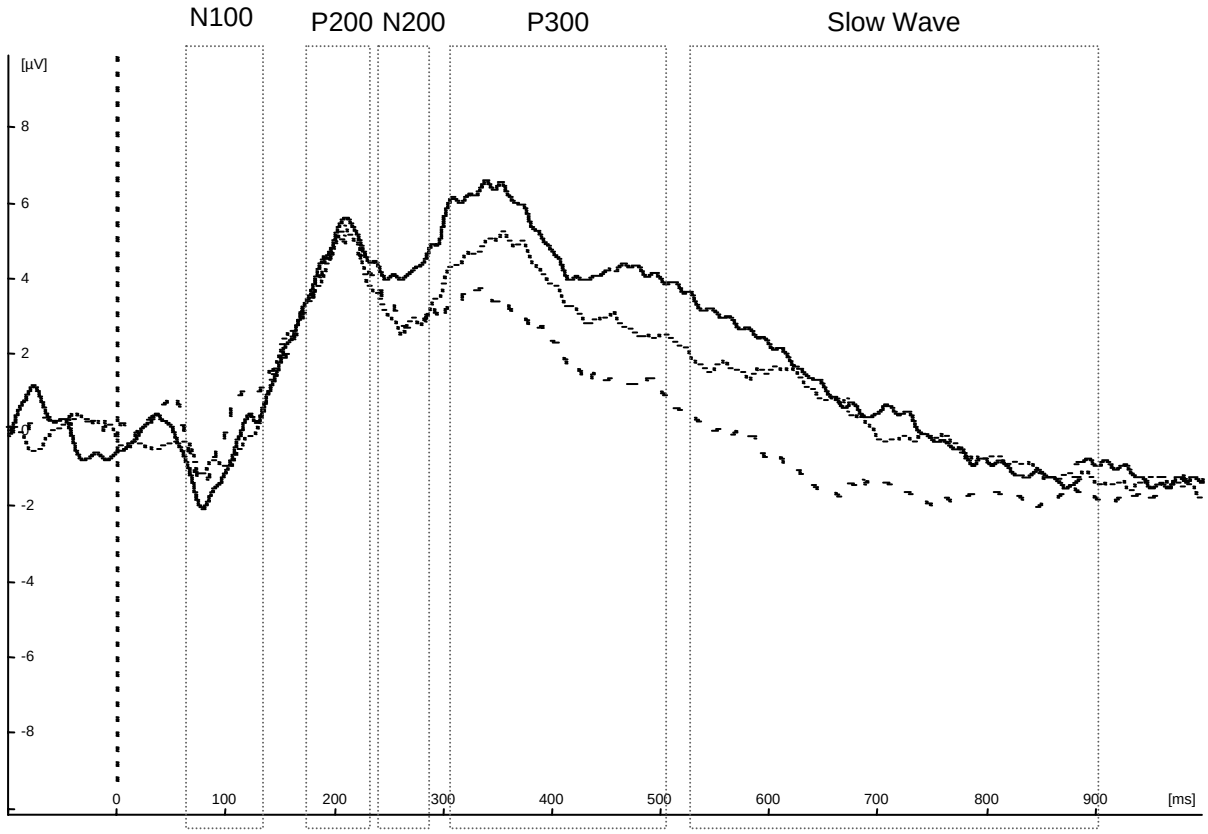
Morphologie, Topographie und Amplituden der EKPs

Der Verlauf der visuell evozierten Potentiale (VEPs) für positive, negative und neutrale Bilder ist in Abbildung 7.3. an Elektrode Pz dargestellt.
Abbildung 7.3. zeigt insgesamt 5 voneinander differenzierbare evozierte Komponenten, welche in ihrem zeitlichen Verlauf einer N100, einer P200, sowie einer N200, einer P300 und einer Slow Wave entsprechen (siehe auch Keil et al., 2002).

Die visuelle Inspektion der Potentialverläufe lässt auch erkennen, dass sich vornehmlich die hier interessierenden späten evozierten Potentiale (LPPs) ab ca. 290 ms für die neutralen und emotionalen Bilder voneinander unterscheiden. Man kann sehen, dass emotionale Bilder eine ausgeprägtere Positivierung in diesem Latenzbereich aufweisen als neutrale Bilder.

In dieser Studie liegt der Schwerpunkt auf der P300 und dem Slow Wave Latenzbereich, welcher die anhaltende und höher-geordnete Verarbeitung salienter visueller Reize anzeigt (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002).

Abbildung 7.3. Grand Averages der VEPs für positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode Pz



Positive Bilder

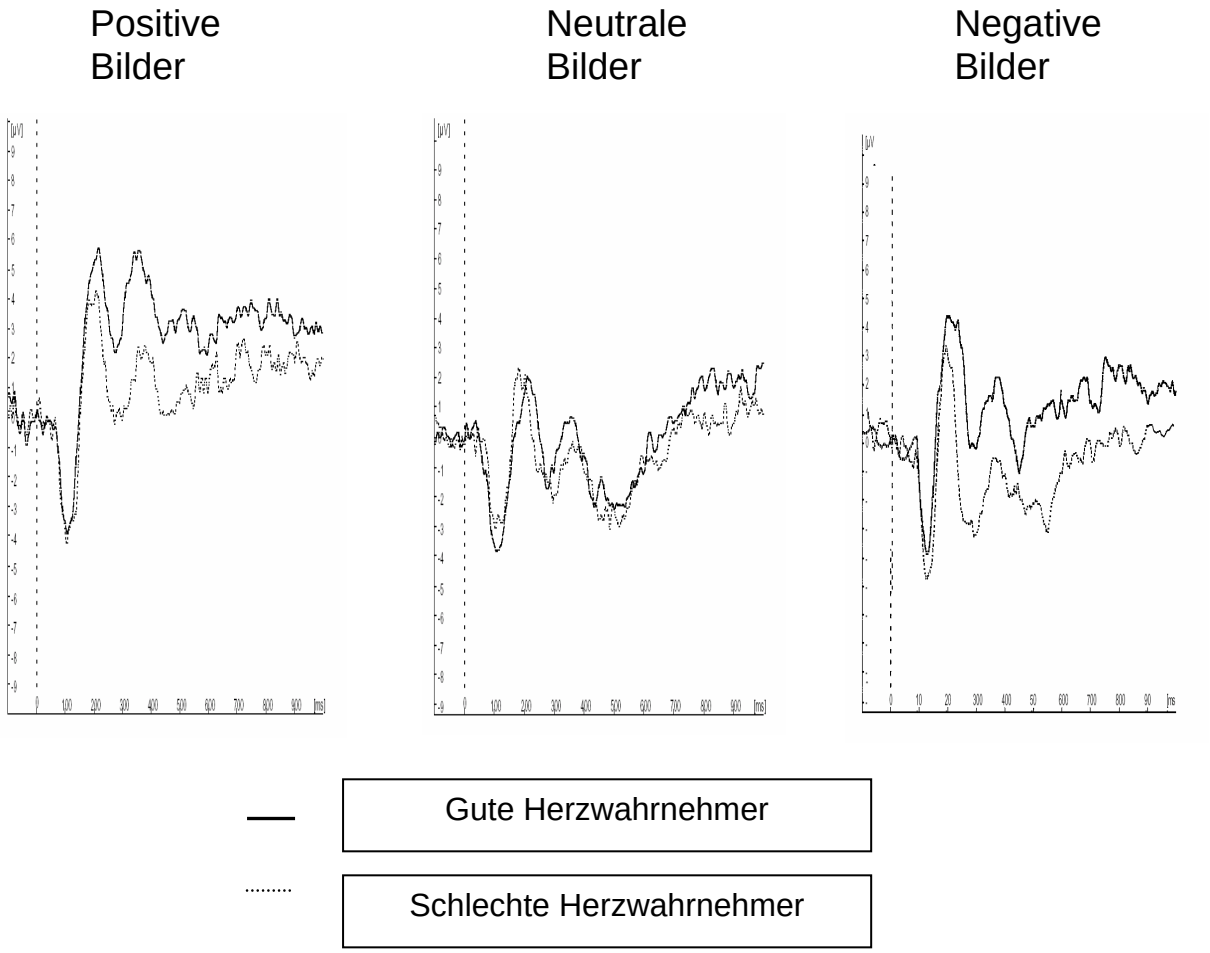
Neutrale Bilder

Negative Bilder

Abbildung 7.4. (nächste Seite) zeigt die VEPs auf die IAPS-Bilder der guten und schlechten Herzwahrnehmer über der linken antero-inferioren Region.

Gute und schlechte Herzwahrnehmer zeigten in der Ausprägung der P300 (290-500 ms) sowie der Slow Wave (550-900 ms) deutliche Unterschiede.

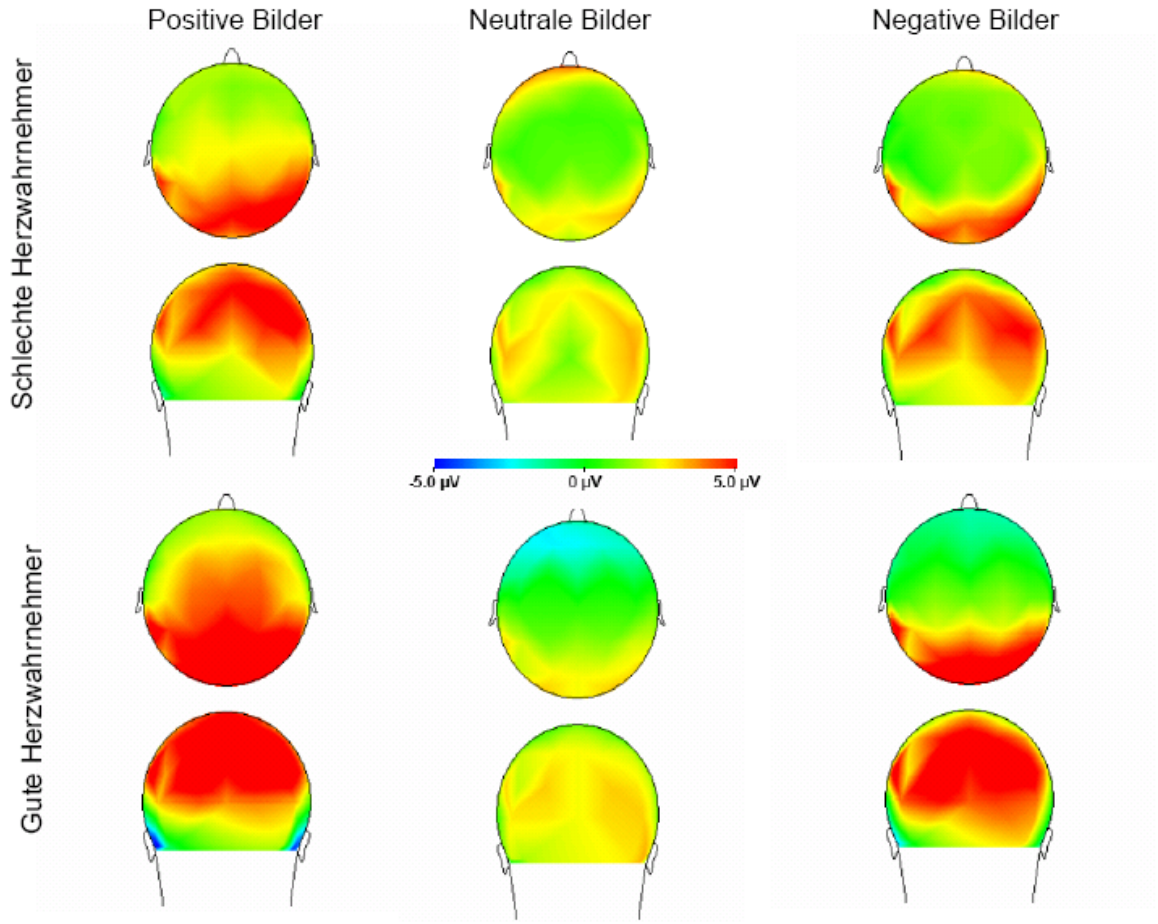
Abbildung 7.4. Visuell evozierte Potentiale (VEPs) der guten und schlechten Herzwahrnehmer am linken antero-inferioren Elektrodenpool



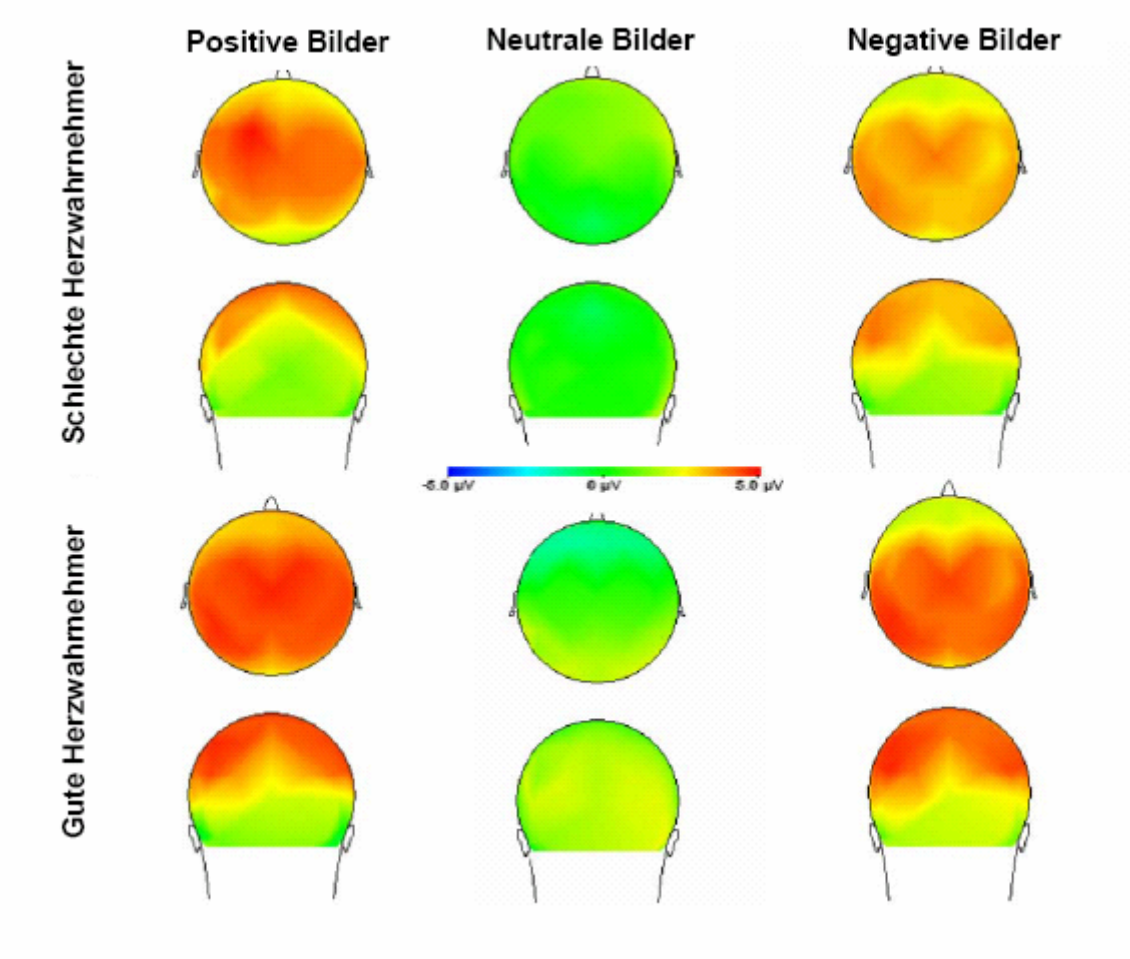
Die Topographie der mittleren P300-Amplituden sowie der Slow Wave-Amplituden in Reaktion auf positive, neutrale und negative Bilder bei guten und schlechten Herzwahrnehmern zeigt die folgende Abbildung 7.5. (A,B)

Abbildung 7.5.

(A) Grand Means Topographie der Spannungsverteilung des P300-Latenzbereichs der guten und schlechten Herzwahrnehmer für positive, neutrale und negative Bilder



(B) Grand Means Topographie der Spannungsverteilung des Slow Wave-Latenzbereichs der guten und schlechten Herzwahrnehmer für positive, neutrale und negative Bilder



In der statistischen Analyse interessierte der P300- und der Slow Wave-Latenzbereich, wobei für die P300 eine Latenzbereich von 290-500 ms sowie für die Slow Wave ein Latenzbereich von 550-900 ms gewählt wurde. Es wurden mittlere Amplitudenwerte für diese Latenzbereiche berechnet.

Die Einteilung in genannte Latenzbereiche für die P300 und Slow Wave entspricht den in der EEG-Literatur zu emotionaler visueller Stimulation für die P300 und die Slow Wave Komponenten gewählten Zeitfenstern (z.B. Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002). Zudem entspricht es den gewählten Latenzbereichen, welche auch in der Vorgängerstudie von Pollatos, Kirsch & Schandry (2005b) für beide Zeitfenster ebenfalls in Anlehnung an oben zitierte Literatur verwendet wurden.

Varianzanalytische Ergebnisse für den P300-Latenzbereich

Die varianzanalytische Statistik für den P300-Latenzbereich zeigte folgende Ergebnisse:

Zuallererst zeigte sich, dass die mittlere P300 Amplitude generell am stärksten ausgeprägt war über *posterioren*, sowohl *inferioren* (3.71 µV) als auch *superioren* (1.70 µV) Bereichen, sowie über *medial-inferioren* Elektrodenpools (2.0 µV) (*Haupteffekt „Region"*: $F (5, 175) = 25.25$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.42$). Post-hoc Scheffé Tests zeigten, dass diese Regionen am meisten zur Positivierung der VEPs im P300 Fenster beitrugen ($p < 0.05$).

Zudem trat ein sehr ausgeprägter und sehr signifikanter *Haupteffekt „Emotionsinhalt"* ($F (2, 70) = 42.81$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.55$) auf. Post-hoc Scheffé Testung zeigte, dass, wie dies zu erwarten war, die positiven Bilder (2.20 µV) sowie die negativen Bilder (1.37 µV) zu einer signifikant ($p < 0.01$) stärkeren Positivierung führten als die neutralen Bilder (0.36 µV). Es zeigte sich allerdings auch, dass die positiven Bilder eine signifikant stärkere Positivierung induzierten als die negativen Bilder ($p < 0.01$). Dies ist visuell auch schon in Abbildung 7.3. erkennbar.

Der sehr signifikante *„Region x Emotionsinhalt" Interaktionseffekt* ($F (10, 350) = 7.02$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.17$) wurde anhand von Scheffé post-hoc Tests analysiert. Es zeigte sich, dass positive und negative Bilder im Vergleich zu neutralen Bildern eine signifikant ausgeprägtere Positivierung über *antero-inferioren*, *medial-inferioren* und *postero-inferioren* Elektrodenpools induzierten ($p < 0.05$). In allen genannten Regionen zeigten die positiven Bilder zudem eine signifikant höhere P300 Amplitude als die negativen Bilder ($p < 0.05$).

Was die relevanten ***Gruppenunterschiede*** angeht, so konnten folgende Ergebnisse demonstriert werden:
Es zeigte sich ein sehr signifikanter *Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe"* ($F (1,35) = 19.06$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.35$). Gute Herzwahrnehmer (2.10 µV) demonstrierten demnach insgesamt ausgeprägtere P300-Amplituden als schlechte Herzwahrnehmer (0.39 µV).
Gleichzeitig wird dieses Ergebnis ergänzt durch einen *signifikanten „Emotionsinhalt x Herzwahrnehmungsgruppe" Interaktionseffekt* ($F (2, 70) = 4.47$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.13$). Wie post-hoc Scheffé Tests zeigten, wiesen die guten Herzwahrnehmer signifikant ($p < 0.05$) höhere P300-Amplituden auf positive (3.33 µV) und negative (2.15 µV), nicht jedoch auf neutrale Bilder (0.75 µV) auf als schlechte Herzwahrnehmer (positive Bilder:1.22 µV; negative Bilder: 0.65 µV; neutrale Bilder: -0.70 µV). Gute Herzwahrnehmer zeigten somit

ausgeprägtere P300-Amplituden auf emotionale Bilder als schlechte Herzwahrnehmer, während sich die Gruppen nicht bedeutsam hinsichtlich der P300 auf neutrale Bilder unterschieden!

Zudem wurde ein signifikanter *„Region x Herzwahrnehmungsgruppe“ Interaktionseffekt* ($F (5, 175) = 3.93$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.10$) nachgewiesen. Gute Herzwahrnehmer zeigten dabei eine signifikant stärkere Positivierung über *postero-inferioren* und *–superioren* sowie über *medial-inferioren* und *–superioren* Elektrodenpools als schlechte Herzwahrnehmer ($p < 0.05$), und dies entsprechend unabhängig von der Art der Bilder.

Zuletzt konnte ein *„Region x Herzwahrnehmungsgruppe x Emotion“ Interaktionseffekt* demonstriert werden, der *knapp die Signifikanzgrenze verfehlte* ($F (10, 350) = 0.13$, partielles $eta^2 = 0.10$). Post-hoc Scheffé Tests zeigten jedoch, dass gute Herzwahrnehmer besonders über posterioren (inferioren und superioren) (positive Bilder: 4.97 µV, negative Bilder: 4.51 µV, neutrale Bilder: 2.17 µV) sowie über medialen (inferioren und superioren) Elektrodenpools (positive Bilder: 1.98 µV, negative Bilder: 0.84 µV, neutrale Bilder: 0.24 µV) eine signifikant ($p < 0.05$) ausgeprägtere P300-Amplitude für emotionale Bilder im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern (posterior: positive Bilder: 2.10 µV, negative Bilder: 1.81 µV, neutrale Bilder: 1.61 µV; medial: positive Bilder: 0.69 µV, negative Bilder: 0.02 µV, neutrale Bilder: - 0.10 µV) aufwiesen, während sich die Gruppen nicht einheitlich signifikant ($p < 0.05$) für die neutralen Bilder diesbezüglich unterschieden.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen werden auch in der topographischen Analyse der P300-Amplituden deutlich (siehe Abbildung 7.5. A). Auch Abbildung 7.4. dient zur visuellen Ergänzung der emotionsspezifischen Gruppendifferenzen.

Korrelationsstatistik für den P300-Latenzbereich

Um den korrelativen Zusammenhang zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und P300-Aktivtität auf emotionale visuelle Stimulation hin zu untersuchen wurden Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den mittleren P300-Amplituden, welche über positive und negative Bilder gemittelt wurden, sowohl für die, über die linke und rechte Hemisphäre gemittelten medialen und postero-superioren Cluster, berechnet. Diese Cluster wurden ausgewählt, da sie sich in den varianzanalytischen Ergebnissen als relevant für die Gruppenunterscheidung auf emotionale Bilder hin, erwiesen haben.

Die Korrelationsstatistik ergab signifikante und positive Korrelationen zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und der mittleren P300-Amplitude für emotionale Bilder in der *medial-inferioren* ($r_s = 0.46$, $p < 0.01$) und der *medial-superioren* Region ($r_s = 0.33$, $p < 0.05$)

sowie in der *postero-inferioren* (r_s = 0.30, p < 0.05) und *postero-superioren* Region (r_s = 0.48, p < 0.001).

Varianzanalytische Ergebnisse für den Slow Wave-Latenzbereich

Zum ersten demonstrierte die ANOVA einen sehr signifikanten *Haupteffekt „Region"* (F (5, 175) = 29.58, p < 0.001, partielles eta^2 = 0.43). Die höchste Slow Wave Amplitude war über *antero-inferioren, medial-inferioren*, und *postero-inferioren* Elektrodenpools vorhanden (p < 0.05); d.h. die genannten Regionen trugen am stärksten zur Slow Wave Amplitude generell bei.

Die varianzanalytischen Ergebnisse zeigten zum zweiten einen sehr deutlichen und sehr signifikanten *Haupteffekt „Emotionsinhalt"* (F (2, 70) = 31.39, p < 0.001, partielles eta^2 = 0.45). Post-hoc Testungen zeigten, dass positive (2.21 µV; p < 0.001) und negative (1.10 µV; p < 0.01) Bilder signifikant höhere Slow Wave-Amplituden evozierten als neutrale Bilder (0.45 µV). Dabei zeigte sich wiederum, wie auch bei der P300-Analyse, dass sich auch die Amplituden im Slow Wave Bereich zwischen positiven und negativen Bildern signifikant voneinander unterschieden (p < 0.01). Positive Bilder induzierten dabei ebenfalls eine ausgeprägtere Amplitude als die negativen Bilder.

Drittens wurde ein sehr signifikanter *Interaktionseffekt „Region x Emotionsinhalt"* (F (10, 350) = 8.60, p < 0.001, partielles eta^2 = 0.20) demonstriert. Scheffé Tests zeigten, dass emotionale Bilder über *antero-inferioren*, *medial-inferioren* und *–superior*en sowie *postero-inferioren* Elektrodenpools signifikant ausgeprägtere Slow Wave-Amplituden evozierten als neutrale Bilder.
Dass sich eine emotionsspezifische Unterscheidung im Slow Wave Bereich vornehmlich über diesen Regionen findet, bestätigen auch die Befunde von Keil et al. (2002).
An den genannten Orten induzierten zudem positive Bilder signifikant ausgeprägtere Slow Wave-Amplituden als negative Bilder (p < 0.05).

Als ein wesentliches Ergebnis zeigte sich nunmehr ein sehr signifikanter *Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe"* (F (1, 35) = 10.19, p < 0.01, partielles eta^2 = 0.23). Gute Herzwahrnehmer (1.90 µV) wiesen generell eine höhere Slow Wave Amplitude auf als schlechte Herzwahrnehmer (0.47 µV).
Auch dieser Befund wird ergänz durch den eruierten sehr signifikanten *„Emotionsinhalt x Herzwahrnehmungsgruppe" Interaktionseffekt* (F (2, 70) = 4.55, p < 0.01, partielles eta^2 = 0.10). Post-hoc Scheffé Tests zeigten, dass die guten Herzwahrnehmer eine signifikant (p <

0.05) ausgeprägtere Slow Wave-Amplitude für positive (3.36 µV) als auch negative Bilder (1.63 µV) aufwiesen als schlechte Herzwahrnehmer (positive Bilder: 1.12 µV; negative Bilder: 0.35 µV). Beide Gruppen unterschieden sich aber nicht signifikant in ihrer Aktivität auf neutrale Bilder (gute Herzwahrnehmer: 0.36 µV; schlechte Herzwahrnehmer: -0.08 µV).
Auch für den Slow Wave Latenzbereich konnte ein signifikanter *Interaktionseffekt zwischen „Region x Herzwahrnehmungsgruppe“* ($F (5, 175) = 5.42$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.13$) aufgezeigt werden. Gute Herzwahrnehmer zeigten v.a. über *antero-inferioren*, *medial-inferioren* und *posterioren* Elektrodenclustern höhere Slow Wave-Amplituden als schlechte Herzwahrnehmern ($p < 0.05$).
Ähnlich wie bei der P300-Analyse konnte für die Slow Wave ein knapp die Signifikanzgrenze verfehlender *„Region x Herzwahrnehmungsgruppe x Emotion“ Interaktionseffekt* eruiert werden ($F (10, 350) = 1.49$, $p = 0.14$, partielles $eta^2 = 0.10$) eruiert werden. Auch hier zeigten post-hoc Testungen, dass gute Herzwahrnehmer v.a. über *antero-inferioren* (positive Bilder: 2.89 µV, negative Bilder: -0.75 µV, neutrale Bilder: -1.35 µV), sowie *medial-inferioren* (positive Bilder: 5.22 µV, negative Bilder: 2.76 µV, neutrale Bilder: 1,20 µV) und *posterioren* (inferioren und superioren) Elektrodenclustern (positive Bilder: 5.19 µV, negative Bilder: 4.69 µV, neutrale: Bilder: 2.10 µV) eine signifikant ausgeprägtere Slow Wave auf emotionale Bilder zeigten als schlechte Herzwahrnehmer (antero-inferior: positive Bilder: 0.84 µV, negative Bilder: -0.64 µV, neutrale Bilder: -1.08 µV; medial-inferior: positive Bilder: 2.0 µV, negative Bilder: 0.32 µV, neutrale Bilder: 0.14 µV; posterior: positive Bilder: 1.98 µV, negative Bilder: 1.94 µV, neutrale: Bilder: 1.0 µV), während keine durchgängigen, signifikanten Gruppenunterschiede bzgl. der neutralen Bilder vorhanden waren.

Abbildung 7.5 (B) veranschaulicht die Gruppenunterschiede anhand einer topographischen Analyse der Daten.

Korrelationsstatistik für den Slow Wave- Latenzbereich

Es wurden Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten zwischen Herzwahrnehmungsscore und den mittleren Amplituden der Slow Wave für die antero-inferioren und medial-inferioren und posterioren Regionen berechnet (linke und rechte Hemisphäre gemittelt). Diese Elektrodencluster wurden gewählt, da sich gezeigt hatte, dass sich die beiden Gruppen besonders in diesen Regionen auf signifikante Weise in ihrer Slow Wave Aktivität unterschieden haben. Vergleichbar mit dem Vorgehen für die P300-Korrelationsanalyse wurden auch hier die mittleren Amplituden der positiven und negativen Bilder gemittelt, sowie die gemittelten Werte über die linken und rechten Elektrodenpools verwendet.

Die Ergebnisse zeigten einen sehr signifikanten und positiven Zusammenhang zwischen Herzwahrnehmungsscore und mittlerer Slow Wave-Amplitude am *antero-inferioren* ($r_s = 0.35$, $p < 0.01$), *medial-inferioren* ($r_s = 0.42$, $p < 0.01$) sowie am *postero-inferioren* ($r_s = 0.56$, $p < 0.001$) und *postero-superioren* ($r_s = 0.43$, $p < 0.01$) Elektrodenpool.

7.5. Zusammenfassung und Diskussion

Diese Untersuchung examinierte den Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität, emotionalem Erleben und Verarbeitung emotionaler Stimuli anhand von LPPs. In Einklang mit den formulierten Hypothesen konnte ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung an Kardiosensibilität und der Intensität des emotionalen Erlebens sowie der Emotionsverarbeitung (P300- und Slow Wave-Amplitude) aufgezeigt werden. Gute Herzwahrnehmer zeigten sowohl im P300- als auch im Slow Wave-Latenzbereich für emotional erregende Bilder ausgeprägtere Amplituden als schlechte Herzwahrnehmer.
Diese Befunde stützen und erweitern somit die Befunde von Pollatos, Kirsch & Schandry (2005b), welche bereits nachweisen konnten, dass gute Herzwahrnehmer im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern ausgeprägtere Slow Wave-Amplituden auf emotionale Bilder zeigten. Jedoch konnten in ihrer Studie keine emotionsspezifischen Effekte für die P300 nachgewiesen werden, was in der vorliegenden Studie anhand geschilderter Veränderungen im Bildpräsentationsdesign nunmehr jedoch gelang.

Zum ersten konnte die vorliegende Studie somit eine Reihe von Befunden replizierten, welche zeigten, dass gemäß den Theorien von James und Damasio, viszerozeptive sensible Personen auf emotionale Stimuli subjektiv intensiver reagieren, diese intensiver erleben, also erregender empfinden als schlechte Herzwahrnehmer (z.B. Ferguson & Katkin, 1996; Hantas et al., 1982; Jones, 1994; Pollatos et al., 2005b; Schandry, 1981; Wiens et al., 2000; Wiens & Palmer, 2001).
Die vorliegenden Daten demonstrierten eine signifikante und ausgeprägte Assoziation zwischen Kardiosensibilität und dem Ausmaß der Intensität des emotionalen Erlebens (SAM Arousal-Rating) emotionaler Bilder, jedoch nicht neutraler Bilder. Zudem zeigten gute Herzwahrnehmer im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern ein ausgeprägteres subjektiv, angegebenes Arousal auf emotionale, nicht jedoch auf neutrale Bilder. Dies stützt die Befunde von Pollatos et al. (2005b) sowie von Wiens et al. (2000), die demonstrierten, dass gute Herzwahrnehmung mit dem Arousal-Aspekt des emotionalen Erlebens korreliert ist. Dies wird zudem ganz konkret von Barrett et al. (2004) bestätigt, welche ebenfalls zeigten, dass auch beim verbalen Berichten von Emotionen Kardiosensibilität mit dem Arousal-Fokus assoziiert ist.

Keine Assoziation wurde dagegen zwischen Kardiosensibilität und Valenz des SAM-Ratings eruiert. Dies bestätigt ebenfalls die Befunde von Pollatos et al. (2005b) und Wiens et al. (2000).
Die Tatsache, dass sich hier ein Schwerpunkt zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und dem Arousal des emotionalen Erlebens zeigt, passt in die theoretischen Modelle von James (1884), Schachter & Singer (1961), sowie Damasio (z.B. 1999, 2000). Vor allem Schachter & Singer betonten, dass ein existierendes Arousal vorausgesetzt werden muss, welches für die Genese von Emotionen (Gefühle) notwendig ist, während die Richtung des Gefühls, von der Attribution vorhandener Situationsaspekte abhängt. Auch Damasio betont in seinen Ausführungen die Relevanz des Erregungsniveaus, des physiologischen Arousals auf relevante Reize hin, welches dem Gehirn dann als somatische Marker zur Verfügung stehen kann, um Gefühle und Verhalten zu regulieren (z.B. Damasio, 1999, 2000).

Zweitens zeigten, konsistent zur aufgestellten Hypothese, gute Herzwahrnehmer im P300- sowie im Slow Wave-Latenzbereich eine signifikant ausgeprägtere, intensivere, anhaltende Stimulusverarbeitung und Aufmerksamkeitsallokation von bzw. auf emotional relevante Bilder als schlechte Herzwahrnehmer. Diese Resultate waren dabei emotionsspezifisch, als dass sich dieser Effekt, hypothesengemäß nur für die emotionalen, nicht jedoch die nicht-erregenden, neutralen Bilder zeigte. Die P300- und Slow Wave Amplituden waren bei den guten Herzwahrnehmern für emotionale Bilder über allen Elektrodenorten, v.a. jedoch über antero-inferioren sowie medialen und posterioren Regionen ausgeprägter als bei den schlechten Herzwahrnehmern.
Auch in der Aktivität der LPPs zeigte sich also der bereits im SAM-Rating festgestellte Arousal-Effekt in den Gruppenunterschieden. Auch dies unterstützt die oben erwähnten Ausführungen, dass das Feedback körperlicher Zustände (Damasio, 1999, 2000) über den Arousal-Aspekt der Aktivierung wirksam wird (siehe auch Critchley et al., 2002; Lane et al., 1999).

Die Ergebnisse zeigten zudem, dass gute Herzwahrnehmer v.a. über medialen und posterioren Elektrodenpools eine generell ausgeprägtere P300-Amplitude und über anterior-inferioren sowie medialen und posterioren Clustern eine höhere Slow Wave-Amplitude aufwiesen als schlechte Herzwahrnehmer. Diese Regionen bezeichnen, die auch bei Keil et al. (2002) eruierten Regionen, welche die höchsten P300 respektive Slow Wave Aktivität beim passiven Betrachten emotionaler Bilder zeigen.
Auch in der vorliegenden Studie wurde dies bestätigt: Zum einen konnte der in vielen Studien beobachtete Effekt bestätigt werden, dass emotional erregende Bilder ausgeprägtere P300- und Slow Wave-Amplituden evozierten als neutrale Bilder, und somit

vertieft und intensiver verarbeitet werden als neutrale Bilder (z.B. Cuthbert et al., 2000, Keil et al., 2002; Lang et al., 1997). Zum anderen demonstrierte die statistische Analyse, dass v.a. mediale und posteriore Regionen am meisten zur Ausprägung des positiven P300-Potentials beigetragen haben, wobei emotionale Bilder v.a. über diesen Regionen zu einer ausgeprägteren P300 führten als neutrale Bilder. Auch die hier beobachtete stärkste Ausprägung der Slow Wave Aktivität für emotional erregende Bilder über antero-inferioren, medialen und postero-inferioren Regionen ist im Einklang mit den Befunden von Cuthbert et al. (2000) und Keil et al. (2002), welche die größten Unterschiede der LPPs als eine Funktion des emotionalen Arousals für Elektrodenregionen nahe Pz eruierten.

Die vorliegenden Befunde werden gestützt durch die signifikanten und positiven Korrelationen zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und der Ausprägung der P300- und Slow Wave-Amplitude für emotionale Bilder, welche zwischen 0.30 und 0.56 liegen.
Die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstützen somit die Hypothesen und sind zusammen mit der Studie von Pollatos et al. (2005b) ein weiterer Beleg für die enge Assoziation von Kardiosensibilität, Emotionserleben (Gefühlen) und Emotionsverarbeitung, und damit theoretischen Modellen von James (1894) und Damasio (1994, 1999, 2000; siehe auch Blair & Cipolotti, 2000; Critchley et al., 2004; Cameron, 2001).
Da die Herzwahrnehmungsfähigkeit des Weiteren durchaus mit der Wahrnehmung anderer autonom-innervierter Organe korreliert zu sein scheint (Whitehead & Drescher, 1980), kann man davon ausgehen, dass diese Befunde auf die Interozeptionsfähigkeit per se auszudehnen sind.

Zuletzt möchte ich noch auf einen weiteren Befund der Studie kurz eingehen: Die Daten der Untersuchung zeigten, dass emotional positive Bilder hier nicht nur signifikant erregender erlebt wurden als neutrale, sondern auch als die präsentierten negativen Bilder. Dem entspricht das Ergebnis in der Gesamtstichprobe, dass auch die P300- und Slow Wave-Amplituden signifikant ausgeprägter waren für die positiven Bilder gegenüber nicht nur den neutralen, sondern auch den negativen Bildern. Bekanntlich werden gängigerweise emotionale positive und negative Bilder vergleichbaren Arousals weder unterschiedlich erregend erlebt noch existieren diesbezüglich Valenzunterschiede im Hinblick auf die P300- und Slow Wave. (z.B. Cuthbert et al., 2000 ; Lang et al., 1999; Schupp et al., 2004).
Obwohl die statistische Analyse der nach den IAPS-Normen ausgewählten IAPS-Bilder zu Beginn der Untersuchung keine signifikanten Arousal-Unterschiede zwischen den positiven und negativen Bildern darlegte, zeigten sich diese Effekte bei der Untersuchung unserer hier untersuchten Probandenstichprobe.

Sehr offensichtlich gibt es hierfür eine Erklärung, welche sich auf die spezifische Auswahl der aversiven Bilder in unserer Studie bezieht. Bei der Auswahl dieser Bildstimuli wurde in der vorliegenden Studie darauf geachtet keine Bilder mit blutenden, schwer verletzten und verunfallten Menschen zu zeigen, welche das Feingefühl der Probanden (Studenten) zu sehr verletzen könnten. Gerade diese Bilder jedoch sind es, die nachweislich als besonders erregend im aversiven IAPS-Sektor erlebt werden und eine starke Aufmerksamkeitsallokation, reflektiert im P300 und Slow Wave Bereich, auf sich ziehen (z.B. Schupp et al., 2004; Keil et al., 2002).
Die getroffene Bildauswahl ist in dieser Studie sicherlich für die geschilderten Effekte verantwortlich.

Nichtsdestotrotz beeinflusst diese Problematik nicht die hier vorrangig interessierenden Gruppenunterschiede und Ergebnisse.

8. Studie 2: Kardiosensibilität und frühe sensorische Verarbeitung emotionaler Reize („Early Posterior Negativity“)

8.1. Einleitung und Hypothesen

Studie 1 konnte bislang demonstrieren, dass ein signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Kardiosensibilität und sowohl der Intensität des subjektiv emotionalen Erlebens als auch der Intensität der P300- und Slow Wave Aktivierung im Kortex auf emotionale Stimuli existiert. Gute Herzwahrnehmer erleben demnach emotionale Stimuli als intensiver und verarbeiten diese zentralnervös intensiver in einer höher-geordneten, späten Prozessierung. Ähnlich wie in der Studie von Pollatos et al. (2005b), konnte ein Arousal-Effekt demonstriert werden, der sich sowohl beim emotionalen Erleben als auch bei der zentralnervösen Verarbeitung zeigte. Demnach existieren Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern auf der Ebene des erlebten sowie zentralnervösen Arousalniveaus bzgl. emotional erregender Bilder.

Die vorliegende Studie beschäftigte sich mit der Bedeutung der Kardiosensibilität für schnelle, frühe perzeptuelle Verarbeitungsprozesse emotionaler Stimuli.

Die Fragestellung lautete:

Existiert ein Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und der schnellen, frühen visuellen Verarbeitung affektiver Reize? Ist es möglich, dass eine hohe Wahrnehmungsfähigkeit für kardiale Signale mit einer verstärkten, schnellen und frühen sensorischen, konzeptuellen Analyse von emotionalen Stimuli einhergeht?

Um den Hergang der Hypothesenbildung diesbezüglich verständlich zu machen, möchte ich folgende, im theoretischen Teil der Arbeit bereits beschriebene Befunde und Zusammenhänge zusammenfassen:

W. James (1884; siehe Kapitel 2.2.) ging davon aus, dass bestimmte Reize in der Umwelt direkt durch das Triggern von körperlich-viszeralen Reaktionen, zu einem Gefühl bzw. zu „standard emotions“ führten. Dabei meinte er jene Emotionen, welche körperliche Veränderungen provozieren bzw. einen körperlichen Ausdruck besitzen, die im Gefolge eines Umweltstimulus auftreten.

Heute würden man diese Reize als „emotional signifikante“ oder „motivational-emotional bedeutsame Reize“ bezeichnen (z.B. Lang et al., 1997), welche nachweislich bevorzugt vom Gehirn verarbeitet werden (z.B. Cuthbert et al., 2001; Keil et al., 2002; Schupp et al., 2003a,b, 2004). Bei Damasio (1999, 2000; siehe Kapitel 2.4.) werden diese spezifischen Emotionen als „primäre Emotionen“ bezeichnet. Sie werden von „primary inducers“

(unkonditionierte oder erlernte Reize, die einen aversiven oder angenehmen Zustand hervorrufen) über die Aktivierung v.a. der Amygdala automatisch induziert. Für diese Aufgabe der Amygdala besteht nach heutigen Erkenntnissen kein Zweifel mehr (siehe auch unten; siehe Kapitel 5.1.1.). Nach Damasio implizieren diese „primary inducers" eine Aktivierung der Amygdala und des „body loops", also die volle Auslösung emotionaler Zustände im Gehirn und in der Körperperipherie. Wenn auch „secondary inducers" (Erinnerungen, Vorstellungsbilder, abgespeicherte Emotionsmuster) vornehmlich den „ as if body loop" aktivieren, wofür der ventromediale Präfrontalkortex eine gewichtige Rolle spielt, werden prinzipiell immer beide Pfade angesprochen, wenn externe Umweltreize Emotionen triggern (Damasio, 1999, 2000). So können, nach Damasio, externe, „primary inducers" immer auch Gedanken und abgespeicherte Emotionsmuster aktivieren, welche somit auch den „as if body loop" ansprechen (z.B. Bechara, Damasio & Damasio, 2003; Damasio, 1999, 2000). Der „as if body loop" ist dadurch kennzeichnet, dass Repräsentationen körperbezogener Veränderungen direkt in somatosensorischen Karten des Gehirns (z.B. somatosensorischer Kortex, Insula, Hirnstammkerne) hervorgerufen werden können, so dass Empfindungen und Einflüsse auf Emotionsverarbeitung auch ohne volle Aktivierung des „body loop" entstehen können (siehe Kapitel 2.4.).

Über die James´sche Aussage hinausgehend, hat Damasio (1999, 2000) nunmehr des weiteren ganz explizit nicht nur einen Einfluss von körperlichem Arousal bzw. somatischen Markern auf bewusste Prozesse der Wahrnehmung von Emotionen sowie höhere kognitive und Emotionsverarbeitungsprozesse angenommen, sondern auch auf „weniger bewusste" Prozesse, wie die Verstärkung der Aufmerksamkeitsfokussierung auf das verursachende Objekt betont (Damasio, 1999, 2000). Ich habe in Kapitel 2.4.5. bei der Besprechung von Damasios Modell und der Entstehung des Proto-Selbst und des Kern-Selbst zusammengefasst, dass die Entstehung des Kern-Selbst neben dem Erzeugen des Fühlens von Emotionen einen zweiten Effekt besitzt, nämlich die Hervorhebung desjenigen Objekts in der Umwelt, welches die Auslösung des emotionalen Zustands getriggert hat (Damasio, 1999, 2000):

Während das Proto-Selbst in Hirnregionen konstituiert wird, welche die „Karten erster Ordnung" (v.a. Hirnstammkerne, Hypothalamus, insulärer Kortex, somatosensorischer Kortex), also die kontinuierlichen Abbildung (Repräsentation) des physischen Zustands und der Reaktionen des Organismus beinhalten, stellt das Kern-Selbst die Re-Repräsentation und Integration von Objekt und Körperreaktionen dar. Sowohl das auslösende Objekt (z.B. visuelles Objekt im visuellen Kortex) als auch der körperliche Zustand werden laut Damasio in Karten erster Ordnung repräsentiert. Entsteht nun das Kern-Selbst, so werden beide Karten erster Ordnung (des Objekts und der körperlichen Reaktionen) in Karten zweiter Ordnung repräsentiert und integriert. Hierfür ist der cinguläre Kortex, als

Repräsentationsstruktur zweiter Ordnung ganz wesentlich (Damasio, 1999, 2000; siehe Kapitel 2.4.5.). Dieser Prozess führt nach Damasio gleichzeitig zu einer verstärkten Aufmerksamkeitsausrichtung auf das auslösende Objekt, in dem Sinne, dass dieses Objekt besonders im Gegensatz zu anderen hervorgehoben werde (Damasio, 2000, S.221). Ganz konkret beschreibt Damasio, dass v.a. der cinguläre Kortex eine ganz wesentliche Funktion hierfür erfüllt, weil dort sowohl Signale aus der Körperperipherie (über Strukturen erster Ordnung, z.B. Insula) repräsentiert werden können sowie Verbindungen zu denjenigen Strukturen existieren, welche das Objekt repräsentieren (im Falle eines visuellen Objekts der visuelle Kortex) (Damasio, 1999, 2000; siehe Kapitel 2.4.5.; v.a. Abbildung 2.6.). Wie ich in Kapitel 5.1.2. besprochen habe, trifft dies für den cingulären Kortex, und das ihn umgebende neuronale Netzwerk durchaus zu (siehe auch unten).

Man kann somit an dieser Stelle bereits folgendes schlussfolgern:

Da gezeigt wurde, dass Personen mit einer ausgeprägten Fähigkeit zur Wahrnehmung ihrer interozeptiven Signale (Kardiosensibilität) (= gute Herzwahrnehmer) eine intensivere Reizverarbeitung viszeraler, kardialer Signale in von Damasio benannten wichtigen Repräsentationsstrukturen im Gehirn besitzen (z.B. Pollatos & Schandry, 2004; Pollatos et al., 2005a) als Kardiounsensible (= schlechte Herzwahrnehmer) und dass beim Prozess der Kardiozeption wesentliche Teile dieser Strukturen (v.a. Insula, cingulärer Kortex, präfrontale Hirnregionen und somatosensorischer Kortex) beteiligt sind (Critchley et al., 2004), kann angenommen werden, dass Kardiosensibilität einen Einfluss auf die sensorische Wahrnehmung und Verarbeitung eines emotional bedeutsamen Objekts besitzt.

Die aktuelle Emotionsforschung hat nunmehr gezeigt, dass eine verstärkte sensorisch-visuelle Prozessierung affektiver Stimuli bereits sehr früh in visuellen Kortizes abläuft (z.B. Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003 a,b, 2004; siehe Kapitel 5.2.4.2.). Diese verstärkte, frühe sensorische Prozessierung von affektiven Reizen soll zudem die höher-geordnete Verarbeitung dieser Stimuli erleichtern (z.B. Bradley et al., 2004; Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003; Lang et al., 1998). Studie 1 hat bereits gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer eine intensivere späte emotionale Reizverarbeitung zeigen.

Die in Kapitel 5.2.4.2. erörterten EKP-Studien hierzu haben anhand des ebenfalls dort beschriebenen „Rapid Serial Visual Presentation Paradigmas“ (RSVP) eine „Early posterior negativity“ (EPN) auf emotional erregende Bilder nachweisen können (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2000 b; 2004). Diese EPN ist charakterisiert als eine ausgeprägtere, langsame relative Negativierung auf emotional erregende im Vergleich zu neutralen Bildern, welche über posterioren, temporo-okzipitalen Regionen auftritt. Die EPN wird ab ca. 150 ms nach Bildonset beobachtet und hat ihren Gipfel bei 280-300 ms.

Auch diese Komponente des EEG zeigt eine starke Korrelation mit dem Arousalniveau der Bildstimuli, ähnlich wie dies auch für die LPPs gezeigt werden konnte (z.B. Schupp et al., 2003a,b; 2004). Die EPN auf emotionale Bildreize wird im Sinne einer „natural selective attention“ und einer reflexiven, selektiven Aufmerksamkeit für emotional relevante Stimuli interpretiert (Junghöfer et al., 2001; Bradley et al., 2004; Schupp et al., 2003a,b, 2004).
Diese Ergebnisse werden unterstützt von Befunden aus fMRI- und PET-Studien, welche bereits eruieren konnten, dass emotional erregende Bilder zu einer verstärkten Aktivierung im okzipitalen, visuellen Kortex im Vergleich zu neutralen Bildern führten (siehe Kapitel 5.1.1.2.; z.B. Bradley et al., 2003; Lane et al., 1997, 1999; Lang et al., 1998; Frederikson et al., 1993; Reiman et al., 1997; Knight et al., 1999; LaBar et al., 2001; Sprengelmeyer et al., 1998). Das Ausmaß der Aktivierung im visuellen Kortex für emotionale im Vergleich zu neutralen Bildern ist ähnlich wie die EPN mit der Intensität der Emotion assoziiert ist (z.B. Bradley et al., 2003). Dafür sprechen auch Befunde von Lane et al. (1999), die einen Aktivierungsanstieg im extrastriatalen visuellen Kortex und anterioren temporalen Kortex zeigen konnten, wenn Personen visuelle Stimuli in Verbindung mit hohem subjektivem Arousal und während der Generierung starken sympathischen Arousals (Hautleitfähigkeit) verarbeiteten.
Zudem wurde gezeigt, dass die Aktivierung des infero-temporalen visuellen Kortex vom individuellen Person-Arousal beim Betrachten von emotionalen Stimuli abhängig ist. So zeigten Patienten mit phobischen Angststörungen eine erhöhte Aktivierung in den visuellen Assoziationsarealen beim Betrachten angstbezogener emotionaler Reize (Frederikson et al., 1993; Sabatinelli et al., 2005). Bei Patienten mit posttraumatischer Belastungsstörung konnte eine signifikant stärkere Aktivierung des Okzipitalkortex beobachtet werden, wenn sie sich Trauma-bezogene Szenen vorstellten, als wenn sie neutrale Ereignisse imaginierten (Rauch et al., 1996). Auch wenn die Aufmerksamkeit auf subjektive emotionale Reaktionen gerichtet wurde, wurden infero-temporale visuelle Kortexareale aktiviert (Lane et al., 1997).
Entsprechend ist davon auszugehen, dass die frühe sensorische Verarbeitung emotionaler Reize von Arousal-Aspekten auch innerhalb der Person beeinflusst wird (z.B. Sabatinelli et al., 2005).

Diese Zusammenfassung macht auf einen weiteren Aspekt aufmerksam, nämlich die vom Arousal der Emotionsstimuli als auch vom Arousal der Person abhängige Aktivierung visueller affektiver Verarbeitungsprozesse:
Da die erste Studie (Studie 1) der Arbeit replizieren konnte, dass gute Herzwahrnehmer sich im Erregungsaspekt sowohl bzgl. der P300 und Slow Wave Aktivierung als auch im subjektiven emotionalen Erleben von schlechten Herzwahrnehmern unterschieden, ist somit

davon auszugehen, dass sich die beiden Gruppen ebenso auf der Arousal-Ebene in der frühen, visuell-affektiven Verarbeitung unterscheiden sollten.

Ich habe in Kapitel 5.1.1. und 5.2.4.2. erörtert, dass die frühe, sensorische, verstärkte affektive Verarbeitung besonders auf „re-entrant" Prozesse zwischen der *Amygdala* (z.B. Amaral et al., 1992; Sabatinelli et al., 2005) und dem ventralen visuellen Strom im infero-temporalen Kortex (Anderson & Phelps, 2001; Amaral et al., 1992; Sabatinelli et al., 2005; Morris et al., 1998; Schupp et al., 2003b; Wahlen et al., 1998) sowie dem *anterioren exekutiven System* bzw. anterioren Aufmerksamkeitsnetzwerk – das v.a. *den cingulären Kortex* (Posner et al., 1990, 1996; Bradley et al., 2003) sowie *präfrontale Kortexregionen* (Lane et al., 1999; Bradley et al., 2003; Moratti, Keil & Stolarova, 2003), beinhaltet, welche u.a. für Aufmerksamkeits- und motivational-emotionale Prozesse (z.B. Posner, 1990, 1996) aber auch für viszerosensitive Repräsentation (Damasio, 1999, 2000; Critchley et al., 2004; Pollatos et al., 2005) von Relevanz sind -, zurückgeführt wird (siehe Bradley et al., 2003).
Diese Strukturen des Gehirns besitzen demnach wichtige „Top Down" Einflüsse auf die Prozessierung im visuellen Kortex (Bradley et al., 2003) und stellen zudem wichtige Hirnstrukturen dar, welche körperliches Feedback repräsentieren sowie eine Aufmerksamkeitsverstärkung auf das „verursachende Objekt" bewirken können.

In Kapitel 5.1.1. habe ich ausführlich die Funktion der Amygdala bei der automatischen, schnellen Erkennung von emotionalen Reizen und der Induktion von emotionalen und physiologischen Reaktionen geschildert (LeDoux, 1996; Hamann et al., 2002; Whalen et al., 1998; Critchley et al. 2002). Dort habe ich den Verlauf der visuellen Information über den „ventralen visuellen Strom" („Was-Weg") auf dem „hohen Weg" (vom Thalamus über den sensorischen, visuellen Kortex – infero-temporalem Kortex - zur Amygdala) und den von dort aus startenden Projektionen zur Amygdala beschrieben, wobei die Amygdala selbst wieder zu allen Ebenen des ventralen Stroms zurückprojiziert (LeDoux, 1996). Diese Feedback-Schleifen verstärken die visuelle Verarbeitung und die Lenkung von Aufmerksamkeit auf emotional relevante Reize. Simultan wird nach LeDoux auch der „schnelle, niedrige Weg" (vom Thalamus direkt zur Amygdala) aktiviert. Ich habe beschrieben, dass die Amygdala somit einen Mechanismus bereitstellt, der dafür sorgt, dass affektiv relevante Ereignisse und Stimuli stärker fokussiert werden und dadurch die Chance steigt, dass diese bewusst werden (Anderson & Phelps, 2001).
Die Amygdala ist jedoch nicht nur eine wichtige Emotionsinduktionsstruktur und induziert selbst sowie über Projektionen zu Hypothalamus und Hirnstamm autonom-nervöse und endokrine körperliche Reaktionen sondern empfängt auch physiologisches Feedback (v.a.

über Insula und direkt über Hirnstammkerne: v.a. Nucleus tractus solitarii, Nucleus parabrachialis) (Adolphs, 2003; Damasio, 1999, 2000).

Zudem weist die Amygdala neben den Feedback-Schleifen zu allen Ebenen des visuellen Kortex reziproke Verbindungen zum cingulären Kortex und zum insulären Kortex (z.B. Barbas et al., 2003) auf, beides Strukturen, welche für die Repräsentation viszeraler Signale aus dem Körper und der Integration von Emotion und Körpersignalen von größter Bedeutung sind (z.B. Craig, 2002, 2003; Critchley et al., 2004; 2005; Damasio, 1999, 2000; Lane et al., 1998, 1999; siehe Kapitel 3.2.4.).

Die genannten Hirnstrukturen die jeweils eng miteinander über Projektionen vernetzt sind (z.B. Thayer & Lane, 2000; siehe Kapitel 5.1.) sind zudem Teil des *„central autonomic network“* (CAN) (siehe Kapitel 3.2.; v.a. cingulärer Kortex, insulärer Kortex, ventromedialer Präfrontalkortex, Amygdala, Hypothalamus, Hirnstammkerne), welches sowohl bei der Emotionsverarbeitung, bei der Regulation physiologischer Reaktionen als auch der Verarbeitung interozeptiver Reize eine wesentliche Rolle spielt.

Die Strukturen des CAN überlappen sich stark mit denjenigen Hirnstrukturen, welche in Damasios Theorie als wichtige körperliche Repräsentations- und Integrationsstrukturen spezifiziert werden und in empirischen Studien als relevant für die Verarbeitung viszeralen Feedbacks demonstriert wurden (v.a. Insula, cingulärer Kortex, präfrontale Kortexregionen, somatosensorischer Kortex, Hirnstammkerne (z.B. Critchley et al., 1994, 2005; siehe Kapitel 3.2.). Darunter fallen auch diejenigen Hirnstrukturen als Teile des emotional-interozeptiven Netzwerks, von denen gezeigt wurde, dass sie während der Konzentration auf den eigenen Herzschlag aktiviert werden (Insula, cingulärer Kortex, präfrontaler Kortex somatosensorischer Kortex) (Critchley et al., 2004; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann (2004b), wobei gute Herzwahrnehmer eine stärkere Dipolstärke in den Quellen des HEP (v.a. Insula, ACC, präfrontale Hirnregionen) aufweisen als schlechte Herzwahrnehmer (Pollatos et al., 2005a).

Dieses Netzwerk an Hirnregionen ist nachweislich ganz wesentlich an der guten Wahrnehmungsfähigkeit und Differenzierungsfähigkeit sowohl externer und interner emotionaler Reize beteiligt (Thayer & Lane, 2000 Lane et al., 1995, 1998; Lane et al.,1999), so dass dies auch nochmals die formulierte Hypothese stützt, dass es einen Zusammenhang zwischen interozeptiven Prozessen und der sensorischen Prozessierung affektiver Stimuli geben sollte.

Ganz gezielt betonen so Lane und Mitarbeiter (Thayer & Lane, 2000; Lane & Schwartz, 1987; Lane et al., 1998) sowie Craig (2004), dass eine enge Beziehung besteht zwischen interozeptiver Sensitivität, „emotional awareness“ und der Verarbeitung und Detektion emotionaler Stimuli.

Erste Hinweise für die Beeinflussung der visuellen Verarbeitung emotionaler Reize durch interozeptive Zustände können folgenden Studien entnommen werden (siehe Kapitel 5.1.1.2.):

LaBar et al. (2001), zeigten in einer fMRI-Studie, dass bei hungrigen Probanden visuelle, motivational relevante Stimuli von Nahrungsreizen zu einer deutlich stärkeren Aktivierung der Amygdala sowie dem fusiformen Gyrus im Okzipitalkortex führten, als bei gesättigten Probanden. LaBar et al. (2001) betonen daher explizit, dass die Amygdala und assoziierte inferotemporale Regionen, welche im „ventralen visuellen Strom" liegen und bei der verstärkten sensorischen Verarbeitung visueller Information durch motivational relevante Reize wichtig sind, eine wichtige Funktion bei der Integration des interozeptiven Zustands (hier: Hunger) mit relevanten sensorischen Reizen besitzen.

Interessant an dieser Studie ist, dass Nahrungsreize auch im gesättigten Zustand zu einer ausgeprägteren Aktivierung von Amygdala und visuellem Kortex führten, diese Aktivierung jedoch stärker war, wenn die Probanden einige Stunden lang nichts gegessen hatten, was die Relevanz interozeptiver Zustände („interoceptive states") besonders betont (siehe LaBar et al., 2001).

Für die Beeinflussung der schnellen, frühen, visuellen Emotionsverarbeitung (EPN) im RSVP durch interozeptive Zustände sprechen Ergebnisse von Stockburger et al. (2004, 2005). Die Resultate der Studien zeigten eine Verstärkung der EPN am visuellen Kortex auf nahrungsbezogene Bildstimuli bei nahrungsdeprivierten, also hungrigen, Probanden. Dieser Befund macht auf die Beeinflussung dieses frühen, perzeptuellen Verarbeitungsprozesses durch „bodily states" aufmerksam.

Hunger impliziert nicht nur einen diffusen motivationalen Zustand, sondern geht gezielt mit der Aktivierung interozeptiv bedeutsamer Hirnstrukturen einher, welche aktiviert werden, wenn hungrige Probanden Nahrungsstimuli betrachten. So konnten Porubska et al. (2005) die Aktivierung von insulärem und orbitofrontalem Kortex sowie des ventroposterioren Thalamus bei hungrigen Probanden während der Betrachtung von Nahrungsbildern nachweisen, was auf die Bedeutung des interozeptiven, physiologischen Feedbacks aus dem Körper nicht nur für das subjektive Gefühl des Hungers sondern auch für die Verarbeitung von relevanten externen Reizen hinweist (siehe Porubska et al., 2005).

Einen sehr eindringlichen Beleg für eine Beeinflussung der visuell-sensorischen Reizverarbeitung durch interozeptive Prozesse als auch für zerebrale Umstrukturierungsprozesse durch den Ausfall körperlicher Feedbacks stellen Ergebnisse von Critchley et al. (2001a) dar. Die Autoren zeigten in einer PET-Studie, dass PAF-Patienten im Vergleich zu gesunden Probanden während kardiovaskulärer Aktivierung (Handgrip, Kopfrechnen) eine aufgabenunspezifische veränderte Aktivierung des temporalen und extrastriatalen visuellen Kortex und eine aufgabenspezifische verminderte Aktivierung im

cingulären Kortex aufwiesen. Dieser Befund wird von den Autoren auf eine funktionelle Reorganisation im emotionalen und interozeptiv relevanten Netzwerk im Gehirn bei PAF-Patienten zurückgeführt, welche durch das Fehlen von viszeralem Feedback aus der Peripherie bei PAF-Patienten erklärt wird. Wie in Kapitel 5.1.1.2. erörtert, werden sensorische, visuelle Kortizes auch durch autonomes Arousal aktiviert und unterliegen so nach den Befunden von Critchley et al. (2000a,b, 2001a, 2005) auch modulierenden, ´arousalbezogenen´ Einflüssen aus dem viszeralen Feedback.
Befunde von Critchley et al. (2000a, b) zeigten etwa konkret, dass die Aktivierung in temporo-okzipitalen, visuellen Kortizes auch mit Fluktuationen des sympathischen Arousals, während einer Entscheidungsaufgabe korreliert war. Dies sei über Verbindungen zwischen visuellen Kortizes und Amygdala sowie emotions- und interozeptionsrelevanten Strukturen (v.a. cingulärer Kortex, Insula) zu erklären.

Zusammengefasst liegen somit eine ganze Reihe von empirischen Befunden und theoretischen Verbindungen vor, welche zu folgender Hypothese führen:

Hypothese:

Gute Herzwahrnehmer zeigen aufgrund ihrer intensiveren Verarbeitung viszeraler Signale eine intensivere frühe, visuelle Verarbeitung emotionaler Bilder über temporo-okzipitalen Regionen (EPN) als schlechte Herzwahrnehmer.

Die frühe sensorische affektive Verarbeitung wurde anhand der „Early Posterior Negativity“ (EPN) untersucht.

8.2. Methode und Experimenteller Ablauf

Versuchspersonen

Es wurden 42 (22 Männer, 20 Frauen) rechtshändige Probanden im Alter von 20 bis 43 Jahren (M = 27.2, SD = 6.5) untersucht. Die Probanden waren Studenten der LMU München und erhielten eine Bestätigung für Versuchspersonenstunden für ihre Teilnahme. Alle Teilnehmer wiesen keine kardialen und zerebralen Erkrankungen auf und waren körperlich und psychisch zum Untersuchungszeitpunkt ohne Befund.
An dieser Studie nahmen alle Teilnehmer aus der Probandenstichprobe teil, welche bereits in Studie 1 partizipierten, bis auf einen. Dazu kamen 6 neue Probanden.

Experimenteller Ablauf

Die Probanden wurden nach Ankunft im Labor über den Ablauf des Experiments genau informiert und gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme.
Zu Beginn wurde den Probanden der STAI (State-Trait-Angstinventar von Laux, Glanzmann, Schaffner & Spielberger, 1981) vorgelegt.
Dies war zur Kontrolle von Unterschieden zwischen den Gruppen in der State- und Trait-Angst notwendig. Nicht zuletzt wurde gezeigt (z.B. Sabatinelli et al., 2005), dass die visuelle affektive Verarbeitung von affektiv bedeutsamen Reizen bei Phobikern und Angstpatienten intensiviert ist, so dass Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern auch auf eine unterschiedliche situative oder habituelle Ängstlichkeit zwischen den Gruppen erklärt werden könnten. Nicht zuletzt haben einige Studien gezeigt, dass kardiosensible Personen zumindest eine höhere State-Angst (Schandry, 1981) aufwiesen sowie Panikpatienten eine erhöhte Kardiosensibilität zeigen (Ehlers, 1995; Ehlers & Breuer, 1996). Um diesen Faktor zu kontrollieren, war daher die Erhebung und statistische Analyse von State- und Trait-Angst wesentlich.
Danach wurde der Herzwahrnehmungstest nach Schandry (z.B. 1981) durchgeführt. Hierzu wurde jeder Proband in eine lärmgeschützte Untersuchungskabine geführt und bekam nicht-polarisierbare Ag/AgCl Elektroden zur EKG-Aufzeichnung angelegt. Das EKG wurde nach Einthoven II anhand des Aufzeichnungs- und Analysesystems MP150, Version 3.7.2., und der zugehörigen Software AcqKnowledge (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara) aufgezeichnet. Die Probanden wurden gebeten, sich in einem bequemen Sessel vor Beginn der Untersuchung 5 Minuten lang zu entspannen und während der Untersuchungen ruhig und still zu sitzen.

Nach der Beendigung des Herzwahrnehmungstests wurden die Probanden dann jeweils in die EEG-Untersuchungskabine geleitet. Dort nahmen sie in einem bequemen Sessel Platz und es wurden EEG und EOG angelegt.
Vor dem Beginn des eigentlichen Experiments wurden den Probanden jeweils 15 neutrale Testbilder des IAPS, welche später nicht im Experiment präsentiert wurden, gezeigt, damit sich die Teilnehmer an die Präsentationsbedingungen gewöhnen konnten. Im Anschluss daran verließ der Versuchsleiter die Kabine und die Probanden betrachteten die IAPS Bilder, welche anhand des Paradigmas der „Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) (siehe Junghöfer et al., 2001) präsentiert wurden, während das EEG aufgezeichnet wurde.
Nach der Bildpräsentation und EEG-Aufzeichnung wuschen sich die Probanden die Haare und bewerteten die bereits gezeigten Bilder anhand einer Computer-Fassung des „Self-Assessment-Manikin“ (SAM), um Auskunft über die subjektiven Ratings der Bilder zu erhalten. Dazu wurden den Probanden alle im RSVP-Experiment präsentierten Bilder noch einmal gezeigt. Die Probanden sahen dabei jeweils ein IAPS-Bild für 2 Sekunden, worauf sodann die Valenzskala des SAM erschien und nach Bearbeitung derselben die Arousalskala des SAM gezeigt wurde. Die Probanden schätzten jedes Bild nach Valenz und nach Arousal ein, indem sie mit der Maus am Bildschirm die entsprechende Skala des SAM anklickten. Die Antworten wurden automatisch aufgezeichnet und für jede Versuchsperson in einer Datei abgelegt.

Herzwahrnehmungstest

Der Herzwahrnehmungstest wurde genauso wie in Studie 1 durchgeführt. Das Prozedere ist Studie 1 zu entnehmen.
Zur weiteren Analyse der Daten wurden die Probanden anhand ihres Herzwahrnehmungsscores in eine Gruppe guter und eine Gruppe schlechter Herzwahrnehmer aufgeteilt. Nach Montoya et al. (1993) sowie Weitkunat & Schandry (1995) wurden die Probanden mit einem Herzwahrnehmungsscore > 0.85 der Gruppe der guten Herzwahrnehmer und Probanden mit einem Herzwahrnehmungsscore < 0.85 der Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer zugewiesen. Für diese Studie erhielt man so N = 21 gute Herzwahrnehmer und N = 21 schlechte Herzwahrnehmer.

Stimulusmaterial und Design

Es wurden insgesamt 480 Bilder aus dem „International Affective Picture System“ (IAPS), bestehend aus 80 positiven, 80 neutralen und 80 negativen Bildern, die insgesamt zweimal

in randomisierter Anordnung gezeigt wurden, ausgewählt. Insgesamt wurden somit 160 Bilder einer jeden Emotionskategorie präsentiert.

Alle Bilder wurden nach den normativen Ratings des IAPS (CSEA, 1999; Lang et al., 1999) ausgewählt und variierten hinsichtlich Valenz und Arousal. Die positiven, negativen und neutralen Bilder unterschieden sich entsprechend signifikant in ihrer Valenz (positive Bilder: M = 6.72; neutrale Bilder: M = 5.13; negative Bilder: M = 2.64; $F(3, 738) = 86.31$, $p < 0.001$).

Die neutralen Bilder (M = 3.18) besaßen, wie gewünscht, ein signifikant niedrigeres Arousal (post-hoc LSD-Test: $p < 0.001$) als positive (M = 6.22) und negative Bilder (M = 6.33). Positive und negative Bilder unterschieden sich nicht signifikant in ihren normativen Arousalwerten (post-hoc LSD Test: $p > 0.05$).

Die Bilder wurden einer Auswahl an IAPS-Bildern entnommen, welche in der Forschungsabteilung Klinische Psychologie der Universität Konstanz in Gebrauch sind, die dieses Bildpräsentationsparadigma der RSVP als erste untersuchten (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b). Die ausgewählten Bilder wiesen entsprechend keine wesentlichen Unterschiede in Komplexität sowie Farbintensität und Helligkeit auf.

Die positiven Bilder zeigten v.a. heterosexuelle Paare in erotischen und sexuellen Situationen, attraktive Nacktaufnahmen, aber auch niedliche Tierbilder und Babies. Die negativen Bilder beinhalteten Szenen von Naturkatastrophen, Schlangen und bedrohliche Bilder. Allerdings wurden aus dem ursprünglichen Bildmaterial Blut- und Verstümmelungsbilder heraus genommen und nicht gezeigt.

Die Bilderpräsentation folgte dem RSVP-Paradigma (siehe Junghöfer et al., 2001; siehe Kapitel 5.2.4.2.): Die Bilder wurden kontinuierlich und mit einer Darbietungszeit pro Bild von 333 ms auf einem 19-Zoll Monitor (refresh rate: 85 Hz), welcher 1.5 Meter vor dem Probanden platziert war gezeigt. Die Bilddarbietung erfolgte in einer randomisierten Reihenfolge.

Die Programmierung der Bildpräsentation und der EEG-Trigger-Setzung erfolgte anhand der Software „Presentation“.

EEG-Datenerhebung

Die EEG-Aktivität wurde kontinuierlich über 61 Kanäle plus HEOG und VEOG mit einem DC Verstärker (Bandpass: 0.01 – 100 Hz) und einer Digitalisierungs-Rate von 500 Hz aufgezeichnet. Die Elektrodenpositionen wurden anhand der verwendeten Elektrodenkappe (Easy Cap, Falk Minow Services) bestimmt (erweitertes 10-20er System). Cz war online Referenz, die Ground-Elektrode wurde an der linken Wange platziert.

Die Impedanzen wurden unterhalb 5 kΩ gehalten. Das EEG wurde offline nach einer „Average-Reference“ re-referenziert (siehe Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b).

8.3. Datenreduktion und Analyse

STAI

Zur Testung von Gruppenunterschieden in der State- und Trait-Angst wurden für die mittleren Rohwerte der State- und Trait-Angst-Skala jeweils t-Tests für unabhängige Stichproben berechnet.

Analyse des SAM-Ratings

Um zu kontrollieren, wie die Probanden die emotionalen Bilder subjektiv bewerteten, sowie um nochmals zu testen, ob gute Herzwahrnehmer emotionale Bilder als höher erregend erlebten als schlechte Herzwahrnehmer wurden die Mittelwerte der Valenz- und Arousalratings der SAM analysiert. Eine „Ausreißeranalyse“ zeigte, dass keiner der Probanden mehr als zwei Standardabweichungen vom Gesamtmittelwert in Valenz- und Arousalwerten abwich.
Zur statistischen Analyse wurde eine Messwiederholungs-ANOVA mit dem Innersubjektfaktor „Emotionsinhalt“ (3 Stufen: positiv, neutral, negativ) und dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“ (2 Stufen: gute vs. schlechte Herzwahrnehmer durchgeführt. Wie üblich werden bei Verletzungen der Sphärizitätsannahme die unkorrigierten F-Werte zusammen mit den nach Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet. Zur Analyse signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte wurden post-hoc Tests nach Scheffé durchgeführt.

EEG-Analyse

Das aufgezeichnete EEG wurde nach EOG, Muskelaktivität und anderen Quellen elektrophysiologischer Artefakte überprüft. Es wurde eine EOG-Korrektur nach Augenartefakten mittels Vision Analyzer, der EEG Auswertungssoftware (Brain Vision Analyzer, Brain Products GmbH, Germany), anhand des von Gratton, Coles & Donchin (1983) entwickelten Korrekturalgorithmus durchgeführt. Zudem wurden Intervalle, welche eine Aktivität von über oder unter 80 µV beinhalteten von der weiteren EEG-Analyse ausgeschlossen. Das EEG wurde anhand eines Bandpass-Filters von 0.01 – 50 Hz offline gefiltert.
Nach den gesetzten Bildtriggern wurden sodann Epochen von 400 ms (50 ms Prä- und 350 ms Post-Stimulusonset) für jeden Stimulus gebildet. Die frühe sensorische, affektive Verarbeitung anhand der EPN wird typischerweise über bilateralen temporo-okzipitalen

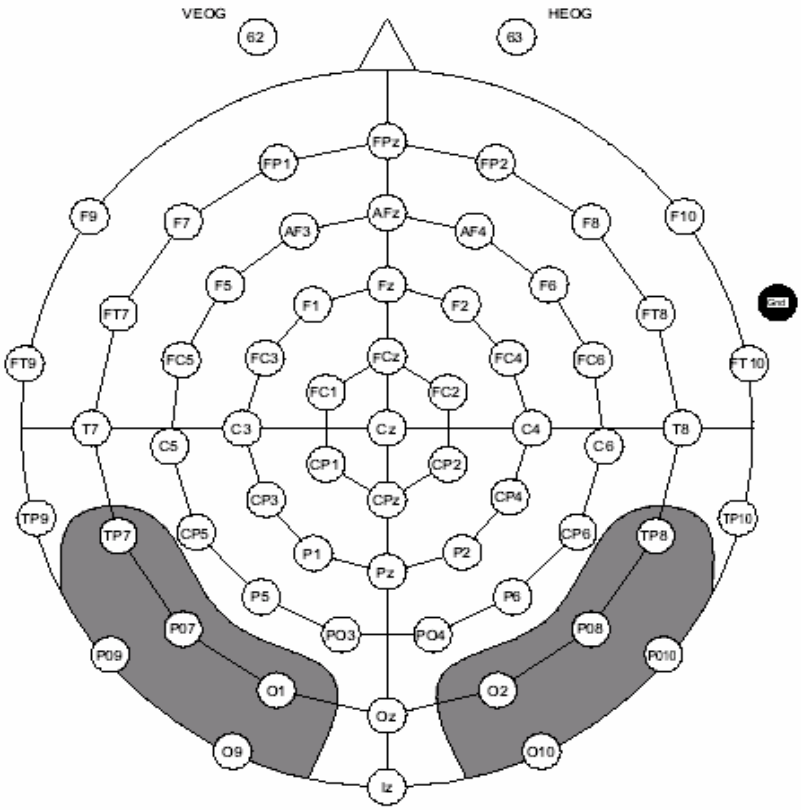
Clustern erhöhter Negativität auf emotional erregende im Vergleich zu neutralen Bildern beobachtet. Ähnlich wie in früheren Untersuchungen (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b) wurde die EPN als mittlere Amplitude in einem Zeitbereich von 180 bis 320 ms über linken und rechten temporo-okzipitalen Elektrodenclustern berechnet. Jedes Elektrodencluster umfasste 5 Elektroden (siehe Abbildung 8.1.). Abbildung 8.3. (siehe unten) zeigt das zeitliche Fenster der EPN für emotionale Bilder.

Die jeweiligen Mittelwerte der beiden Cluster gingen in die statistische Analyse ein.

Für die statistische Analyse wurden für den EPN-Latenzbereich Wiederholungsmessungs-ANOVAs mit den Faktoren „Emotionsinhalt“ (3 Stufen: positiv, neutral, negativ), „Lateralität“ (2 Stufen: linke Hemisphäre vs. rechte Hemisphäre) und „Herzwahrnehmungsgruppe“ (2 Stufen: gute vs. schlechte Herzwahrnehmer) berechnet.

Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme wurden die Freiheitsgrade wiederum nach der Greenhouse-Geisser Methode (Greenhouse & Geisser, 1959) korrigiert. Dabei werden unkorrigierte F-Werte zusammen mit den korrigierten p-Werten berichtet. Zur Beurteilung signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte, wurden post-hoc Testungen nach Scheffé durchgeführt.

Abbildung 8.1. Layout der Elektrodenanordnung: schattierte Elektrodenpools repräsentieren temporo-okzipitale Cluster der EPN



Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und Ausprägung der EPN-Aktivität wurden Spearman-Rho Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und EPN-Amplitude für positive, negative und neutrale Bilder berechnet.

8.4. Ergebnisse

Herzwahrnehmungstest

21 Probanden (9 Frauen) zeigten einen Herzwahrnehmungsscore größer als 0.85 und wurden der Gruppe der guten Herzwahrnehmer zugeordnet. Ihr mittlerer Herzwahrnehmungsscore betrug M = 0.90 (SD = 0.04). Die restlichen 21 Probanden (11 Frauen) zeigten einen Herzwahrnehmungsscore kleiner als 0.85 und wurden der Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer zugewiesen. Deren mittlerer Herzwahrnehmungsscore betrug M = 0.61 (SD = 0.18).
In der Gesamtstichprobe betrug der mittlere Herzwahrnehmungsscore M = 0.75 (SD = 0.20). Männliche Probanden zeigten einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.76 (SD = 0.21) und Frauen einen mittleren Score von M = 0.75 (SD = 0.19).
Die statistische Analyse anhand einer einfaktoriellen ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Geschlecht“ (2 Stufen: Männer vs. Frauen) zeigte, dass sich weibliche und männliche Probanden nicht signifikant in ihrer Herzwahrnehmungsfähigkeit unterschieden ($F (1, 40) = 0.04$, $p > 0.05$).

Alter, Geschlecht und STAI

Die statistische Prüfung anhand eines Chi^2-Tests demonstrierte, dass sich die Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer nicht signifikant in ihrer Verteilung an Männern und Frauen unterschieden ($Chi^2 = 0.27$, $df = 1$, $p > 0.05$). Tabelle 8.1. zeigt die Verteilung von Männern und Frauen in den Gruppen guter und schlechter Herzwahrnehmer.
Die beiden Gruppen unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant im Alter (einfaktorielle ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“: $F(1,40) = 0.002$, $p > 0.05$; gute Herzwahrnehmer: M = 27.1; SD = 1.42; schlechte Herzwahrnehmer: M = 27.2; SD = 1.42).

Tabelle 8.1. Geschlechterverteilung in den Gruppen der guten und der schlechten Herzwahrnehmer

	Männer	Frauen	Total
Gute Herzwahrnehmer	12	9	21
Schlechte Herzwahrnehmer	10	11	21
Total	22	20	42

Die Testung von Gruppenunterschieden in der State- und Trait-Angst ergab keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung dieser Variablen zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern (Werte demonstriert Tabelle 8.2.)

Tabelle 8.2. Gemittelte Rohwerte der State- und Trait-Angst-Skalen des STAI für gute und schlechte Herzwahrnehmer.

	State-Angst M (SD)	Trait-Angst M (SD)	t-Wert
Gute Herzwahrnehmer	39.37 (5.21)	38.87 (8.95)	0.05 (n.s.)
Schlechte Herzwahrnehmer	39.24 (9.79)	38.57 (7.79)	0.11 (n.s.)

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung
df = 40
(n.s.): $p > 0.05$

SAM-Rating

Varianzanalytische Ergebnisse

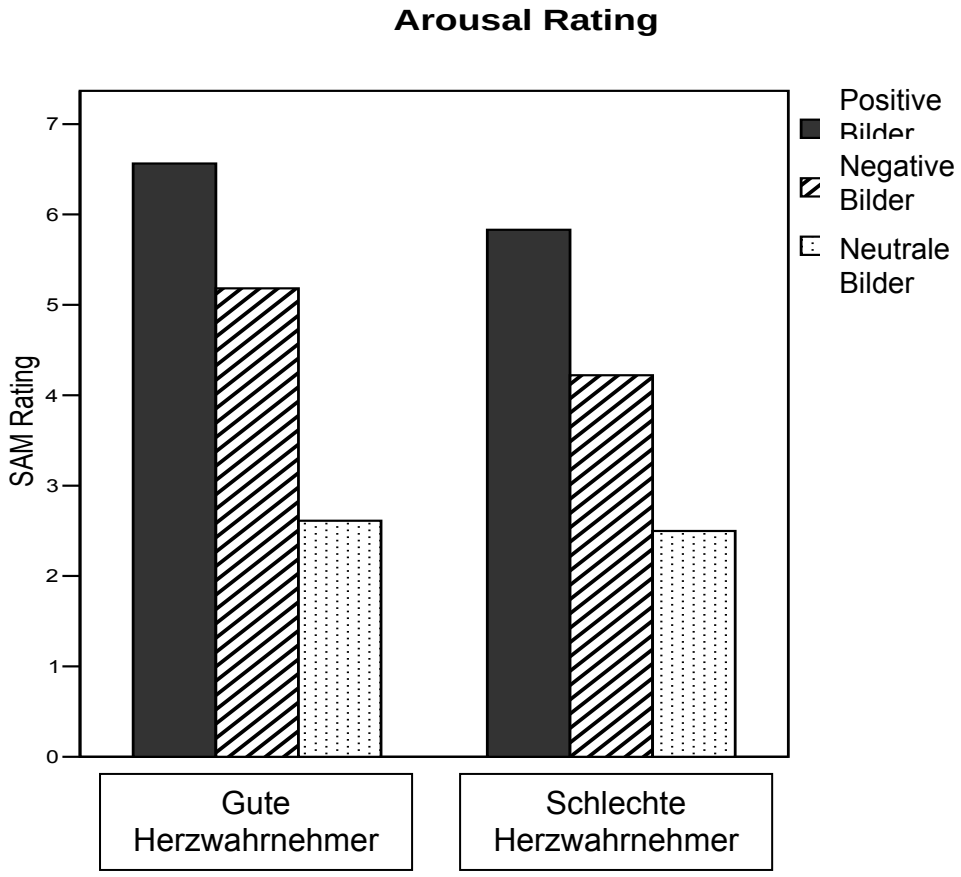
Wie zu erwarten war, unterschieden sich die Valenzratings des SAM auf signifikante Weise (signifikanter *Haupteffekt „Emotionsinhalt":* $F (2, 80) = 791.94$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.95$). Sowohl das mittlere Valenzrating der positiven Bilder (M = 6.92), neutralen (M = 4.92) und negativen Bilder (M = 2.31) unterschied sich signifikant voneinander ($p < 0.001$).

Der signifikante Haupteffekt „Emotionsinhalt“ der Arousal-Ratings ($F (2, 80) = 215.14$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.84$) zeigte, dass positive ($M = 6.10$) als auch negative Bilder ($M = 4.70$) signifikant ($p < 0.001$) erregender bewertet wurden als neutrale Bilder. Auch in dieser Studie wurden die positiven Bilder, wie in Studie 1 zudem als signifikant erregender erlebt als die negativen Bilder ($p < 0.01$).

Für die Arousalratings konnte, wie in Studie 1, ein *signifikanter Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe“* ($F (1, 40) = 5.63$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.16$) demonstriert werden. Gute Herzwahrnehmer ($M = 4.79$) bewerteten die Bilder geringfügig, jedoch signifikant erregender als die schlechten Herzwahrnehmer ($M = 4.18$).
Genauso wie Studie 1 zeigen konnte, wurde auch hier für die Arousalratings ein *signifikanter „Herzwahrnehmungsgruppe x Emotionsinhalt“ Interaktionseffekt* ($F (2, 80) = 3.10$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.11$) nachgewiesen. Post-hoc Scheffé Testung zeigte, dass die guten Herzwahrnehmer wiederum sowohl die positiven ($M = 6.56$) als auch die negativen Bilder ($M = 5.18$) als signifikant ($p < 0.05$) erregender einstuften als die schlechten Herzwahrnehmer (positive Bilder: $M = 5.83$; negative Bilder: $M = 4.22$).
Auch hier unterschieden sich beide Gruppen nicht in ihrer Bewertung der neutralen Bilder ($p > 0.05$).
Diese Ergebnisse sind in Abbildung 8.2. (nächste Seite) graphisch dargestellt.

Im Hinblick auf die Valenzratings demonstrierte die statistische Analyse, ebenfalls die Ergebnisse in Studie 1 bestätigend, *weder einen signifikanten Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe“* ($F (1,40) = 0.48$, $p > 0.05$) noch einen signifikanten *„Herzwahrnehmungsgruppe x Emotionsinhalt“ Interaktionseffekt* ($F (2, 80) = 1.15$, $p > 0.05$).

Abbildung 8.2. Mittlere SAM-Arousal Ratings der guten (N = 21) und schlechten Herzwahrnehmer (N = 21) für positive, neutrale und negative IAPS-Bilder



Korrelationsstatistik

Auch hier konnten wiederum signifikant positive Spearman-Rho Korrelationen zwischen Arousalratings der emotionalen Bilder und Herzwahrnehmungsscore gezeigt werden:
Signifikante Korrelationen lagen für das Arousalniveau der negativen Bilder (r_s = 0.30, $p < 0.05$) und der positiven Bilder (r_s = 0.49, $p < 0.05$) vor. Es konnte keine bedeutsame Korrelation zwischen Herzwahrnehmungsscore und dem Arousal-Rating der neutralen Bilder (r_s = 0.12, $p > 0.05$) sowie dem Valenzniveau der Bilder eruiert werden ($p > 0.05$).
Auch diese Ergebnisse bestätigen die Resultate der Studie 1.

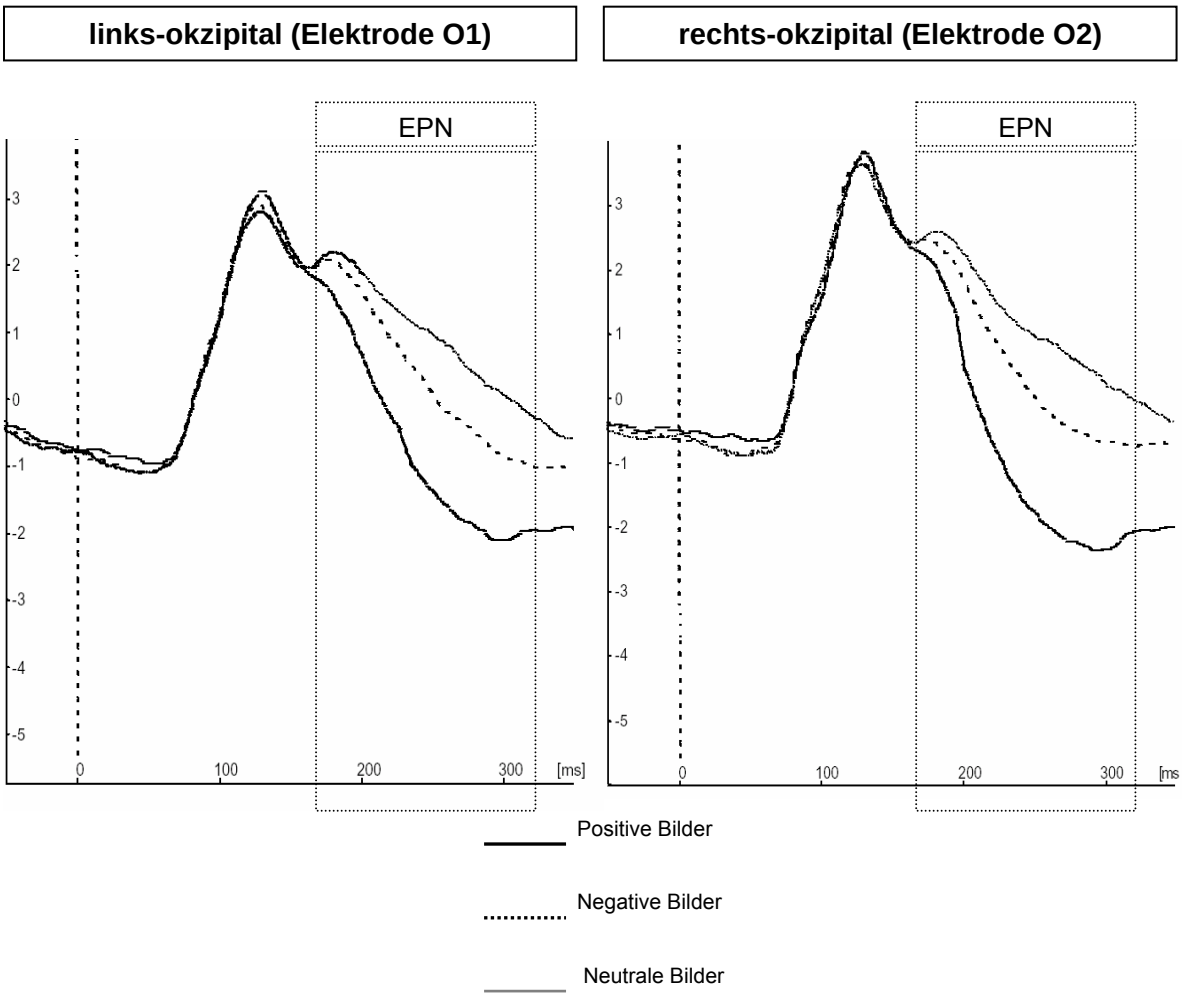
Ereigniskorrelierte Potentiale: „Early posterior negativity (EPN)“

Varianzanalytische Ergebnisse

Der Verlauf der EPN wird in Abbildung 8.3. an Elektrode O1 und O2 für emotional positive, negative und neutrale Bilder dargestellt. Der Verlauf zeigt eine relative Negativierung der

EPN für emotionale Bilder, welche sich um ca. 150 ms entwickelt und maximal ausgeprägt ist zwischen 260 -280 ms. Dies entspricht früheren Befunden von Schupp et al. (2003b).

Abbildung 8.3. Grand Means der EKPs: EPN für emotional positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode O1 (links-okzipital) und O2 (rechts-okzipital)

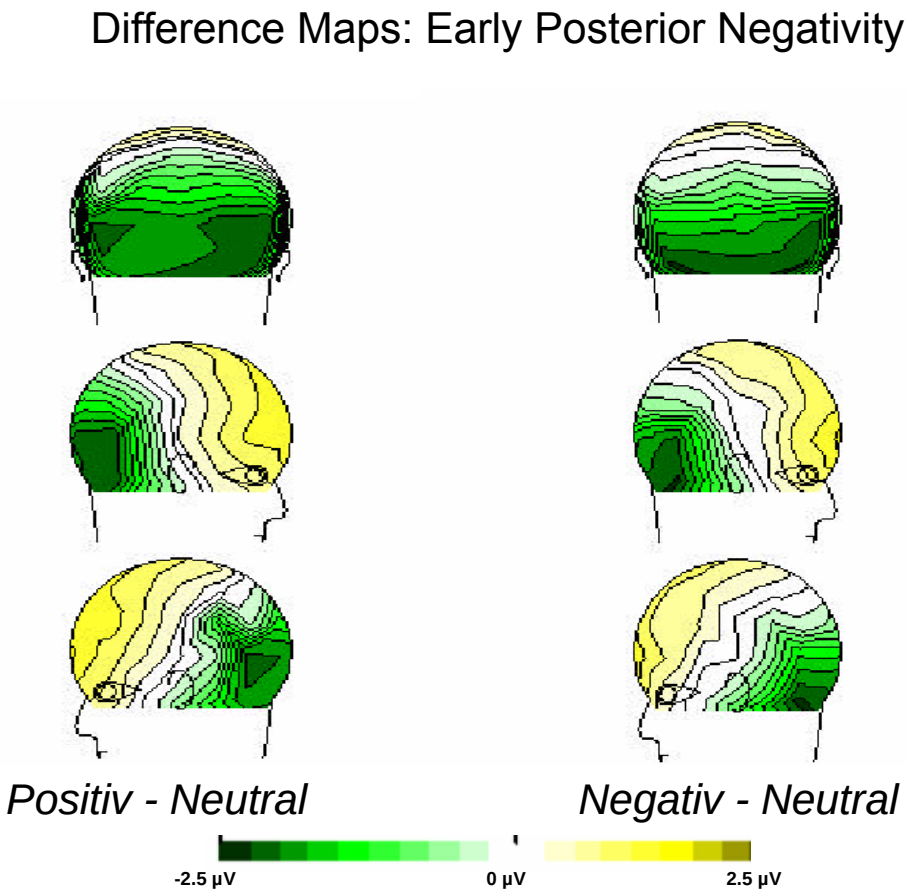


Man kann erkennen, dass affektive Bilder mit einem ausgeprägten relativen negativen Shift über temporo-okzipitalen Regionen assoziiert waren. Dies demonstriert auch die topographische Darstellung der EPN (Abbildung 8.4.). Wie in Kapitel 5.2.4.2. geschildert wurde, werden zur topographischen Darstellung der EPN so genannte „Differenzverläufe“ („difference maps“) benutzt, um eine deutlichere Negativierung sichtbar zu machen. Dies ist durch die Tatsache begründet, dass es sich bei der EPN auf emotionale Stimuli um eine eher „relative“ Negativierung im Vergleich zu den neutralen Bildstimuli handelt, und nicht immer um eine ausgeprägte deutliche absolute Negativierung, welche sich topographisch entsprechend klar darstellen lässt. Deshalb werden Differenzwerte für jeden Probanden zwischen den Amplituden für emotionale und neutrale Bilder gebildet und über die

Probanden gemittelt, welche sodann topographisch dargestellt werden (siehe Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b; Schupp et al., 2004).

Abbildung 8.4. zeigt somit die Topographie dieser Differenzwellen der EPN (="difference maps") für positive und negative Bilder. Dort wird der temporo-okzipitale Fokus der EPN deutlich, wie dies auch in früheren Studien demonstriert werden konnte (z.B. Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b; Schupp et al., 2004).

Abbildung 8.4. Topographie der frühen posterioren affektiven Modulation der EPN für emotionale Bilder (difference maps)



Die statistischen Ergebnisse zeigten zum ersten einen hochsignifikanten und *sehr ausgeprägten Haupteffekt „Emotionsinhalt"* für den EPN-Latenzbereich ($F(2, 80) = 95.48$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.72$). Post-hoc Testung replizierten vormaligen Befund (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b, 2004), dass emotionale Bilder (positive Bilder: M = -1.26 µV; SD = 1.02 µV; negative Bilder: M = -0.17 µV; SD = 0.74 µV) eine signifikant ($p < 0.001$) ausgeprägtere Negativierung der EPN im Vergleich zu neutralen Bildern (M = 0.69 µV; SD = 0.81 µV) induzierten.

Hier konnte jedoch zudem, ähnlich wie dies in Studie 1 für den späten Latenzbereich auftrat, eine signifikant ($p < 0.01$) stärkere EPN für positive im Vergleich zu negativen Bildern eruiert werden.

In Einklang mit den Studienergebnissen von Schupp et al. (2003b, 2004) konnte auch hier ein *signifikanter Haupteffekt „Lateralität"* eruiert werden ($F (1, 40) = 5.50$, $p < 0.05$): Die Bilder führten generell über dem rechtshemisphärischen temporo-okzipitalen Cluster ($M = -0.31$ µV; $SD = 0.69$ µV) zu einer ausgeprägteren Negativierung als über dem linkshemisphärischen Cluster ($M = -0.18$ µV; $SD = 0.67$ µV). Ebenso konsistent mit den Ergebnissen von Schupp et al. (2003b, 2004) zeigte sich jedoch *kein signifikanter Interaktionseffekt „Emotionsinhalt x Lateralität"* ($F (2, 80) = 2.02$, $p > 0.05$).

Die interessierenden Gruppenunterschiede betreffend, so konnte erstens ein *signifikanter Haupteffekt „Herzwahrnehmungsgruppe"* eruiert werden ($F (2, 40) = 7.36$, $p < 0.01$): Gute Herzwahrnehmer ($M = -0.50$ µV; $SD = 0.60$ µV) demonstrierten eine ausgeprägtere Negativierung als schlechte Herzwahrnehmer ($M = 0.013$ µV; $SD = 0.63$ µV).
Dieses Ergebnis wird erweitert durch den *signifikanten Interaktionseffekt „Herzwahrnehmungsgruppe x Emotionsinhalt"* ($F (2, 80) = 6.16$, $p < 0.01$). Post-hoc Testung zeigte, dass gute Herzwahrnehmer eine signifikant ausgeprägtere Negativierung der EPN für emotional positive ($M = -1.77$ µV; $SD = 0.99$ µV) und negative Bilder ($M = -0.41$ µV; $SD = 0.79$ µV) aufwiesen als schlechte Herzwahrnehmer (positive Bilder: $M = -0.75$ µV; $SD = 0.78$ µV; negative Bilder: $M = 0.08$ µV; $SD = 0.61$ µV). Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0.05$) bzgl. der EPN für neutrale Bilder (gute Herzwahrnehmer: $M = 0.68$ µV; $SD = 0.91$ µV; schlechte Herzwahrnehmer: $M = 0.70$ µV; $SD = 0.71$ µV). Hier zeigte sich also ein deutlicher emotionsspezifischer Effekt.
Abbildung 8.5. (nächste Seite) veranschaulicht diese Ergebnisse und zeigt die EPN der guten und schlechten Herzwahrnehmer auf positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode O1 und O2.
Auch die topographische Darstellung der EPN (Abbildung 8.6., übernächste Seite) für gute und schlechte Herzwahrnehmer visualisiert diese Gruppenunterschiede

Lateralitätseffekte spielten keine Rolle bei den eruierten Gruppenunterschieden: *Kein signifikanter Interaktionseffekt „Emotionsinhalt x Lateralität x Herzwahrnehmungsgruppe"* ($F (2, 80) = 1.99$, $p > 0.05$) sowie *kein signifikanter Interaktionseffekt „Herzwahrnehmungsgruppe x Lateralität"* ($F (1, 40) = 0.30$, $p > 0.05$).

Abbildung 8.5. Grand Means der EKPs: EPN der guten und schlechten Herzwahrnehmer für emotional positive, negative und neutrale Bilder an Elektrode O1 (links-okzipital) und O2 (rechts-okzipital)

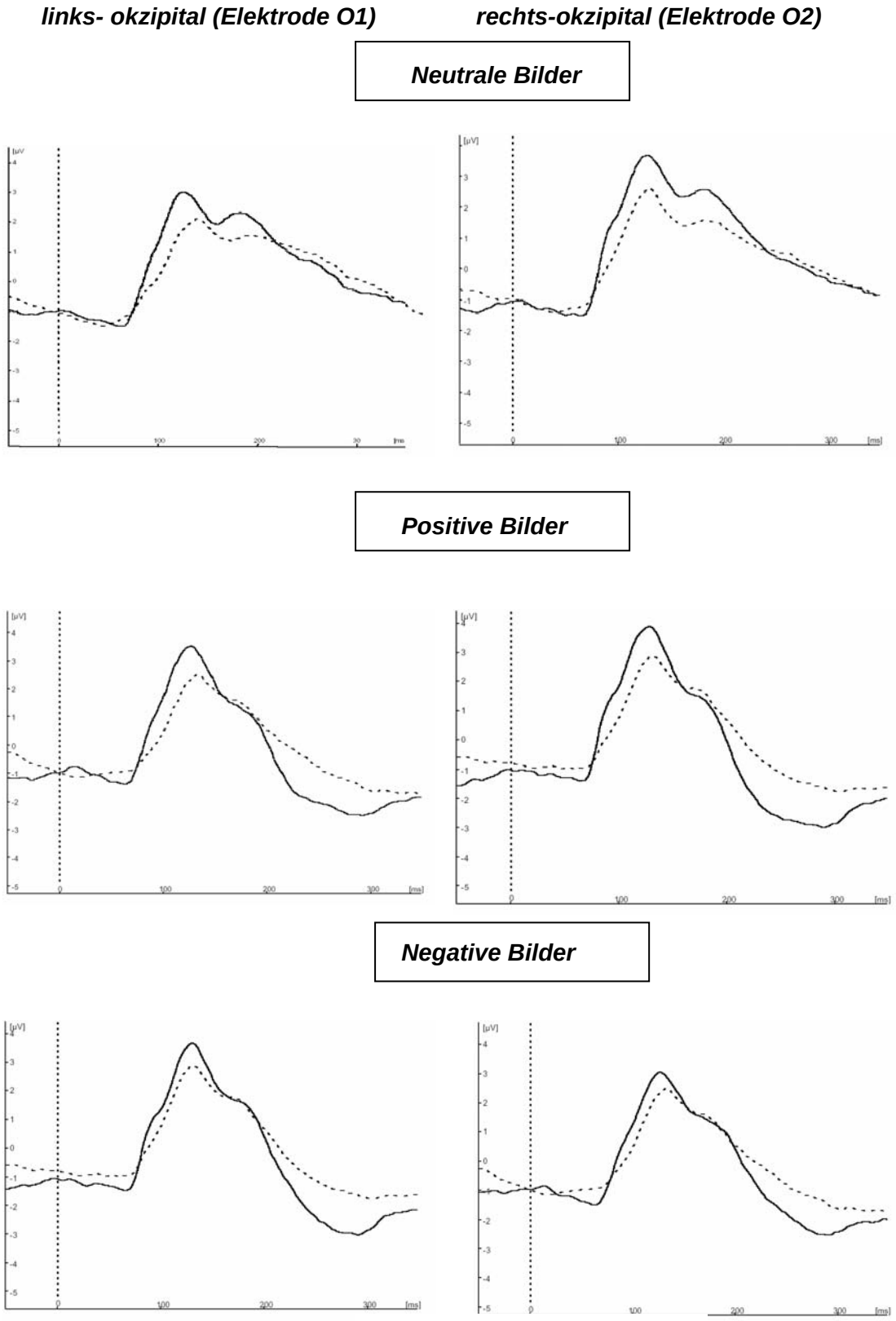
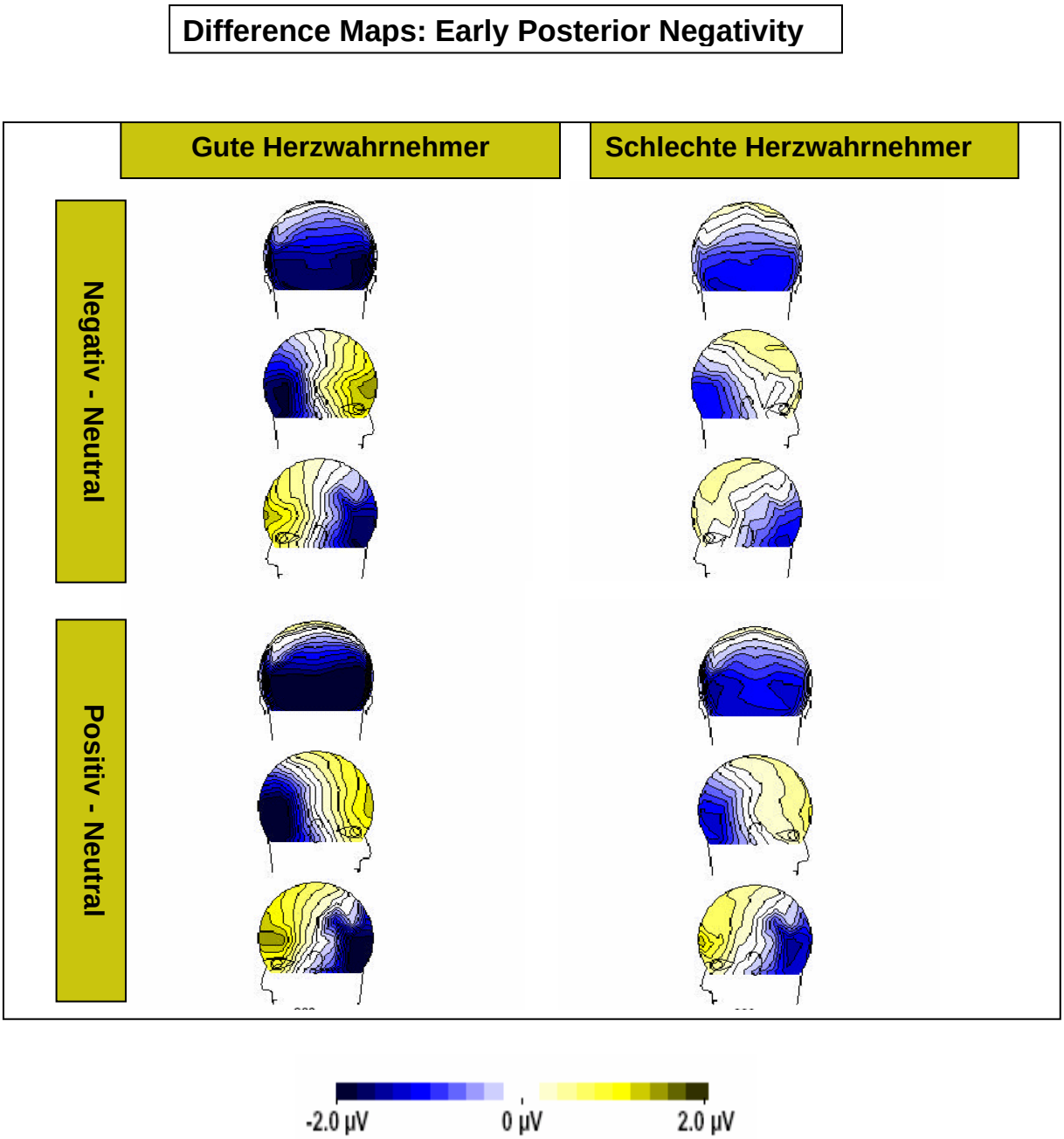


Abbildung 8.6 Topographie der frühen posterioren, affektiven Modulation der EPN für emotionale Bilder („difference maps“) bei guten und schlechten Herzwahrnehmern



Korrelationsstatistik

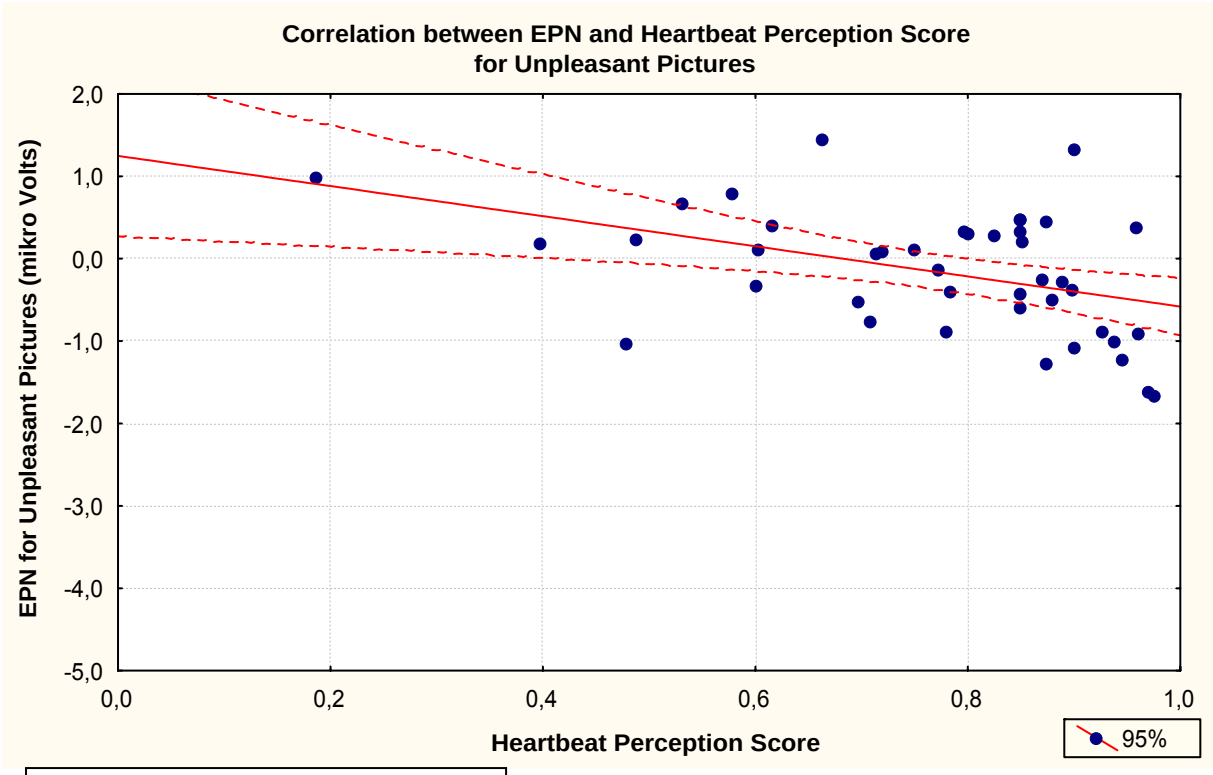
Die Berechnung von Spearman-Rho Korrelationen zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den mittleren EPN-Amplituden (Negativierungen) gemittelt über links- und rechtshemisphärische Cluster (es ergaben sich keine relevanten Lateralitätseffekte!) für positive und negative Bildsstimuli zeigten signifikant negative Korrelationen: Ausmaß der

Negativierung der EPN für positive Bilder und Herzwahrnehmungsscore r_s = -0.53 ($p < 0.001$), Ausmaß der Negativierung der EPN für negative Bilder und Herzwahrnehmungsscore r_s = - 0.43 ($p < 0.01$). Keine signifikanten Korrelationen zeigten sich zwischen der EPN-Amplitude auf neutrale Bilder und dem Herzwahrnehmungsscore (r_s = -0.20, $p > 0.05$).

Die signifikanten Beziehungen zwischen Herzwahrnehmungsscore und der Ausprägung der EPN-Amplituden sind in Abbildung 8.7. anhand von Regressionsgraphiken veranschaulicht. Man beachte, dass es sich um Korrelationen zwischen der Ausprägung der EPN-Amplituden, welche ja eine *Negativierung* darstellen und den positiven Werten des Herzwahrnehmungsscores handelt, so dass die resultierenden Korrelationen negativer Natur sind. Dies bedeutet, dass eine hoher Herzwahrnehmungsscore einhergeht mit einer starken negativen EPN-Amplitude, was im Sinne der Hypothesen ist.

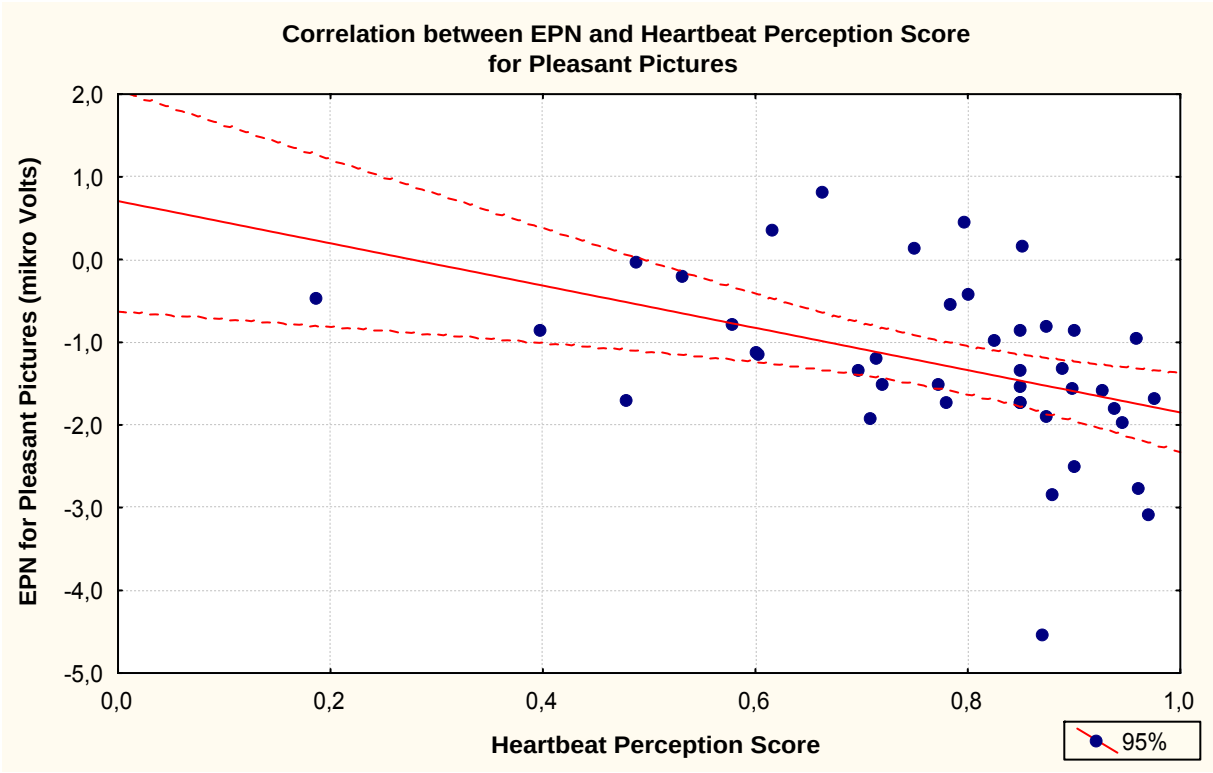
Abbildung 8.7. Regression zwischen EPN-Amplitude (Negativierung) und Herzwahrnehmungsscore für negative (A) und positive (B) Bilder

(A)



r = - 0.43, p < 0 0.01

(B)



r = - 0.53 p < 0.001

8.5. Zusammenfassung und Diskussion

Zusammengefasst zeigte diese Studie drei wesentliche Ergebnisse:

Zum ersten konnten ein Befund von Studie 1 bestätigt werden, dass gute Herzwahrnehmer sich in der Intensität des subjektiven Erlebens (SAM-Rating) emotionaler Bilder signifikant von schlechten Herzwahrnehmern unterscheiden. Gute Herzwahrnehmer demonstrierten wiederum ein signifikant stärkeres erlebtes Arousal auf emotionale Bilder als schlechte Herzwahrnehmer während sich die Gruppen nicht bzgl. der erlebten Valenz der Bilder unterschieden. Gleichfalls ergab sich wiederum eine signifikant positive Assoziation zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und Intensität des Erlebens emotionaler Stimuli. Dies ist im Sinne der in Studie 1 besprochenen Hintergründe zu bewerten.

Zum zweiten konnten die Befunde bisheriger Studien (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b) zur frühen visuellen konzeptuellen Verarbeitung emotionaler Bilder sehr deutlich bestätigt werden. Die statistische Analyse der vorliegenden Daten demonstrierte einen sehr ausgeprägten Haupteffekt „Emotionsinhalt“, was u.a. der sehr hohe F-Wert von 95.46 sowie

der hohe Wert der Effektgröße des partiellen eta^2 (=0.72) anzeigt. Dabei trat eine deutliche EPN für emotional erregende Bilder über temporo-okzipitalen Regionen auf.
Jedoch zeigte die Analyse der hier präsentierten Daten zudem einen signifikanten Unterschied in der EPN für positive und negative Bilder. Die EPN demonstrierte jedoch in bisherigen Studien einen sehr eindeutigen Arousal-Effekt, wie dies auch für die LPPs auf emotionale Bilder gezeigt wurde (z.B. Cuthbert et al., 2001; Keil et al., 2002; Lang et al., 1999; Schupp et al., 2004; siehe Kapitel 5.2.4.1.). Die signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der EPN auf positive und negative Emotionsbilder spiegeln sich zudem wieder in der Analyse der SAM-Ratings, welche ebenfalls zeigten, dass die positiven Bilder generell als stärker erregend `geratet´ wurden als die negativen Bilder. Auch in Studie 1 trat dieser Effekt sowohl für die SAM-Ratings als auch für die Ausprägung der P300 und der Slow Wave Amplitude auf.
Ähnlich wie ich dies bei der Diskussion von Studie 1 besprochen habe, ist auch in dieser Studie davon auszugehen, dass diese signifikanten Unterschiede im subjektiven und kortikalen Arousal für positive und negative Bilder auf den Umstand zurückzuführen sind, dass die als besonders erregend bekannten Bilder aversiver Valenz vor allem solche Bilder beinhalten, welche Blut- und Verstümmelungsszenen verunfallter oder schwer kranker Menschen zeigen (z.B. Schupp et al., 2004, Keil et al., 2002). Gerade diese Bilder sind es, die nachweislich als besonders erregend erlebt werden und eine starke Aufmerksamkeitsallokation bewirken (Schupp et al., 2004, Keil et al., 2002). Ich habe auch bei der Beschreibung des Stimulusmaterials dieser Studie darauf verwiesen, dass genauso wie in Studie 1 derartige Bilder für beide Studien nicht verwendet wurden.
Sowohl, dass die gezeigten positiven Bilder signifikant erregender erlebt wurden als die negativen Bilder, als auch, dass die positiven Bilde zu einer signifikant stärkeren EPN führten als die negativen Bilder, ist daher sicherlich, ähnlich wie dies in Studie 1 auch für die LPPs der Fall war, auf diesen Umstand der Bildauswahl zurückzuführen.
Wichtig ist, dass dieser Umstand jedoch die hier wesentlichen Gruppenunterschiede nicht tangiert (siehe unten).

In der vorliegenden Untersuchung konnte zudem *kein* signifikanter Interaktionseffekt *„Emotionsinhalt x Lateralität“* gezeigt werden. Auch bisherige Studien konnten keine Verbindung zwischen der EPN auf emotionale Bilder und der Lateralität feststellen (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2003b). Allerdings zeigte sich ein signifikanter *Haupteffekt „Lateralität“*, der demonstrierte, dass alle Bilder eine ausgeprägtere EPN über dem rechtshemisphärischen tempro-okzipitalen Cluster induzierten. Bekanntlich besteht ein rechtshemisphärischer Vorteil bei der spezifischen Form-Erkennung sowie der räumlichen

Enkodierung (Andresen & Marsolek, 2005) und visuell-räumlichen Aufmerksamkeit (Heilman & Van Den Abell, 1980), so dass dieses Ergebnis diesbezüglich erklärt werden kann.

Drittens konnte nun die eingangs formulierte Hypothese bestätigt werden, der zufolge Kardiosensibilität mit der frühen sensorischen Verarbeitung von emotional signifikanten Reizen assoziiert sein sollte. Dies wurde aufbauend auf Damasios Aussage, dass das Kern-Selbst, welches von der Re-Repräsentation somatischer Marker im Gehirn abhängt, zu einer Verstärkung und stärkeren Aufmerksamkeitsfokussierung auf das „auslösende Objekt" führt, theoretisch hergeleitet. Zudem wurden Befunde zusammengefasst, die verdeutlichen, dass das sowohl für Emotionsverarbeitung, Interozeption und physiologische Regulation wesentliche „central autonomic network"-Hirnstrukturen beinhaltet, welche untereinander stark vernetzt sind. Vor allem durch die intensiven Vernetzungen zwischen Amygdala, welche von Cingulum und Insula beeinflusst werden kann und für die automatische Induktion von Emotion, Feedback aus dem Körperinneren sowie die Verstärkung der visuellen perzeptuellen Verarbeitungsmechanismen wesentlich verantwortlich ist, ist eine Assoziation zwischen Kardiosensibilität und früher sensorischer Emotionsverarbeitung ebenfalls zu erwarten.
Die gruppenanalytischen Ergebnisse demonstrierten somit einen sehr deutlichen Unterschied in der Ausprägung der posterioren Negativierung der EPN für emotional erregende Bilder zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern. Gute Herzwahrnehmer zeigten eine signifikant intensivere EPN auf emotionale Bilder als schlechte Herzwahrnehmer während sich die Gruppen nicht bzgl. der neutralen Bilder unterschieden. Dies kann als Hinweis auf emotionsspezifische Unterschiede zwischen den Gruppen in der frühen, visuellen Verarbeitung emotionaler Bilder verstanden werden.
Dieses Ergebnis wird gestützt durch die signifikante, relativ hohe Korrelation zwischen Herzwahrnehmungsscore und der Negativität der EPN auf emotionale Bilder (negative Bilder: $r = -0.43$; positive Bilder: $r = -0.53$).
Zwischen den Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer bestand kein Unterschied in der berichteten State- und Trait-Angst, so dass die gezeigten Befunde der EPN nicht durch eine unterschiedliche Ängstlichkeit zwischen den beiden Gruppen erklärt werden können. Eine frühere Studie von Schandry (1981) konnte zeigen, dass gute Herzwahrnehmer eine erhöhte State-Angst besitzen als schlechte Herzwahrnehmer. Dies konnte hier allerdings nicht bestätigt werden.

Das Ergebnis einer starken Beziehung zwischen Kardiosensibilität und der frühen visuellen affektiven Verarbeitung ist auch diesbezüglich interessant, als dass davon ausgegangen wird, dass durch die frühe, sensorische amplifizierte Verarbeitung emotional bedeutsamer

Stimuli die spätere höher-geordnete elaboriertere Verarbeitung dieser Stimuli unterstützt wird (Schupp et al., 2003a, b; Keil et al., 2002). Studie 1 hat gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer emotionale Bilder in diesem höher-geordneten Verarbeitungsprozess, welcher sich in der intensiveren P300 und Slow Wave Amplitude gezeigt hat, stärker verarbeiten als schlechte Herzwahrnehmer. Studie 2 zeigte, dass gute Herzwahrnehmer nunmehr auch eine intensivere frühe sensorische Verarbeitung emotionaler Stimuli besitzen als schlechte Herzwahrnehmer. Beides zusammengenommen deutet darauf hin, dass kardiosensible Menschen emotionale Reize möglicherweise auch deshalb besser und elaborierter im Gehirn weiter verarbeiten, weil sie bereits eine intensivere frühe sensorische Prozessierung dieser relevanten Stimuli aufweisen.

Dafür sprechen auch Befunde, die zeigten, dass auch für die späten visuell evozierten Potentiale des EEGs (LPPs) auf emotionale Bilder eine wesentliche Beeinflussung durch Quellen im okzpitalen, visuellen Kortex vorliegt. So konnten Keil et al. (2002) anhand des Minimum-Norm Verfahrens zeigen, dass die stärkere Dipolstärke v.a. der positive Slow Wave Amplitude für emotional erregende Bilder im Vergleich zu neutralen Bildern am stärksten über posterioren Regionen des Kortex, in der Nähe des temporo-okzipitalen Kortex und des posterioren-parietalen Kortex auftrat. Dies spreche nach Keil et al (2002) dafür, dass bereits die Slow Wave Aktivität auf emotionale Bilder, welche anhaltende und höher-geordnete Verarbeitungsprozesse dieser Stimuli widerspiegelt, in temporo-okzipitalen Hirnstrukturen, welche für die verstärkte visuelle Prozessierung relevanter Reize wichtig sind, stattfindet.

Gute Herzwahrnehmer demonstrieren unseren Ergebnissen zufolge somit sowohl eine intensivere reflexive visuelle Verarbeitung affektiver Stimuli sowie eine intensivere höher-geordnete, elaboriertere Verarbeitung emotionaler Reize, wobei beide Prozesse voneinander abzuhängen scheinen.

Nach den Auffassungen der Emotionsforschung und funktioneller und evolutionsgeschichtlicher Betrachtungen (z.B. Cacioppo et al., 1999; Lang et al., 1997; Öhman, Flykt & Lundqvist, 2000) kann davon ausgegangen werden, dass in der Welt verschiedene Stimuli um Aufmerksamkeitsressourcen kämpfen und die schnelle und reliable Detektion emotional bedeutsamer und wichtiger Reize adaptives Verhalten fördert, und somit Überleben und reproduktiven Erfolg sichert. Kardiosensible Menschen scheinen somit aufgrund einer intensiveren raschen, perzeptuellen als auch einer intensiveren langanhaltenden, höher-geordneten affektiven Prozessierung einen möglichen Vorteil diesbezüglich zu besitzen.

Diese Resultate sind auch im Sinne der Befunde von Lane und Mitarbeitern (Thayer & Lane, 2000; Lane & Schwartz, 1987; Lane et al., 1998) zu interpretieren, welche gezeigt haben, dass, Menschen, welche eine hoch entwickelte Fähigkeit besitzen, ihre Emotionen

wahrzunehmen („emotional awareness“) besonders gut darin sind, emotionale Signale in der Umwelt und in sich selbst zu detektieren und zu unterscheiden (Lane et al., 2000, p.529). Demnach existiert eine enge Beziehung zwischen interozeptiver Sensitivität, „emotional awareness“ und der Verarbeitung und Detektion emotionaler Stimuli (Lane et al. (1998; Craig, 2004).

Natürlich wäre es nunmehr von höchstem Interesse genauere und spezifische Aussagen bzgl. der für die rasche perzeptuelle als auch höher-geordnete affektive Verarbeitung involvierten Hirnstrukturen in Abhängigkeit von Kardiosensibilität machen zu können, deren Kenntnis bei der weitergehenden Interpretation und Analyse dieses Ergebnisses sehr aufschlussreich wäre. Hierfür reichen die vorliegenden EEG-Daten nicht aus. Hierzu wäre eine fMRI-Studie sehr interessant, welche bei der Identifizierung von Unterschieden zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in den für die frühe sensorische Analyse affektiver Stimuli wichtigen Hirnstrukturen hilfreich wäre.

Zuletzt möchte ich auf einen letzten, aber sehr wichtigen Punkt eingehen, welcher sich mit dem zeitlichen Ablauf einer Beeinflussung der frühen perzeptuellen Verarbeitung von emotionalen Bildreizen durch die Interozeptionsfähigkeit befasst:
Die hier untersuchte schnelle konzeptuelle Analyse emotional relevanter Stimuli anhand des RSVP, wie sie in der EPN dargestellt werden kann, tritt zeitlich sehr schnell (die Bilder werden jeweils nur 333 ms lang in einem kontinuierlichen Darbietungsstrom präsentiert) und relativ früh ab ca. 150 ms auf. Die mittleren EPN-Verläufe bei guten und schlechten Herzwahrnehmern wurden hier in einem Zeitfenster von 180 – 320 ms gemessen.
Dieser Prozess, der hier untersucht wurde, tritt also zeitlich vermutlich schon früher auf, als der Prozess der kontinuierlichen Konstituierung des Kern-Selbst, den Damasio (1999, 2000) beschreibt, wenn er von der Verstärkung von Aufmerksamkeit auf das „auslösende Objekt“ spricht. Nach Damasio (1999, 2000) werden sowohl das Proto-Selbst als auch das Kern-Selbst pulsartig erzeugt, so dass, hervorgerufen durch Umweltereignisse, immer ein Update der bisherigen Informationen in den entsprechenden Hirnstrukturen erfolgt (siehe Kapitel 2.4.5.).
Hier stellt sich somit die Frage, wie es sein kann, dass Kardiosensibilität innerhalb dieses schnellen, frühen perzeptuellen Verarbeitungsprozesses emotionaler, visueller Reize eine Rolle spielen könnte. Man möchte vermuten, dass diese schnellen, reflexiven sensorischen Prozesse viel zu schnell und früh ablaufen, so dass das aktuelle, laufende Feedback aus dem Körper (wie etwa Veränderungen der Herzrate auf jedes emotionale Bild) eher kaum direkt auf diesen Prozess Einfluss nehmen sollte. Mann kann somit insbesondere einwenden, dass v.a. die kontinuierliche Rückmeldung körperlicher und viszeraler

Reaktionen, welche auf jeden emotionalen Reize generiert werden einem zeitlichen Prozess unterliegt, der länger dauert als die schnelle, sensorische Analyse von Umweltstimuli.
So ist bekannt, dass die für viszerale Rückmeldung relevanten Nervenfasern, welche sich ihren Weg von peripher über den konventionellen viszerozeptiven Pfad und den Lamina I spinothalamokortikalen Pfad das Gehirns (Hirnstammkerne, Thalamus, insulärer Kortex, orbitofrontaler Kortex) (Craig, 2002; siehe ausführlich Kapitel 3.2.2.) vornehmlich so genannte Aδ- und C-Fasern darstellen, welche einen geringen Durchmesser besitzen. Aδ-Fasern besitzen dabei eine Leitungsgeschwindigkeit von 10-30 m/s und marklose C-Fasern von 0.5-2 m/s (Schandry, 2003). Die verstärkte Verarbeitung affektiver Stimuli tritt dabei bereits ab 150 ms (EPN) bei einer Bilddarbietungszeit von 333 ms auf, so dass man davon ausgehen kann dass der Prozess der Generierung *und* gleichzeitigen Rückmeldung autonom-nervöser Reaktionen plus Integration dieser Signale im Gefolge der Bildstimuli zu lange dauert um Einfluss zu nehmen auf diesen schnellen sensorischen Verarbeitungsprozess.

Hierzu ist folgendes zu vermerken:
Erstens stellt, wie ich in der Einleitung zu dieser Studie bereits angemerkt habe, v.a. Damasios Modell, das neben der aktuellen Aktivierung des „body loops“ und den damit assoziierten, aktuellen körperlichen und viszeralen Veränderungen, die Bedeutung des „as if body loops“ betont, eine relevante Einflussmöglichkeit auf frühe, sensorische Emotionsverarbeitungsprozesse parat. So können auch signifikante emotionale Reize in der Umwelt, welche bei Damasio „primary inducers“ genannt werden, durchaus nicht nur den „body loop“ sondern auch den „as if body loop“ aktivieren (indem „Assoziationen“ zu den „primary inducers“ aktiviert werden). Über den „as if body loop“ ist es somit möglich, dass ein relevanter Umweltreiz Repräsentationen körperbezogener Veränderungen direkt in somatosensorischen Karten des Gehirns (v.a. somatosensorischer Kortex SI und SII, Insula, Cingulum, Hirnstammkerne) aktiviert, so dass diese gespeicherten Muster einer körperlichen und viszeralen Reaktion, welche aus früheren Begegnungen mit entsprechenden relevanten Umweltreizen stammen (Damasio, 1994, 1999, 2000), sehr schnell zur Verfügung stehen können, und somit schnelle sensorische Verarbeitungsprozesse von Reizen durchaus dadurch beeinflusst werden könnten.
Dieser Mechanismus könnte somit sehr wohl dafür verantwortlich sein, dass gute Herzwahrnehmer, welche nachweislich ihre viszeralen, kardialen Signale intensiver in den genannten Repräsentationsstrukturen des Gehirns prozessieren (Pollatos et al., 2004b, 2005a) als schlechte Herzwahrnehmer, durch eine intensivere Reaktivierung der körperlich-viszeralen Muster in diesen Repräsentationsarealen, emotional bedeutsame, signifikante Umweltreize auch in einem früh ablaufenden sensorischen Emotionsverarbeitungsprozess

intensiver verarbeiten als schlechte Herzwahrnehmer. Damasios Modell bietet Raum, um den in der Einleitung genannten Verstärkungsprozess sensorischer Aufmerksamkeitsprozesse zu erweitern auf „as if body" Prozesse, welche eine Reaktivierung von „Karten erster" (Proto-Selbst) und „zweiter" Ordnung („Kern-Selbst") in entsprechenden Hirnregionen (z.B. somatosensorischer Kortex, Insula, Cingulum, Präfrontalkortex, Hirnstammkerne, Amygdala, Hypothalamus) bereitstellen, so dass auch ohne eine aktuelles, definitives Auslösen von über den „body loop" ablaufenden, körperlichen Veränderungen und deren Feedback eine raschere Einflussnahme ´abgespeicherter´ „Repräsentationen" von körperlichen Veränderungen auf Aufmerksamkeit, Emotionsverarbeitung und Verhalten möglich ist.
Selbst W. James hat (siehe Kapitel 2.2.) eine ähnliche Alternative erwogen: James merkte in seinem bekannten Artikel aus dem Jahre 1884 an, dass eine Rückmeldung über Modifikationen körperlicher Veränderungen bereits möglich sein könnte, bevor die körperlichen Veränderungen bereits stattgefunden haben, und dies dadurch dass: *„… by our being conscious of the outgoing nerve-currents starting on their way downward towards the parts they are to excite… ."* (James, 1884, S. 192).
Damasio (1994) betont zudem, dass diese Prozesse innerhalb des „as if body loop" während unserer Entwicklung entstünden, und dass sich die Verknüpfung zwischen einem bestimmten Reizbild und dem Surrogat eines Körperzustands durch wiederholte Assoziation bestimmter Objekte mit den unmittelbar stattfindenden Körperzuständen vollziehen würden. Das bedeutet, dass Lernprozesse bzgl. der Assoziation von Objekten und Körperprozessen bzw. deren Repräsentation im Gehirn eine wichtige Rolle spielen.

Man kann folglich *zweitens* vermuten, dass der eruierte Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und der intensiveren schnellen, visuellen, amplifizierten affektiven Verarbeitung im temporo-okzipitalen Kortex in stärkerem Ausmaß auch auf *habituelle* Unterschiede (v.a. im zentralen Emotionsverarbeitungs- und Interozeptionsnetzwerk im Gehirn) zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern zurückzuführen ist.
Dies lenkt das Augenmerk auf Befunde, die nahe legen, dass die Strukturen des *„central autonomic network" (CAN)* (v.a. cingulärer Kortex, insulärer Kortex, ventromedialer Präfrontalkortex, Amygdala, Hypothalamus, Hirnstammkerne), die jeweils eng miteinander über Projektionen vernetzt sind (siehe Kapitel 5.1.), deutlichen plastischen, funktionalen und strukturell variablen Erfahrungs- und Lernmechanismen über die Lebensspanne (z.B. Thayer & Lane, 2000; Lane, 1998, 1999) unterworfen sind und somit habituelle Unterschiede reflektieren können. Wie bereits des Öfteren angesprochen, überlappen sich die Strukturen des CAN stark mit denjenigen Hirnstrukturen, welche in Damasios Theorie als wichtige körperliche Repräsentations- und Integrationsstrukturen spezifiziert werden und in

empirischen Studien als relevant für die Verarbeitung viszeralen Feedbacks demonstriert wurden (v.a. Insula, cingulärer Kortex, präfrontale Kortexregionen, somatosensorischer Kortex, Hirnstammkerne (z.B. Critchley et al., 2994, 2005; siehe Kapitel 3.2.).
Darunter fallen auch diejenigen Hirnstrukturen als Teile des emotional-interozeptiven Netzwerks, von denen gezeigt wurde, dass sie während der Konzentration auf den eigenen Herzschlag aktiviert werden (Insula, cingulärer Kortex, präfrontaler Kortex somatosensorischer Kortex) (Critchley et al., 2004; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann (2004b). Die genannten Hirnstrukturen des CAN umfassen zudem einige wichtige Strukturen des so genannten *anterioren exekutiven Systems* (z.B. cingulärer Kortex, präfrontale Kortexregionen), welches für Aufmerksamkeitsfunktionen, affektives und motivationales Erleben und Verhalten bedeutsam ist (Thayer & Lane, 2000).
Dieses Netzwerk an Hirnregionen ist also ganz wesentlich an der guten Wahrnehmungsfähigkeit und Differenzierungsfähigkeit sowohl externer und interner emotionaler Reize beteiligt (Craig, 2004; Thayer & Lane, 2000 Lane et al., 1995, 1998; Lane et al.,1999). Auch diese Fähigkeit der interozeptiven und externen Wahrnehmung emotionaler Cues unterliegt, wie das geschilderte zentrale Netzwerk, einem Entwicklungsprozess und Lernmechanismen, also einer funktionellen und strukturellen Plastizität (Lane, 1987, 1998).

Dies impliziert auch Damasio Modell: Bechara (2004) und Damasio (2000) konstatieren etwa konkret, dass, wenn einmal ein somatischer Zustand von primären Auslösern (z.B. emotionaler externer Stimulus) induziert wurde, und Signale dieses somatischen Zustands an das Gehirn zurückgemeldet wurden, diese Signalverarbeitung im Hirnstamm und somatosensorischen Kortizes (z.B. Insula, SI und SII, cingulärer Kortex) kontinuierlich einer Entwicklung d.h. einem ständigen Lernprozess unterworfen sind. Auch die Verknüpfung von Stimulus und ausgelöstem somatischen Zustand sowie Emotion und somatisch-viszeraler Veränderung wird ge- bzw. überlernt, genauso die Verknüpfung zwischen aus der Peripherie zurückgemeldetem Signal und gefühlter Emotion.
Von Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann (2004b) wurde demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer eine intensivere Aktivierung der Insula und des ACC während der Herzwahrnehmung aufwiesen als schlechte Herzwahrnehmer.
Die intensivere Kardiosensibilität, welche sich in einer stärkeren Aktivierung dieser Hirnstrukturen niederschlägt, kann demnach auch ein Resultat eines Lernprozesses über die Lebensspanne sein und zudem in einer intensiveren Verknüpfung von interozeptiven Signalen und emotionalen Verarbeitungsprozessen innerhalb des „CAN“ resultieren, was zu habituellen Veränderungen in der Emotionsverarbeitung beiträgt.

Dies könnte den Einfluss der Kardiosensibilität auf die schnell ablaufende sensorische Verarbeitung affektiver Reize somit ebenfalls erklären.
Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in der Funktion bzw. Aktivierung der erörterten Hirnstrukturen während der Betrachtung emotionaler Bilder könnten in einer fMRI-Studie näher geklärt werden.

Diese Überlegungen stützend, gibt es zudem konkrete Belege dafür, dass langfristige Lernerfahrungen und die individuelle Lerngeschichte zu habituellen Unterschieden zwischen Menschen in der Verwertbarkeit von somatischen Markern führen können. So demonstrierten Anderson et al. (1999), dass eine sehr frühe Schädigung des ventromedialen Präfrontalkortex im Kindesalter von 16 Monaten, im Erwachsenenalter zu einer besonders starken Beeinträchtigung in der Emotions- und Verhaltensregulation führte. Auch Untersuchungen von Blair et al. (2001a,b) zeigten, dass eine Unterbrechung des oder eine Läsion im „somatic marker system“ des Gehirns um so mehr soziale, emotionale und motivationale Defizite generiert, je früher diese Störung oder Läsion in der Hirnentwicklung stattgefunden hat. Blair et al. (2001a) konnten dies etwa bei Jungen mit psychopathischen Tendenzen im Alter von 9 bis 19 Jahren nachweisen.
Im Hinblick auf die Kardiosensibilität betont auch Schandry (2003b), dass neben physiologischen Faktoren wie kardiodynamischen Faktoren einer erhöhten Kontraktilität des Herzens (siehe auch Kapitel 4.2.), welche die Herzwahrnehmungsfähigkeit steigern, die individuelle Lerngeschichte eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung von Kardiosensibilität spielt. Entsprechende Befunde haben so auch gezeigt, dass ein gezieltes Training der Herzwahrnehmung nicht nur zu einer Verbesserung der Kardiosensibilität im Herzwahrnehmungstest, sondern auch zu einer Intensivierung der kortikalen Verarbeitung kardialer Signale („heartbeat evoked potential“) (Schandry & Weitkunat, 1990; siehe Kapitel 4.3.2.) führte. Schandry (1983) berichtet zudem, dass das Training zu einem Anstieg emotionaler Reaktionen führte.

Diese Ausführungen weisen darauf hin, dass es genügend Gründe gibt, zu vermuten, dass die Fähigkeit zur Kardiosensibilität sowie damit verknüpfte emotionale Prozesse in *habituellen Veränderungen* des zentralen autonomen Netzwerks begründet sein können. Neben präexistierenden, etwa genetisch determinierten Unterschieden in relevanten Hirnstrukturen zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern kommen insbesondere Lernerfahrungen in Frage, welche eine intensivere Verarbeitung von viszeralen Feedback-Signalen in interozeptiv bedeutsamen Hirnstrukturen fördern, sowie zu einer intensiveren Integration emotional relevanter Stimuli und viszeralem Feedback beitragen (Damasio, 1999,

2000), und somit zu funktionellen und auch strukturellen Veränderungen des zentralen autonomen Netzwerks führen können.

Einen deutlichen Hinweis auf strukturelle Unterschiede im Gehirn zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern liefert ganz konkret ein Befund von Critchley et al. (2004). Die Autoren konnten einen positiven Zusammenhang zwischen der morphologischen Größe der anterioren Insula (gemessen über Voxel-basierter Morphometrie im MR) und der Herzwahrnehmungsfähigkeit nachweisen.
Ebenfalls von Critchley et al. (2001a) stammt ein Hinweis auf funktionelle Reorganisationsprozesse im Gehirn durch den Ausfall des Feedbacks viszeraler Information. Critchley und Mitarbeiter zeigten in dieser PET-Studie, dass PAF-Patienten im Vergleich zu gesunden Probanden während kardiovaskulärer Aktivierung (Handgrip, Kopfrechnen) eine aufgabenunspezifische veränderte Aktivierung des temporalen und extrastriatalen visuellen Kortex und eine aufgabenspezifische verminderte Aktivierung im cingulären Kortex aufwiesen. Die Autoren gehen davon aus, dass das bei PAF-Patienten vorhandene Fehlen des viszeralen Feedbacks zum Gehirn zu einer funktionellen Reorganisation im Emotions-Interozeptionsnetzwerk geführt hat, was zudem Auswirkungen hat auf die Aktivität des visuellen Kortex.

Diese Überlegungen bedürfen jedoch einer weitergehenden Forschung.
Zum ersten wäre es notwendig, die vermuteten Unterschiede in dem Zusammenwirken von emotional und interozeptiv relevanten Hirnstrukturen zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern zu erhellen. Dies wäre möglich, indem die Aktivierung des zentralen autonomen Netzwerks bei guten und schlechten Herzwahrnehmern während der Betrachtung von emotionalen Bildern anhand einer fMRI-Studie untersucht wird.
Zum zweiten könnte man die Überlegung, dass eine gute Kardiosensibilität in der Tat zu funktionellen Veränderungen in diesem Netzwerk des Gehirns führt nur nachweisen, indem man die Variable Kardiosensibilität als eine unabhängige Variable manipulieren kann. Da gezeigt wurde, dass die Herzwahrnehmungsfähigkeit trainierbar ist (Schandry, 1983; Schandry & Weitkunat, 1990), müsste man Probanden einem Training in Herzwahrnehmung unterziehen und ihre Hirnaktivierung zum einen während eines Herzwahrnehmungstests sowie während der Betrachtung von emotionalen Bilder vor und nach dem Training untersuchen. Zeigen sich dann die vermuteten Unterschiede in der Verarbeitung interozeptiver Signale sowie in der Verarbeitung emotionaler Bilder, so könnte man auf eine funktionelle Veränderungen in relevanten Hirnstrukturen verursacht durch Kardiosensibilität sprechen.

Um strukturelle Unterschiede in emotional und interozeptiv relevanten Hirnstrukturen zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern zu untersuchen, wären MR-Verfahren notwendig, welche eine Morphometrie von Hirnstrukturen erlauben (z.B. Voxel-basierte Morphometrie), ähnlich wie dies in der Studie von Critchley et al. (2001a) durchgeführt wurde.

Zuletzt stellt sich an dieser Stelle noch die Frage, welchen Einfluss die autonom-nervöse Reaktivität während emotionaler Erregung auf die Zusammenhänge zwischen Kardiosensibilität und zentralnervöser Verarbeitung emotionale Reize besitzt. Dies ist insofern von Interesse für die vermuteten „habituellen“ Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern und zugrunde liegenden Lernmechanismen, da einige Befunde dafür vorliegen, dass gute Herzwahrnehmer eine ausgeprägtere myokardiale Kontraktilität (Schlagvolumen, kardialer Output) zurückzuführen auf eine höhere sympathische Aktivierung auf emotionale Reize (z.B. aversive Filme) hin zeigen als schlechte Herzwahrnehmer (z.B. Eichler et al., 1987; Eichler et al., 1988; Eichler & Katkin, 1994; Katkin, 1985). Zudem wurde demonstriert, dass eine durch physische oder psychische Belastung induzierte ansteigende myokardiale Kontraktilität die Herzwahrnehmungsfähigkeit fördert (z.B. Bestler, Schandry, Weikunat & Alt, 1990; Schandry & Bestler, 1995; siehe Kapitel 4.4.1.).

Obwohl bezüglich der emotionalen, autonom-nervösen Reaktivität eher sehr heterogene Befunde vorliegen, welche eine stärkere sympathische oder zumindest kardiovaskuläre Reaktivität auf emotionale Reize bei guten Herzwahrnehmern nicht konsistent nachweisen konnten (z.B. Ferguson & Katkin, 1996; Hantas et al., 1982; Schandry, 1981; Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000), gehen einige Autoren (z.B. Katkin, 1985; Eichler et al., 1987; Eichler & Katkin, 1994) davon aus, dass v.a. solche Personen im Laufe des Lebens zu guten Herzwahrnehmern werden, welche auf emotionale Ereignisse oder Stress verstärkte kardiovaskuläre Reaktionen zeigen, also autonom-nervös, v.a. sympathisch erregter sind, und daher im Leben mehr Gelegenheit haben ihre Herztätigkeit zu spüren und somit diese Fähigkeit besser entwickelt wird.

Selbst dies impliziert somit einen Lernen und damit sicherlich Veränderungen in der Funktionen entsprechender Hirnstrukturen.

Es wäre nicht zuletzt deshalb wichtig, die Frage nach Unterschieden in der emotionalen autonom-nervösen Reaktivität zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmer nochmals experimentell aufzugreifen und gezielt zu untersuchen.

9. Studie 3: Kardiosensibilität und Aufmerksamkeitsprozesse untersucht in einem visuellen Oddball-Paradigma

9.1. Einleitung und Hypothesen

In der vorliegenden 3. Studie dieser Arbeit ging es darum zu überprüfen, ob Kardiosensibilität mit zentralnervösen Prozessen der selektiven, anhaltenden Aufmerksamkeit und der Aufmerksamkeitsallokation auf einfache, non-emotionale Stimuli assoziiert ist.
In den ersten beiden Studien wurde demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern eine deutlich intensivere Verarbeitung von emotionalen Bildreizen im späten EKP-Latenzbereich (P300 und Slow Wave) sowie während der frühen sensorisch-visuellen Verarbeitung emotionaler Reize (EPN) zeigten. Keine Unterscheide zeigten sich in den neutralen Bildern zwischen den Gruppen in beiden Studien.

Die Überlegung, inwieweit sich in einem weitgehend non-emotionalen Setting nunmehr Unterschiede zwischen den beiden Gruppen im Hinblick auf die Prozessierung kognitiv einfacher, visueller Reize ergeben könnten, gründete sich auf folgende Begründungszusammenhänge:

Zum ersten kann ein möglicher Zusammenhang zwischen der Perzeption interner, körperlicher Veränderungen und der Verarbeitung externer Reize und mentaler Prozesse aus Damasios „somatic marker“ Theorie abgeleitet werden. *Zweitens* exstieren zahlreiche Befunde dafür, dass für die Perzeption und Prozessierung interner, interozeptiver Signale relevante Hirnstrukturen zu einem großen Teil auch für kognitive und Aufmerksamkeitsprozesse relevant sind. *Zuletzt* ergibt sich eine logische Beziehung zwischen Interozeptionsleistung (bzw. Kardiosensibilität) und Aufmerksamkeitsallokation auf externe Stimuli aufgrund der Tatsache, dass man davon ausgehen kann, dass die Konzentration auf die eigene Herzaktivität - wie sie bei der Messung von Kardiosensibilität im, in dieser Arbeit durchgehend verwendeten, Herzwahrnehmungstest nach Schandry (1981) nötig ist - einer Aufmerksamkeitsallokation bzw. selektiven Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf ein internes, körperliches Signal bedarf. Man kann annehmen, dass diese interne Aufmerksamkeitsfokussierung eine ähnliche Leistung darstellt, die auch verlangt wird, wenn die Aufmerksamkeit auf ein externes Signal bzw. einen externen, einfachen Stimulus gerichtet werden soll. Aus diesem Grunde sollten gute Herzwahrnehmer nicht nur interne, sondern auch externe, spezifische Stimuli besser registrieren und verarbeiten.

Diese drei Aspekte möchte ich im Folgenden ausführen:

Zum ersten Punkt ist zu sagen, dass Damasios „Somatic Marker Theorie“ (siehe Kapitel 2.4.) prinzipiell nahe legt, dass somatische Marker auf kognitive, mentale Prozesse Einfluss nehmen. Besonders wird dies im Rahmen von emotionalen Prozessen ausgeführt und gezeigt, dass die Induktion von emotionalen Reaktionen (in so genannten „Emotionsinduktionsstrukturen“ des Gehirns (z.B. Hypothalamus, Amygdala, ventromedialer Präfrontalkortex, Hirnstammkerne; siehe Kapitel 2.4.) zur Auslösung von autonom-nervösen, endokrinen und motorischen Prozessen in der Peripherie führt, und dass diese körperlichen Veränderungen wiederum zum Gehirn zurückgemeldet werden, dort in so genannten Repräsentationsstrukturen „erster und zweiter Ordnung“ verarbeitet und mit externen und emotionalen Prozessen und Signalen integriert werden (z.B. Damasio, 1999, 2000). Damasio und Mitarbeiter (Damasio, 1994, 1999, 2000); gehen davon aus, dass diese Rückmeldung von körperlichen Signalen und deren Prozessierung eine unabdingbare Voraussetzung für adäquate Entscheidungs- und Verhaltensprozesse darstellt.

Haben bisherige Daten (Studie 1 und 2) gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer in der Tat innerhalb eines emotionalen Kontextes (Betrachten emotionaler Bilder) eine intensivere kortikale Verarbeitung und Aufmerksamkeitsallokation auf emotionale Reize zeigen als schlechte Herzwahrnehmer, sowie diese emotionalen Stimuli sensorisch in visuellen Rindenfeldern bereits intensiver prozessieren und detektieren, so soll in dieser 3. Studie untersucht werden, ob sich gute Herzwahrnehmer auch in ihrer visuellen Aufmerksamkeitsallokation auf einfache, kognitive Stimuli von schlechten Herzwahrnehmern unterscheiden.

Damasios Theorie lässt einen großen Spielraum, was die Bedeutung von somatischen Markern auf mentale Prozesse angeht.

Wie ich in Kapitel 2.4. ausgeführt habe, ist nach Damasio davon auszugehen, dass emotionsbezogene, somatosensorische Muster Aufmerksamkeitsprozesse sowie Prozesse des Arbeitsgedächtnisses verstärken (Damasio, 1996). Zum Beispiel erörtert Damasio, dass das Kernbewusstsein (in Karten zweiter Ordnung: z.B. cingulärer Kortex, präfrontale Hirnstrukturen) zu einer Verstärkung der Vorstellung von einem Objekt, und einer stärkeren Fokussierung auf das verursachende Objekt führt. Wie bei der ausführlichen Besprechung der Entstehung von Bewusstsein nach Damasio in Kapitel 2.4. klar geworden ist, beschränkt Damasio den Einfluss von „somatischen Markern“, welche über den „body -„ als auch den as „if body loop“ zur Verfügung stehen, nicht auf eine eng umgrenzte emotionale Situation. Nach Damasio gibt es im Grunde gar keine nicht-emotionale Situation oder ein nicht-emotionales, also nicht körperbezogenes Dasein.

In der somatischen Markertheorie wird formuliert, dass ein fehlendes körperliches Arousal und ein Fehlen des Feedbacks eines Arousals zu Defiziten in mentalen Prozessen und der

Verhaltenssteuerung führt (Damasio et al., 1991; Damasio, 1994; Bechara et al., 1996, 1997, 1999, Bechara, Damasio & Damasio, 2003; Tranel, 2000). Nicht nur in explizit emotionalen Situationen im engeren Sinne, sondern in allen relevanten Lebenssituationen werden somatische Marker aktiviert und werden Gefühle bemüht und bestimmen wesentliche Prozesse des Denkens, Entscheidens und Handelns (Damasio, 2000; Damasio, 1996).
Bislang wurde die Verbindung zwischen viszeraler Rückmeldung und deren kognitiven Auswirkungen v.a. auf Entscheidungsprozesse untersucht (siehe Kapitel 2.4.6. und 4.4.2.). Dort wurde gezeigt, dass das Fehlen der Möglichkeit somatische Marker zu generieren bzw. diese zu verarbeiten zu beträchtlichen Einbußen in Entscheidungsprozessen führen (z.B. Damasio, 2000; Bechara et al., 1994, 1996, 1998, 2005; North & O´Carroll, 2001; Tranel, 2000)
Auch im Rahmen dieser Untersuchungen spielte jedoch Emotion noch eine große Rolle, als es um positive oder negative Konsequenzen bei der Auswahl bestimmter Karten in der „Iowa Gambling Task“ ging (das Ziel des Spiels ist es, einen höchstmöglichen Gewinn zu erzielen) (Bechara et al., 1994, 1997; Bechara, 2004; Bechara et al., 2005; North & O´Carroll, 2001).
Eine explizite Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen auf externe, einfache, non-emotionale Stimuli in Abhängigkeit von der Perzeption interner, körperlicher Signale liegt noch nicht vor.

Zum zweiten Punkt der Überlappung von für interozeptive Reizverarbeitung und Aufmerksamkeitsprozesse relevanten Hirnstrukturen existieren ebenfalls wichtige Befunde, welche in Kapitel 3.2.4. und Kapitel 5.1. zusammengefasst wurden. Empirische Befunde haben gezeigt, dass die für die Prozessierung viszeraler Signale relevanten Hirnstrukturen (v.a. insulärer Kortex, ACC, somatosensorischer, parietaler Kortex, präfrontale Kortexbereiche) (z.B. Cameron & Minoshima, 2002; Critchley et al., 2000b; Critchley et al., 2001) während der Konzentration bzw. Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Herzaktion (Herzwahrnehmung) deutlich aktiviert werden (Critchley et al. 2004; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004b; Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a).
Pollatos et al. (2004b) konnten zeigen, dass die Herzwahrnehmungsfähigkeit beträchtlich mit der Aktivität im insulären Kortex, ACC sowie präfrontalen Kortex und inferoparietalen Kortex assoziiert ist. Diese Befunde entsprechen weitgehend denen von Critchley et al. (2004). Zudem wurde demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer nicht nur eine ausgeprägtere Amplitude des HEP zeigten, sondern, dass diese in einer Dipol-Quellenlokalisationsstudie ebenfalls ausgeprägtere Dipol-Stärken des HEP im ACC, insulären Kortex, präfrontalen Kortex sowie somatosensorischen Kortex aufwiesen (Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a). Besonders dem insulären Kortex sowie dem ACC wird eine wichtige Funktion bei der

bewussten Wahrnehmung interozeptiver Signale zugeschrieben (z.B. Critchley et al., 2004; siehe Kapitel 3.2.4.).

Auf der anderen Seite besitzt der cinguläre Kortex, v.a. der anteriore cinguläre Kortex (ACC), welcher ebenfalls mit der Herzwahrnehmungsfähigkeit assoziiert ist (Critchley et al., 2004; Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004) zahlreichen Studien zufolge ebenfalls eine wesentliche kognitive Bedeutung bei der Selektion von Zielreizen, also selektiver Aufmerksamkeit sowie geteilter Aufmerksamkeit und bewusstem Handeln (z.B. Davidson et al., 2003; Lane et al., 1998; siehe Kapitel 3.2.4.2.). Der ACC ist zudem auch bei der Selektion adäquater Reaktionen und der Inhibierung inadäquater Reaktionen von Relevanz (z.B. Lane et al., 1998).

Wie ich in Kapitel 3.2.4.2. erörtert habe, stellt der ACC eine wesentliche Struktur innerhalb eines Interozeptions-Aufmerksamkeits-Netzwerks dar, das wichtig für die interozeptive und exterozeptive Detektion von Reizen ist (z.B. Lane et al., 1997). Der cinguläre Kortex besitzt demnach eine übergeordnete Rolle bei der exekutiven Kontrolle von Aufmerksamkeit und motorischer Kontrolle (Lane et al., 1998) und wird als Schnittstelle zwischen Aufmerksamkeit und Emotion betrachtet (Thayer & Lane, 2000; Davidson et al., 2003).

Nach Damasio (1994, 1999, 2000) stellt der cinguläre Kortex (siehe Kapitel 2.4.) prinzipiell eine wichtige Repräsentationsregion bzw. „Karte zweiter Ordnung“ dar und ermöglicht eine dynamisches „Re-mapping“ des körperlichen Zustands des Organismus in Reaktion auf den Verhaltens- und Umweltkontext (siehe auch Critchley et al., 2001); stellt somit also eine Integration der Informationen aus dem Körper mit Informationen aus der Außenwelt her.

Auch v.a. der (dorsolaterale) Präfrontalkortex, welcher ebenfalls bei guten Herzwahrnehmern stärker auf ihre kardiale Aktivität hin aktiviert ist als bei schlechten Herzwahrnehmern (Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a), und zudem während der Konzentration auf die eigene Herztätigkeit (Herzwahrnehmungsaufgabe) aktiviert wird (Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004b), spielt eine wichtige Rolle bei der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf externe Zielreize (z.B. Herrmann & Knight, 2001; MacCarthy et al., 1997).

Die in Kapitel 5.2.3.1. besprochenen Befunde zur Generierung der Aufmerksamkeitsprozesse reflektierenden P300 im visuellen Oddball-Paradigma haben gezeigt, dass neben parietalen Hirnstrukturen, auch der cinguläre Kortex und präfrontale Hirnstrukturen sowie auch der insuläre Kortex einen wesentlichen Beitrag hierzu leisten.

Besonders bei der Entstehung der P3a, welche als eine Orientierungsreaktion auf neue oder unvorhersehbare Reize betrachtet wird (z.B. Courchesne, Hillyard & Galambos; Polich & Comerchero, 2003), hat der Präfrontalkortex eine wichtige Aufgabe (z.B. Herrmann & Knight, 2001; Knight, 1984). Bei der Genese der P3b, die als Korrelat selektiver Aufmerksamkeitsprozesse bzw. einer Allokation von Aufmerksamkeit (Mobilisierung von

Aufmerksamkeit) auf Zielreize angesehen wird (z.B. Alexander et al., 1994; Donchin, 1981; Picton & Hillyard, 1974; Polich & Kok, 1995), sind neben frontalen Kortexregionen, parietale Hirnstrukturen, cingulärer Kortex, sowie Hippocampus involviert (Herrmann & Knight, 2001).

Auf der Ebene der Hirnstrukturen hat sich somit verdeutlicht, dass während interozeptiver Aufmerksamkeitsprozesse, wie sie in den Herzwahrnehmungsaufgaben gefordert sind, Hirnstrukturen aktiviert werden, welche zudem für externale Aufmerksamkeitsprozesse (v.a. cingulärer Kortex, parietale und präfrontale Kortexbereiche) von Relevanz sind.
Dies verweist auf einen möglichen wesentlichen Zusammenhang zwischen der Fähigkeit, seine Aufmerksamkeit auf interozeptive, interne Reize ausrichten zu können, diese wahrzunehmen und der Aufmerksamkeitsausrichtung auf externe Stimuli in der Umwelt und deren Detektion.

Dies knüpft direkt an den *dritten Punkt* des Begründungszusammenhangs an:
Man kann davon ausgehen, dass eine gutes Abschneiden im Herzwahrnehmungstest nach Schandry (z.B. 1981), wie er in der vorliegenden Arbeit benutzt wird, erfordert, dass ein Proband sich besonders stark auf ein intern generiertes körperliches Signal konzentriert und dies zu erfassen versucht. Diese Aufgabe stellt somit eine Aufmerksamkeitsleistung dar, welche am ehesten als eine anhaltende, selektive Aufmerksamkeitsausrichtung auf spezifische Zielreize, in diesem Falle den Herzschlag, beschrieben werden kann. Weisz et al. (1988) haben so etwa gezeigt, dass eine auf sich selbst fokussierte Aufmerksamkeitsausrichtung (im Rahmen der Theorie der „objektiven Selbstaufmerksamkeit“) den Prozess der Herzwahrnehmung deutlich verbessert. Pennebaker (1982) hat des Weiteren darauf aufmerksam gemacht, dass Prozesse der Interozeption prinzipiell denselben Regeln der Informationsverarbeitung unterliegen, die auch für die Wahrnehmung von Ereignissen in der externen Umwelt (Exterozeption) gelten.
Davon ausgehend, dass die Verarbeitung und Wahrnehmung interner Signale prinzipiell ähnlichen physiologischen Gesetzmäßigkeiten und entsprechender Messbarkeit folgt, wie die Prozessierung und Perzeption externer, dezidierter Stimuli (siehe z.B. Schandry, Sparrer & Weitkunat, 1986), liegt es auf der Hand mögliche Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in einem klassischen Paradigma zu untersuchen, welches sich zur Messung von selektiver, anhaltender Aufmerksamkeit als wirksam und brauchbar erwiesen hat.

Auf alle drei Aspekte aufbauend, soll an dieser Stelle die *Hypothese aufgestellt werden*, dass *gute Herzwahrnehmer nicht nur ihre internen, viszeralen Signale des Herzens, sondern auch*

externe, ähnlich einfach-strukturierte und simple non-emotionale Target-Reize bzw. aufgabenrelevanten Reize in der Umwelt besser detektieren als schlechte Herzwahrnehmer.

Um diese Aufmerksamkeitsallokation auf kognitiv einfache, externe Zielreize und deren zentralnervöses Geschehen zu erfassen, wurde ein visuelles Oddball-Paradigma gewählt. Wie ich in Kapitel 5.2.3.1. erörtert habe, ist dieses Paradigma besonders geeignet zur Untersuchung von selektiven Aufmerksamkeitsprozessen und gilt als Standardverfahren zur Auslösung der P300 im EEG.
Anhand eines visuellen Oddballs, und der spezifischen Auswahl von visuellen Stimuli, ist es möglich, über die P300-Amplitude, das Ausmaß der willkürlichen objektbezogenen, selektiven Aufmerksamkeit und Stimulusevaluation innerhalb einer Modalität (hier der visuellen) zu erfassen. Vergleichbar zu Studie 1, in dessen Verlauf emotionale Verarbeitungsprozesse fokussiert wurden, sollten hier also selektive Aufmerksamkeitsprozesse auf visuelles, non-emotionales bzw. neutrales Stimulusmaterial untersucht werden. Die P300-Amplitude reflektiert das Ausmaß an Aufmerksamkeitsallokation (sowie des „Context-Updating“) (z.B. Donchin & Coles, 1988; Polich & Kok, 1995).

Um neben der selektiven Aufmerksamkeitsallokation auf spezifische Zielreize auch die *Orientierungsreaktion auf neue, unvorhersehbare Reize* zu erfassen, wurde eine mittlerweile gängige Modifikation des klassischen Oddballs (z.B. Polich & Comerchero, 2003; Courchesne, 1978; Bledowski et al., 2004; Tachibana et al., 1992; Wang et al., 1999) gewählt. In diesem modifizierten Oddball werden nicht nur seltene Zielreize (Targets) und häufig auftretende, nicht zu beachtende Standard-Reize präsentiert, sondern zudem selten auftretende, relativ neuartige, unvorhersehbare Reize (Non-Targets) gezeigt.
Die Präsentation von seltenen aufgabenrelevanten Zielreizen (Targets) führt dabei v.a. zu einer deutlichen P3b über zentro-parietal, während die Präsentation von seltenen, neuen, nicht zu beachtenden Non-Target-Reizen eine über fronto-zentral auftretende P3a evozieren (siehe Kapitel 5.2.3.1.; z.B. Opitz, 2003; Herrmann & Knight, 2001).

Die Reaktion auf neue, unvorhersehbare seltene Non-Target-Reize interessierte im Rahmen dieser Studie vor allem deshalb, da diese Reize einen eher frontalen neuronalen Prozess aktivieren, welcher als eine spontane Orientierungsreaktion auf Reize auftritt (z.B. Polich & Comerchero, 2003; Polich & Kok, 1995; Kapitel 5.2.1.1.). Wie oben erörtert, besitzen gute Herzwahrnehmer auch eine erhöhte präfrontale Aktivierung sowohl während der Konzentration auf ihren Herzschlag als auch während der spontanen Herztätigkeit, die sich im HEP niederschlägt und eine Quelle im präfrontalen Kortex besitzt (Pollatos, Auer,

Schandry & Kaufmann, 2004b; Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a). Auch nach Damasio spielen präfrontale Hirnstrukturen (Damasio, 1999, 2000) eine bedeutsame Rolle bei der Integration vom somatischen Markern mit Situationsaspekten und der Handlungskontrolle
In Anlehnung an die Studienergebnisse von Katkin, Wiens & Öhman (2001), die zeigten, dass die bei guten Herzwahrnehmern gegebene bessere Wahrnehmung des Herzschlags und weiterer viszeraler Signale es erleichterte, spezifische, emotionale Stimuli (mit Schlangenbildern gekoppelte Elektro-Schocks) besser zu prognostizieren und deren Auftretenswahrscheinlichkeit besser abzuschätzen, wurde hier davon ausgegangen, dass gute Herzwahrnehmer möglicherweise eine stärkere Orientierungsreaktion auf neue, seltene, jedoch non-emotionale visuelle Reize zeigen sollten als schlechte Herzwahrnehmer.

Das Oddball-Paradigma erlaubt v.a. eine deutliche Registrierung der P300-Komponente. Um eine annähernde Vergleichbarkeit auch zu den Befunden der Studie 1 zu erhalten, welche die Reaktion guter und schlechter Herzwahrnehmer in der Verarbeitung emotional bedeutsamer Reize im späten EKP-Latenzbereich (P300 und Slow Wave) untersuchte, bot sich die Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen in Bezug zur Kardiosensibilität auch deshalb anhand des visuellen Oddball-Paradigmas an.

Aus den oben erörterten Überlegungen ergaben sich somit folgende Hypothesen:

Hypothesen:

1.

1.1. Gute Herzwahrnehmer zeigen auf aufgabenrelevante Target-Reize im visuellen Oddball eine höhere P300-Amplitude als schlechte Herzwahrnehmer (eine stärkere selektive Aufmerksamkeitsallokation indizierend).

1.2. Es zeigt sich ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und der Höhe der P300-Amplitude auf Target-Reize

2.

2.1. Gute Herzwahrnehmer zeigen auf neue, seltene Non-Target-Reize im visuellen Oddball eine höhere P300-Amplitude als schlechte Herzwahrnehmer (eine stärkere Orientierungsreaktion reflektierend).

2.2. Es zeigt sich ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und der Höhe der P300-Amplitude auf Non-Target-Reize

Das Oddball-Paradigma erlaubt neben der Aufklärung der kortikalen Aktivierung auf die dargebotenen Reize zudem die Analyse von behavioralen Daten. Das Paradigma beinhaltet die Konzentration auf einen benannten, selten auftretenden Zielreiz, welcher zum anderen, um die Durchführung der Aufgabe zu prüfen, meist mitgezählt werden soll. Dadurch ergibt sich ein weiteres Maß, das die behaviorale Aufmerksamkeitsleistung der Probanden anzeigt: nämlich die *Anzahl der richtig mitgezählten Target-Reize.*
Auch hier sollte sich, nach obigen Ausführungen, ein Unterschied zwischen den Gruppen guter und schlechter Herzwahrnehmer ergeben. Vorsicht ist jedoch bei diesem Maß geboten, da ein visuelles Oddball-Paradigma sehr einfach strukturiert ist, und das Mitzählen der Zielreize prinzipiell eine sehr leichte und langweilige Aufgabe darstellt, so dass hier Deckeneffekte zu erwarten sind, die Gruppenunterscheide eher unwahrscheinlich machen.

Dieses Verhaltensmaß ist aber zur Durchführung des Oddballs unabdingbar und sollte der Logik folgend ebenfalls tendenziell Gruppenunterschiede anzeigen.

Somit wurde eine weitere Hypothese formuliert:

3. Gute Herzwahrnehmer zählen die relevanten Target-Reize im Oddball genauer mit als schlechte Herzwahrnehmer (eine bessere Aufmerksamkeitsallokation auf behavioraler Ebene indizierend).
3.1. Es zeigt sich eine signifikante, positive Korrelation zwischen Herzwahrnehmungsscore und Anzahl der mitgezählten Target-Reize.

9.2. Methode und Experimenteller Ablauf

Versuchspersonen

Für dieses Experiment wurde die vollständige Anzahl derjenigen Versuchspersonen herangezogen, welche auch in Studie 1 teilgenommen haben.
Das heißt, es wurden 37 (19 männlich, 18 weiblich) rechtshändige Probanden im Alter von 20 bis 34 Jahren (M = 24.8; SD = 6.1) untersucht. Die Probanden waren Studenten der LMU München, und erhielten für ihre Teilnahme an dem Experiment eine Bestätigung für Versuchspersonenstunden. Alle Teilnehmer wiesen keine kardialen Erkrankungen auf und waren zum Untersuchungszeitpunkt körperlich und psychisch ohne Befund.

Experimenteller Ablauf

Nach Ankunft im Labor wurden die Teilnehmer über den Ablauf des Experiments informiert und gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme.
Zuerst wurde der Herzwahrnehmungstest nach Schandry (1981) durchgeführt.
Hierzu wurde jeder Proband in eine lärmgeschützte Untersuchungskabine geführt und bekam nicht-polarisierbare Ag/AgCl Elektroden zur EKG-Aufzeichnung angelegt. Das EKG wurde nach Einthoven II anhand des Aufzeichnungs- und Analysesystems MP150, Version 3.7.2., und der zugehörigen Software AcqKnowledge (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara) aufgezeichnet. Die Probanden wurden vor Beginn der Testung gebeten, sich in einem bequemen Sessel 5 Minuten lang zu entspannen und während der Untersuchungen ruhig und still zu sitzen.
Nach der Beendigung des Herzwahrnehmungstests wurden die Probanden dann jeweils in die EEG-Untersuchungskabine geleitet. Dort nahmen sie in einem bequemen Sessel Platz und es wurden EEG und EOG angelegt.
Nachdem die Probanden den Ablauf der Studie 1 (Betrachten der IAPS-Bilder und EEG-Aufzeichnung) absolviert hatten wurde ihnen die Oddball-Aufgabe erklärt.
Die Instruktion lautete, den selten präsentierten Target-Reiz zu beachten und diesen mitzuzählen. Sie wurden darüber unterrichtet, dass noch zwei weitere Reize auftreten würden, welche sie aber nicht mitzählen sollten.
Den Probanden wurden die entsprechenden Reize in einem kleinen Vorlauf präsentiert, um klar zu stellen, dass die Instruktion und der Ablauf des Experiments verstanden worden waren.
Im Anschluss daran verließ der Versuchsleiter die Kabine und die Probanden durchliefen das Oddball-Experiment, während das EEG aufgezeichnet wurde. Nach Abschluss der Oddball-Präsentation erfragte der Versuchsleiter von dem Probanden die Anzahl der mitgezählten Target-Reize.

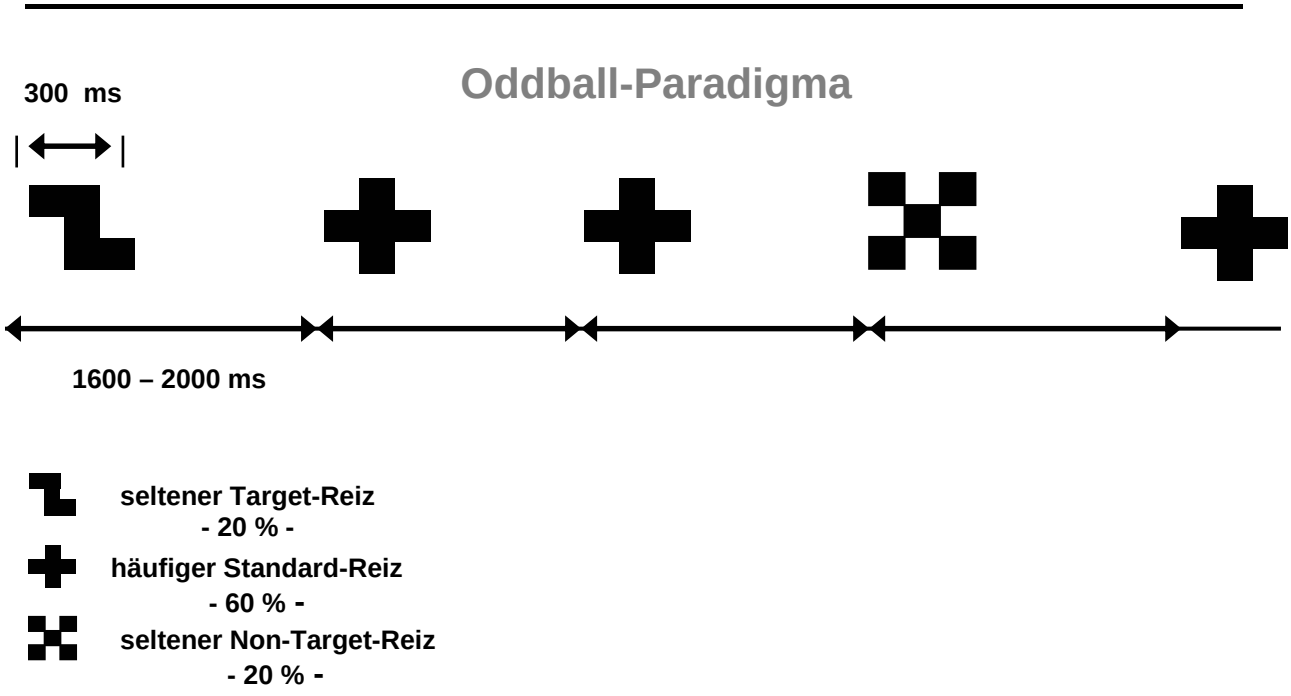
Herzwahrnehmungstest

Der Herzwahrnehmungstest wurde exakt, wie in Studie 1 beschrieben durchgeführt und ist der dortigen Beschreibung zu entnehmen (Kapitel 7). Da es sich im vorliegenden Oddball-Experiment um genau dieselben Probanden handelte wie in Studie 1, bildeten N = 17 Probanden die Gruppe der guten und N = 20 Probanden die Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer.

Stimulusmaterial und Design

Es wurde ein modifiziertes Oddball-Paradigma mit drei Typen visueller Stimuli verwendet. Die Auswahl der konkreten Stimuli lehnte sich dabei an Studien von Tachibana et al. (1992) und Wang et al. (1999) an. Drei Stimuli wurden präsentiert: 60 seltene Target-Reize (20%), 60 seltene Non-Target-Reize (20%) und 180 häufige Standard-Reize (60%). Diese Reize wurden randomisiert auf einem 19-Inch Computerbildschirm präsentiert (refresh rate: 85 Hz). Der Bildschirm war 1.5 Meter vor dem Probanden platziert, so dass der visuelle Winkel der Bildpräsentation horizontal 15^0 Grad und vertikal 11^0 Grad betrug.
Jeder der Reize wurde für 300 ms gezeigt. Das Zeitintervall zwischen den Stimulusonsets variierte von 1600 – 2000 ms.
Abbildung 9.1. zeigt die Art der verwendeten Stimuli und den Ablauf der Oddball-Präsentation.

Abbildung 9.1. Veranschaulichung des visuellen Oddball-Paradigmas



EEG-Datenerhebung

Die EEG-Aktivität wurde kontinuierlich an 61 Kanälen plus HEOG (horizontales EOG) und VEOG (vertikales EOG) mit einem DC Verstärker (Bandpass: 0.01 – 100 Hz; SYNAMPS, Neuroscan) aufgezeichnet. Die Digitalisierungsrate betrug 500 Hz. Die Elektrodenpositionen

wurden anhand der verwendeten Elektrodenkappe (Easy Cap, Falk Minow Services) bestimmt (erweitertes 10-20er System). Cz war online Referenz, die Ground-Elektrode wurde an der linken Wange platziert.
Die Impedanzen wurden stets unterhalb 5 kΩ gehalten. Das EEG wurde offline nach verbundenen Mastoiden re-referenziert.

9.3. Datenreduktion und Analyse

Analyse der Anzahl der Target-Treffer

Die jeweils von jedem Probanden mitgezählte Anzahl der Target-Reize (insgesamt n = 60) wurde notiert und Gruppenunterschiede wurden anhand einer einfaktoriellen ANOVA mit dem Faktor „Gruppe“ als Zwischensubjektfaktor getestet. Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme werden die unkorrigierten F-Werte zusammen mit den nach Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet.

EEG-Analyse

Das aufgezeichnete EEG wurde nach EOG, Muskelaktivität und anderen Quellen elektrophysiologischer Artefakte überprüft. Es wurde eine EOG-Korrektur nach Augenartefakten mittels Vision Analyzer, der EEG Auswertungssoftware, anhand des von Gratton, Coles & Donchin (1983) entwickelten Korrekturalgorithmus durchgeführt. Zudem wurden Intervalle, welche eine Aktivität von über oder unter 80 µV beinhalteten von der weiteren EEG-Analyse ausgeschlossen. Das EEG wurde anhand eines Bandpass-Filters von 0.01 – 40 Hz offline gefiltert. Nach den gesetzten Stimulustriggern wurden sodann Epochen von 1100 ms (100 ms Prä- und 1000 ms Post-Stimulusonset) für jeden Stimulus gebildet, wobei eine Baseline von 100 ms Prä-Stimulusonset segmentiert wurde.

Messung der Peak-Amplitude und Latenz sowie der mittleren Amplitude im P300-Latenzbereich

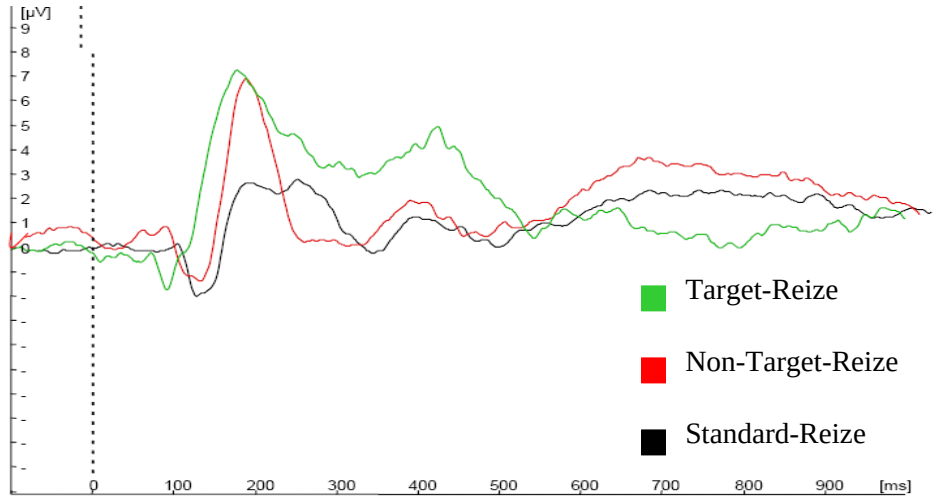
Anhand der EEG-Software Vision Analyzer wurde zum ersten eine Peak Detection Analyse sowie eine Latenzanalyse im P300-Latenzbereich (290 – 600 ms) für die Target-Reize, die Standard-Reize sowie die Non-Target-Reize durchgeführt. Zweitens wurden, um die Ergebnisse der Peak-Analyse zu überprüfen, zudem die mittleren Amplituden für die drei Reizkategorien bestimmt.

Abbildung 9.2. (nächste Seite) zeigt den Verlauf der visuell evozierten Potentiale für die drei verwendeten Reizarten an Elektrode Fz, Cz und Pz. Diese Midline-Elektroden werden zur Auswertung eines Oddball-Paradigmas empfohlen und sind entsprechend üblich (z.B. Donchin & Coles, 1988; Karl et al., 2004; Herrmann & Knight, 2001; Polich & Comerchero, 2002).
Die P300-Komponente wurde für die Peak-Analyse als die höchste positive Amplitude (Baseline to Peak) im Latenzbereich von 290 – 600 ms nach Stimulusonset identifiziert.
Die P300-Latenz wurde als das Intervall zwischen Stimulusonset und P300-Peak gemessen.
Die Analyse der P300-Latenzen auf die präsentierten Stimuli war deshalb notwendig, um eine Aussage über das zeitliche Einsetzen der P300 auf Target-Reize, welche eine später auftretende P3b reflektieren sollte, und der P300 auf seltene Non-Target-Reize, welche eine früher auftretende P3a anzeigen sollte, erhalten zu können.

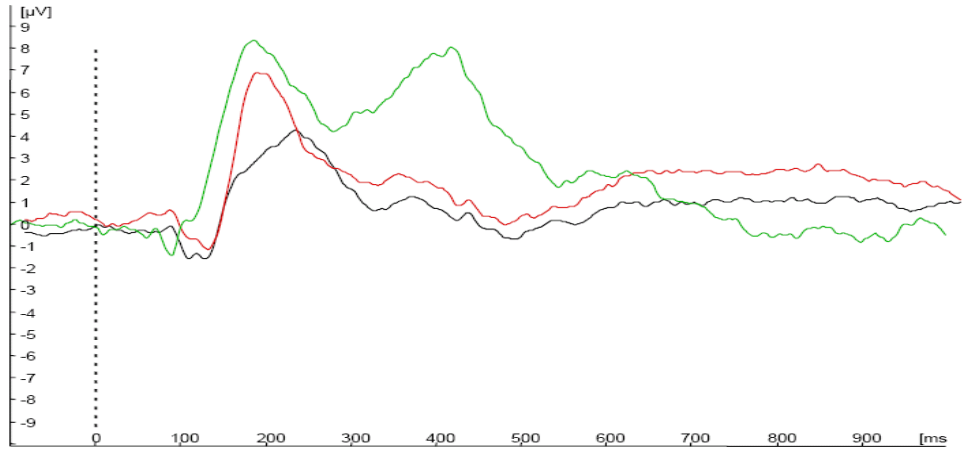
Für die statistische Analyse der Daten wurden für die P300-Latenz und die P300-Peak Amplitude sowie für die Werte der mittleren Amplitude jeweils dreifaktorielle Wiederholungsmessungs-ANOVAs mit den Faktoren „Bedingung“ (Target-, Standard-, Non-Target-Reiz) x „Elektrode“ (Fz, Cz, Pz) x „Gruppe“ (gute vs. schlechte Herzwahrnehmer) berechnet.
Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme werden die unkorrigierten F-Werte zusammen mit den nach Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet. Zur Beurteilung signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte, wurden Post-Hoc Testungen nach Scheffé durchgeführt.
Zudem wurden Korrelationsanalysen (Spearman-Rho r_s) zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den P300-Amplituden für die Elektroden Fz, Cz und Pz berechnet.

Abbildung 9.2. Grand Averages der VEPs für Target-, Standard- und Non-Target-Reize an Elektrode Fz, Cz und Pz

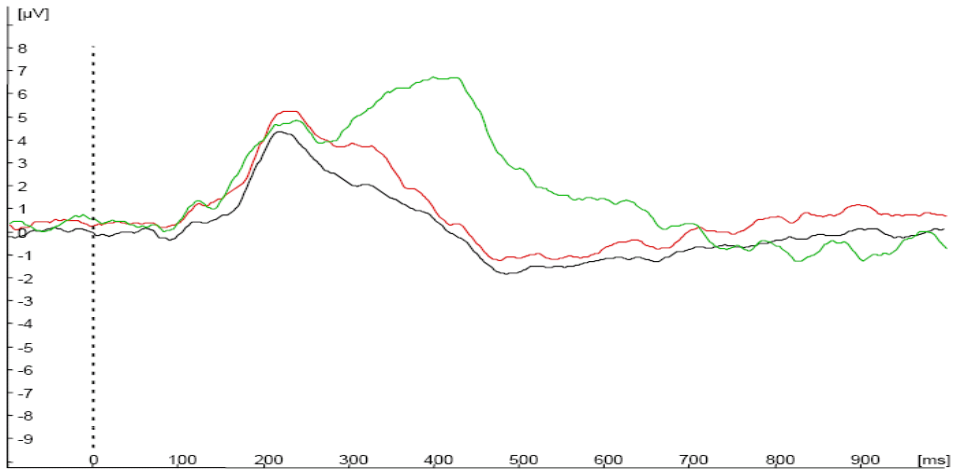
Fz



Cz



Pz



9.4. Ergebnisse

Herzwahrnehmung

Wie in Studie 1 bereits für die hier untersuchten Probanden beschrieben wurde, betrug der mittlere Herzwahrnehmungsscore in der Gesamtgruppe 0.75 (SD = 0.18). Insgesamt 17 Probanden (8 weiblich, 9 männlich) wiesen einen Herzwahrnehmungsscore größer als 0.85 auf und wurden der Gruppe der guten Herzwahrnehmer zugeordnet. Diese Gruppe zeigte einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.90 (SD = 0.05). 20 Probanden hatten einen Herzwahrnehmungsscore kleiner als 0.85 und bildeten die Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer. Diese Gruppe wies einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.64 (SD = 0.15) auf.
Die weiblichen Probanden besaßen einen mittleren Herzwahrnehmungsscore von M = 0.77 (SD = 0.14) und männliche Probanden einen mittleren Score von 0.75 (SD = 0.21).

Die statistische Analyse anhand einer einfaktoriellen ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“ (2 Stufen: gute vs. schlechte Herzwahrnehmer) zeigte, dass sich weibliche und männliche Probanden nicht signifikant in ihrer Herzwahrnehmungsfähigkeit unterschieden ($F (1, 35) = 1.17$, $p > 0.05$).

Alter und Geschlecht

Wie ebenfalls in Studie 1 für die hier untersuchten Probanden beschrieben wurde, zeigte die statistische Prüfung anhand eines Chi^2-Tests, dass sich die Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer nicht signifikant in ihrer Verteilung an Männern und Frauen unterschieden ($Chi^2 = 0,86$, $df = 1$, $p > 0,05$). Die Gruppen unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant im Alter (einfaktorielle ANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Herzwahrnehmungsgruppe“: $F(1,35) = 1,17$, $p > 0,05$; gute Herzwahrnehmer: M = 25,2; SD = 4,6, schlechte Herzwahrnehmer: M = 27,2; SD = 6,5).

Anzahl der Target-Treffer

Die Ergebnisse zeigten *keinen signifikanten Gruppenunterschied* die mitgezählte Anzahl der Target-Reize betreffend ($F (1, 35) = 0.11$, $p > 0.05$, partielles $eta^2 = 0.003$). Gute Herzwahrnehmer zählten im Schnitt M = 59.7 (SD = 0.24) Target-Reize und schlechte Herzwahrnehmer durchschnittlich M = 59.6 (SD = 0.22) Target-Reize von den insgesamt 60 präsentierten Zielreizen mit.

Ereigniskorrelierte Potentiale: P300

a) Varianzanalytische Ergebnisse der P300-Peak Analyse

Was die hier vornehmlich interessierenden *Gruppenunterschiede* angeht, so zeigten sich für die P300-Peak-Analyse *weder ein signifikanter Haupteffekt „Gruppe*“ ($F (1, 35) = 1.0$, $p > 0.05$; gute Herzwahrnehmer: 5.51 µV; schlechte Herzwahrnehmer: 4.72 µV) *noch anderweitige signifikante Interaktionseffekte:* „Bedingung x Gruppe“ ($F (2, 70) = 0.2$, $p > 0.05$), „Elektrode x Gruppe“ ($F (2, 70) = 0.30$, $p > 0.05$), sowie „Bedingung x Elektrode x Gruppe“ ($F (4, 140) = 0.37$, $p > 0.05$).
Die VEPs für gute und schlechte Herzwahrnehmer für die Target- und Non-Target Reize zeigt Abbildung 9.3. (A, B) (nächste Seite).

Abbildung 9.3. (A) VEPs der guten (rot) und schlechten (blau) Herzwahrnehmer auf Target-Reize an Elektrode Fz, Cz, und Pz

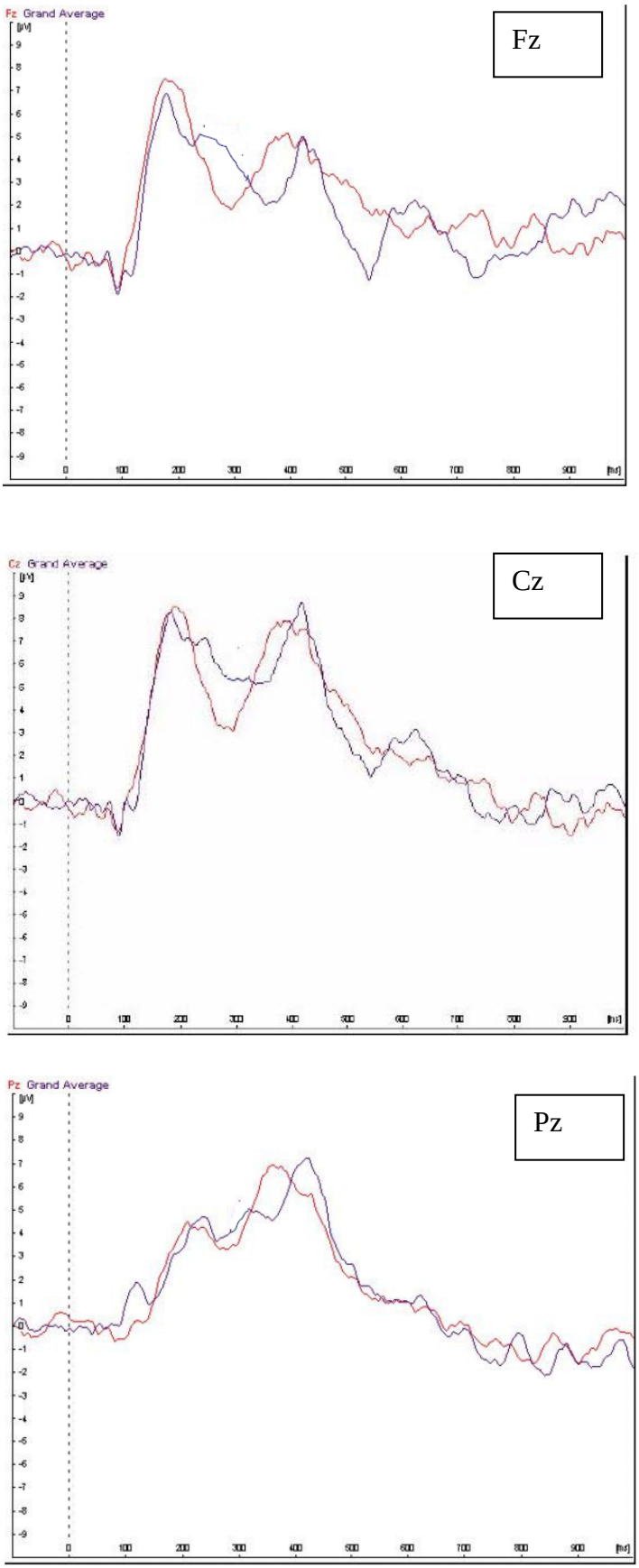
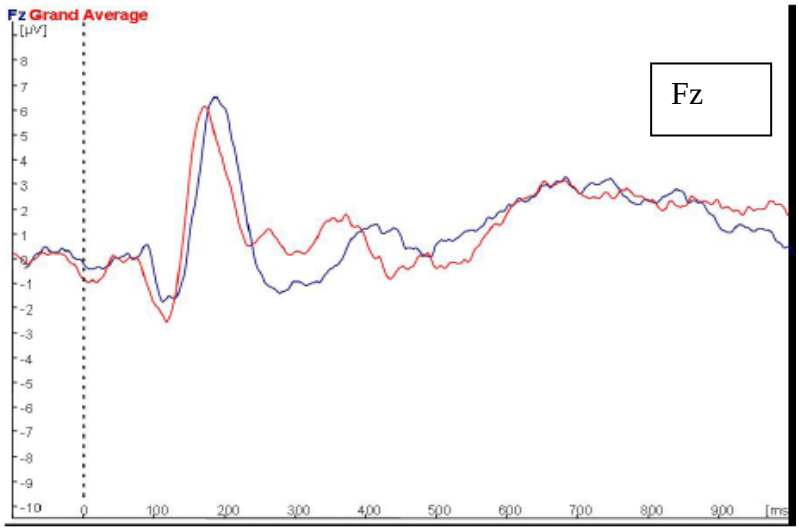
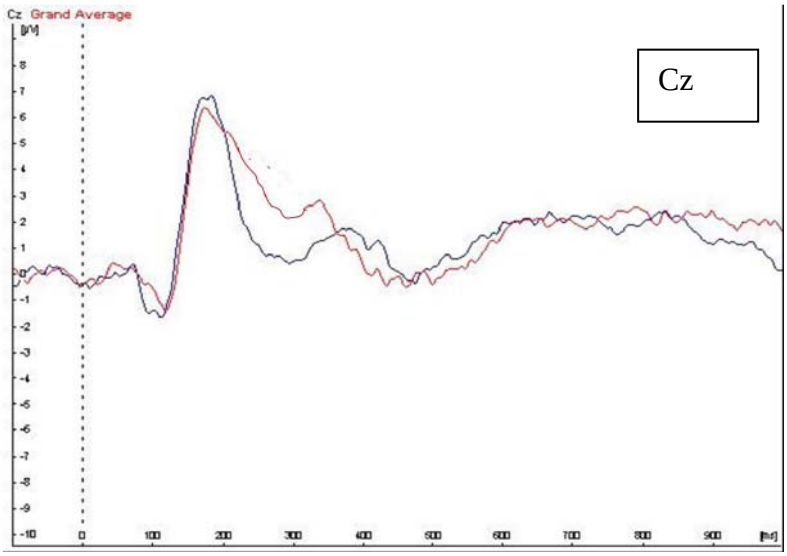
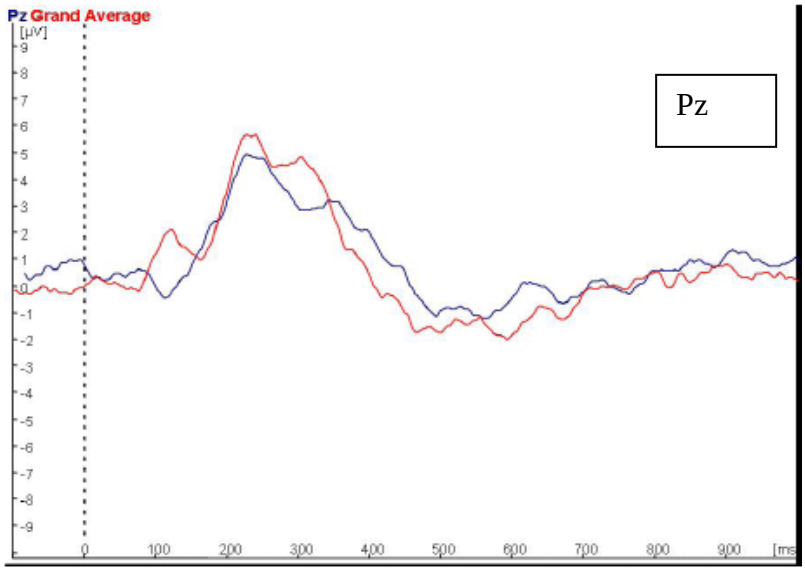


Abbildung 9.3. (B) VEPs der guten (rot) und schlechten (blau) Herzwahrnehmer auf Non-Target-Reize an Elektrode Fz, Cz, und Pz







Die ANOVA-Ergebnisse für die P300-Peak-Amplitude demonstrierten des Weiteren einen *signifikanten Haupteffekt „Bedingung“* ($F (2, 70) = 55.16$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.61$).
Die post-hoc Analyse zeigte, dass die *Target-Reize (8.60 µV) die höchste P300-Amplitude evozierten*, die sich signifikant von den P300-Amplituden der Non-Target- und der Standard-Reizen unterschied ($p < 0.001$). *Non-Target-Reize (3.92 µV) provozierten zudem eine signifikant ($p < 0.01$) höhere P300-Peak Amplitude als Standard-Reize (2.83 µV)*. Diese Effekte werden auch in Abbildung 9.2. ersichtlich.

Der *Haupteffekt „Elektrode“* ($F (2, 70) = 2.66$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.71$) war ebenfalls signifikant. Es zeigten sich die höchsten Peak-Amplituden über den Elektroden Cz (5.67 µV) und Pz (4.88 µV) (siehe auch Abbildung 9.2.).

Zudem zeigte sich zuletzt ein signifikanter *Interaktionseffekt „Bedingung x Elektrode“* ($F (4, 140) = 3.38$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.10$).
Post-hoc Scheffé Testung zeigte, dass an allen Elektroden die *Target-Reize (Fz = 7.89 µV; Cz = 9.96 µV; Pz = 7.96 µV) die höchsten P300 Peak-Amplituden zeigten* ($p < 0.05$). Ebenfalls an allen Elektroden zeigten die *Non-Target-Reize (Fz = 4.04 µV; Cz = 3.79 µV; Pz = 3.04 µV) eine geringfügige, aber signifikant ($p < 0.05$) höhere P300 Amplitude als die Standard-Reize (Fz = 2.75 µV; Cz = 3.00 µV; Pz = 2.73 µV).*

Es wird ebenfalls ersichtlich, dass die *P300-Peak-Amplituden der Target-Reize über den Elektroden Pz und vor allem Cz generell signifikant höher waren als die P300-Amplitude über Fz, wie dies in der Literatur häufig gezeigt wurde* (z.B. Bledowski et al., 2004; Polich & Comerchero, 2003) (siehe Abbildung 9.2.). Für die Non-Target-Reize sowie die Standard-Reize zeigte sich aber keine signifikant unterschiedliche P3-Peak-Amplitude an Pz und Cz gegenüber Fz ($p < 0.05$).

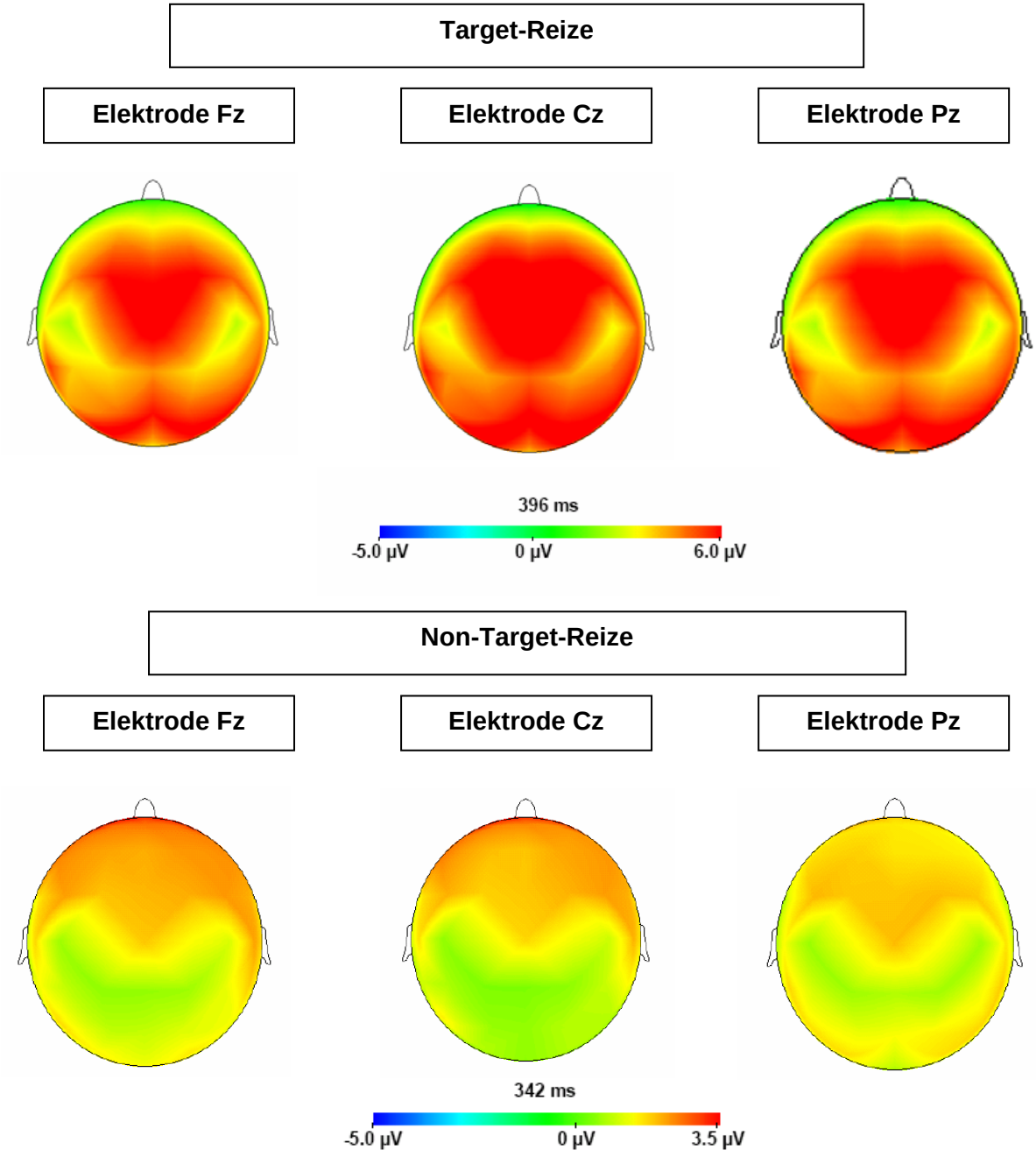
Über Fz zeigte sich keine signifikant höhere Amplitude für die Non-Target-Reize (4.04 µV) als für die Target-Reize (7.89 µV); auch an Fz zeigte sich eine signifikant ($p < 0.05$) ausgeprägtere P300-Peak auf Target-Reize, was darauf verweist, dass das vorliegende Oddball-Paradigma keine ausgeprägte frontale Novelty-P300 im eigentlichen Sinne erzeugte (Courchesne, 1978, Courchesne et al., 1978, Falkenstein et al., 1994).

Die *Topographie der Spannungsverteilung des P300-Latenzbereichs* demonstrierte einen posterioren Fokus der durch die Target-Reize ausgelösten P300 (siehe Abbildung 9.4), was in der Literatur als typisch für die P3b-Komponente beschrieben wird (Donchin & Coles, 1988; Karl et al., 2004; Herrmann & Knight, 2001; Polich & Comerchero, 2002).

Abbildung 9.4. demonstriert ebenfalls, dass sich für die Non-Target-Reize ein geringfügiger frontaler Fokus zeigte.

Die Peak-Amplituden für die Non-Target-Reize waren sowohl an Fz (4.04 µV), Pz (3.04 µV) und Cz (3.79 µV) leicht, aber signifikant ($p < 0.05$) ausgeprägter als für die Standard-Reize.

Abbildung 9.4. Topographie der Spannungsverteilung der P300 auf Target-Reize und Non-Target-Reize



Insgesamt demonstrierten die Ergebnisse einhellig, dass sich die beiden Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer *nicht signifikant* in ihrer P300-Peak-Amplitude auf Target-, Standard- und Non-Target-Reize unterschieden.

b) Varianzanalytische Ergebnisse der mittleren P300-Amplitude

Entsprechend der P300-Peak-Analyse zeigten sich auch bei der Analyse der mittleren P300-Amplitude *keine signifikanten Gruppenunterschiede*:
Es zeigte sich ebenfalls *weder ein signifikanter Haupteffekt „Gruppe“ (*$F (1, 35) = 0.003$, $p > 0.05$, partielles $eta^2 = 0.001$) *noch ein signifikanter Interaktionseffekt „Bedingung x Gruppe“* ($F (2, 70) = 0.34$, $p > 0.05$, partielles $eta^2 = 0.01$), *Elektrode x Gruppe“* ($F (2, 70) = 0.35$, $p > 0.05$, partielles $eta^2 = 0.01$) *noch „Bedingung x Elektrode x Gruppe“* ($F (4,140) = 0.25$, $p > 0.05$, partielles $eta^2 = 0.007$). Alle Testungen ergaben Ergebnisse weit jenseits des 0.05-Signifikanzniveaus.

Die statistische Analyse der mittleren Amplitudenwerte des P300-Latenzbereichs stützte die Ergebnisse der Analyse der P300-Peak-Amplitude.
Auch hier zeigte sich ein sehr starker und *signifikanter Haupteffekt „Bedingung“* ($F (2, 70) = 84.91$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.71$). Die Target-Reize provozierten auch hier, erwartungsgemäß, die höchste mittlere P300-Amplitude (4.74 µV).

Ebenso wie bei der Analyse der Peak-Amplituden zeigte sich hier auch *ein signifikanter Haupteffekt „Elektrode“* ($F (2, 70) = 4.38$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.11$), wobei die höchste mittlere P300-Amplitude über Pz (2.12 µV) und Cz (2.52 µV) auftrat, die sich signifikant ($p < 0.05$) von der P300-Amplitude an Fz (1.44 µV) unterschied.

Die Ergebnisse der Peak-Analyse stützend, zeigte sich zudem ein *signifikanter „Bedingung x Elektrode“ Interaktionseffekt* ($F (4, 140) = 7.86$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.18$). Genauso wie die Analyse der Peak-Amplituden, zeigte die post-hoc Testung (Scheffé Tests), dass die Target-Reize (Fz = 3.28 µV; Cz = 5.89 µV; Pz = 5.06 µV) wiederum die höchste mittlere P300-Amplitude an allen Elektroden produzierten ($p < 0.01$).
Auch hier zeigten die Non-Target-Reize eine geringfügige, aber signifikant ($p < 0.05$) höhere mittlere P300-Amplitude als die Standard-Reize.
Wie bei der Peak-Amplitude fand sich auch bei der mittleren P300-Amplitude für die Target-Reize eine signifikant ($p < 0.01$) höhere Amplitudenausprägung an Pz und an Cz als an Fz.

Genauso zeigte sich an Fz keine signifikant höhere P300-Amplitude für die Non-Target-Reize (0.42 µV) als für die Target-Reize (3.28 µV). An Fz fand sich wiederum eine signifikant ausgeprägtere P300-Amplitude auf die Target-Reize.
Die Peak-Analyse bestätigend, waren die mittleren P300-Amplituden für die Non-Target-Reize sowohl an Fz, Pz und Cz geringfügig, aber signifikant ($p < 0.05$) ausgeprägter als für die Standard-Reize.

Zusammengefasst ist zu sagen, dass auch die statistische Analyse der mittleren P300-Amplitude die gleichen Ergebnisse erbrachte, wie die statistische Analyse der P300-Peak-Amplitude. Dies spricht dafür, dass die Detektion der P300-Peak Amplitude sinnvolle und adäquate Ergebnisse erbrachte.

c) Varianzanalytische Ergebnisse der P300-Latenz Analyse

Die ANOVA-Analyse der P300-Latenzen demonstrierte einen signifikanten *Haupteffekt „Bedingung“* ($F (2, 70) = 3.37$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.1$). Die post-hoc Analyse zeigte, dass die mittlere P300-Latenz der Non-Target-Stimuli (374.41 ms) signifikant ($p < 0.05$) kürzer war als die P300-Latenz für die Target-Stimuli (397.34 ms).
Des Weiteren wurde ein signifikanter Interaktionseffekt *„Bedingung x Elektrode“* demonstriert ($F (4, 140) = 8.62$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.20$). Post-hoc Tests zeigten v.a., dass Non-Target-Reize an Fz (408.92 ms) eine kürzere P3-Latenz besaßen als Target-Reize an Fz (416.81 ms). Zudem waren die P3-Latenzen für Non-Target-Reize auch an Pz und Cz gegenüber den P3-Latenzen auf Target-Reize an denselben Elektroden signifikant kürzer.
Dies verweist auf die in der Literatur beschriebene früher auftretende P3a, welche vornehmlich über fronto-zentralen Regionen auf „neuartige Reize“ hin auftritt, während die P3b, primär über posterioren Regionen auftretend, in einem etwas späteren Latenzbereich der P300 sichtbar wird, und v.a. auf beachtete, Target-Reize hin auftritt (siehe Polich & Comerchero, 2003; Comerchero & Polich, 1998; Courchesne et al., 1975).

Die statistische Analyse der Latenzwerte der P300 zeigte zudem einen *signifikanten Haupteffekt „Gruppe“* ($F (1, 35) = 4.92$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.10$), wobei die guten Herzwahrnehmer (374.59 ms) generell signifikant kürzere P300-Latenz zeigten als die schlechten Herzwahrnehmer (398.84 ms).

Dieses Ergebnis wird durch den *signifikanten „Bedingung x Gruppe“ Interaktionseffekt* ($F (2, 70) = 3.26$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.10$) weiter aufgeklärt. Post-hoc Scheffé Tests demonstrierten, dass *gute Herzwahrnehmer (349.18 ms) eine signifikant ($p < 0.05$ kürzere*

Latenz für die Non-Target-Reize zeigten als schlechte Herzwahrnehmer (399.63 ms). Genauso zeigten *gute Herzwahrnehmer signifikant (p < 0.05) kürzere P300-Latenzen für Target-Stimuli (390.94 ms) als schlechte Herzwahrnehmer (403.73 ms).* In den Latenzen auf die häufigen Standard-Reize unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant (p > 0.05) (gute Herzwahrnehmer: 384.65 ms; schlechte Herzwahrnehmer: 393.17 ms).

Ich möchte hier noch hinzufügen, dass die genannten Analysen der P300-Peak-Amplitude, der mittleren P300-Amplitude sowie der P300-Latenzen auch noch für weitere Elektrodenkonstellationen außer Fz, Cz sowie Pz, welche die mögliche Lateralität der Ereignisse berücksichtigten (F1, CP1, P1, PO3, O1 sowie F2, CP2, P2, PO4, O2) berechnet wurden. Auch hier zeigten sich keine Abweichungen von den hier berichteten Ergebnissen.

Korrelationsstatistik

Die Berechnung von Spearman-Rho Korrelationen zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den Latenzwerten und Peak-Amplituden sowie mittleren Amplituden im P300-Latenzbereich ergaben, die varianzanalytischen Ergebnisse bestätigend, weder für die Peak-Amplituden der P300 noch für die mittleren P300-Amplituden eine nennenswerte noch signifikante Korrelation (p > 0.05). Die Korrelationskoeffizienten bewegten sich zwischen r_s = 0.08 bis 0.1.
Jedoch zeigte sich entsprechend den varianzanalytischen Ergebnissen eine signifikante, negative Korrelationen zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den mittleren Latenzwerten für die Non-Target-Reize an Elektrode Pz (r = - 0.60, p < 0.001) und Fz (r = - 0.49, p < 0.01). Zusätzlich zeigte sich eine signifikant negative Korrelation zwischen Herzwahrnehmungsscore und Latenz für Target-Reize an Elektrode Fz (r = - 0.43, p < 0.05) und Cz (r = - 0.34, p < 0.05).

9.5. Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse zeigten zum ersten, dass Zielreize in dem gewählten visuellen Odbball-Paradigma, wie erwünscht, zu einer deutlichen späteren P300-Amlitude (P3b) mit zentro-parietalem Maximum führten sowie Non-Target-Reize eine früher auftretende, wenn auch schwach ausgeprägte P300 (P3a) erzeugten. Hierauf gehe ich im Anschluss an die Erörterung und Diskussion der hier vorrangig interessierenden Gruppenergebnisse nochmals gezielter ein. Für die Reliabilität der Peak-Analyse der P300 in dieser Studie spricht die Tatsache, dass sich die Ergebnisse für die Peak-P300 und für die mittlere Amplitude der P300 entsprachen und die gleichen Resultate erbrachten.

Zum zweiten konnten jedoch die wesentlichen Haupthypothesen nicht bestätigt werden. Weder behavioral noch in der zentralnervösen Aktivität unterschieden sich gute und schlechte Herzwahrnehmer in dem Ausmaß ihrer Aufmerksamkeitsallokation auf aufgabenrelevante Target-Reize und in ihrer Orientierungsreaktion auf neue, unvorhersehbare, visuelle Stimuli.

Diskussion der Gruppenbefunde:

Weder die P300-Peak-Analyse noch die Analyse des mittleren P300-Latenzbereichs zeigte einen signifikanten Unterschied in der Ausprägung der P300-Amplitude zwischen den Gruppen. Beide Gruppen unterschieden sich ebenfalls nicht in der Anzahl mitgezählter Target-Reize. Gleichfalls zeigten sich keine auch nur annähernd bedeutsamen und signifikanten Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore, d.h. der Ausprägung der Kardiosensibilität, und P300-Amplituden für Target- und Non-Target-Reize.

Diese Ergebnisse demonstrieren somit, dass keine Beziehung zwischen Kardiosensibilität und dem Ausmaß der Aufmerksamkeitsallokation auf einfache, non-emotionale, aufgabenrelevante und neue, nicht-aufgabenrelevante Reize (im Sinne einer Orientierungsreaktion) nachgewiesen werden konnte.

In der Herleitung der Hypothesen wurde vermutet, dass die Herzwahrnehmungsfähigkeit einen Einfluss auf die selektive Aufmerksamkeitsallokation auf einfache, externe Reize haben sollte, da mit Damasio (1999, 2000) davon ausgegangen werden kann, dass die Verfügbarkeit somatischer Marker prinzipiell mentale, kognitive Prozesse in allen Lebenssituationen beeinflusst, sowie zu einer Verstärkung von Aufmerksamkeitsprozessen führt (z.B. Damasio, 1996; Damasio, 1999, 2000). Des Weiteren wurde einleitend davon ausgegangen, dass aufgrund der Überlappung von, für die Verarbeitung interozeptiver, interner Signale sowie für Aufmerksamkeitsprozesse relevanten Hirnstrukturen (v.a. ACC, parietaler Kortex, präfrontaler Kortex) (z.B. Critchley et al., 2004; Pollatos et al., 2004b; Pollatos et al., 2005a), welche auch aktiviert werden, wenn eine Oddball-Aufgabe durchgeführt wird (z.B. Herrmann & Knight, 2001; Knight, 1984) eine Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Aufmerksamkeitsprozessen anzunehmen ist. Zuletzt war der Gedanke, dass gute Herzwahrnehmer nicht nur interne Reize sondern auch äquivalente externe, einfache Reize besser prozessieren als schlechte Herzwahrnehmer.

Hierzu lässt sich aufgrund der hier „negativen“ Ergebnisse Folgendes ausführen:

Zum ersten weisen die negativen Resultate dieser Studie bzgl. der P300-Amplitude auf einen ganz wichtigen Faktor hin, der nicht unbedingt als „negatives Ergebnis“ zu betrachten ist:

Zwar ist es richtig, anzunehmen, dass sensu Damasio somatische Marker und das körperliche Feedback wesentlichen Einfluss auf mentale Prozesse, wie die

Aufmerksamkeitsallokation und Prozessierungsintensität von emotionalen Reizen nehmen, wie dies ja in Studie 1 und 2 gezeigt worden ist, jedoch machen die hier vorliegenden Ergebnisse auf einen ganz wesentlichen Aspekt aufmerksam, nämlich den Faktor der *Emotionalität bzw. der emotionalen Bedeutung oder Signifikanz von Reizen*.

Damasio (1999, 2000) führt zwar aus, dass prinzipiell jede Alltagssituation eine emotionale Situation ist, und immer mit dem „Körper als Bühne“ oder zumindest den Repräsentationen des Körpers im „Kopf“ erlebt wird, jedoch spielt bei seinen Ausführungen über die Bedeutung von somatischen Markern besonders der Faktor des Arousals im Gehirn als auch in der Körperperipherie und zuletzt als Feedback zurück zum Gehirn eine sehr wichtige Rolle (z.B. Damasio et al., 1991; Damasio, 1994, 1999, 2000; Bechara et al., 1997, 1999).

Ich habe in der Einleitung zu dieser Studie erwähnt, dass die Untersuchungen, welche von der Arbeitsgruppe um Damasio (z.B. Damasio, 1999, 2000; Tranel, 1994; Tranel et al., 1995; Bechara et al., 1997, 1999, 2005) zur Prüfung der „somatic marker“ Theorie durchgeführt wurden, keine emotional irrelevanten Aufgaben verwendeten („Iowa Gambling Task“). Die interessanten Ergebnisse zur Beeinflussung von kognitiven Entscheidungsprozessen (siehe Kapitel 2.4.6.) ergaben sich in einem alltagsnahen Setting, welches positive oder aversive Konsequenzen für die Probanden bereitstellte. In diesen Situationen wurden somatische Marker, d.h. ein physiologisches Arousal, produziert (d.h. ein Anstieg der Hautleitfähigkeitsreaktion), welche sodann als solche zum Gehirn zurückgemeldet zur Verfügung stehen und die Auswahl von Karten beeinflussen konnten (Gewinn oder Verlust im „Kartenspiel“).

Werden keine somatische Marker produziert, wie dies bei den von Damasio untersuchten Patienten mit Läsionen des ventromedialen Präfrontalkortex der Fall war (z.B. Bechara et al., 1996, 1997, 1999), können diese nicht für jegliche mentale Prozesse zur Verfügung stehen. Das gleiche wurde bei Patienten mit autonomer Neuropathie nachgewiesen (North & O´Carroll, 2001). Auch diese Patienten zeigten beeinträchtigte kognitive Entscheidungsprozesse im Kartenspiel, und dies - Damasios Theorie folgend - aufgrund des fehlenden Arousal-Feedbacks (North & O´Carroll, 2001).

Damasio konstatiert selbst, dass ein fehlendes körperliches Arousal bzw. ein beeinträchtigtes Feedback dieses Arousals zu Defiziten in mentalen Prozessen führt (z.B. Damasio, 1999, 2000; Bechara, Damasio & Damasio, 2003).

Obwohl Damasio sicherlich darin zuzustimmen ist, dass es prinzipiell keine „emotionslosen“, völlig neutralen Situationen im Leben gibt, so zeigen die Ergebnisse dieser Studie 3 doch deutlich, dass der Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und der Verarbeitungsintensität und Aufmerksamkeitsallokation über die Relevanz oder emotionale Signifikanz der zu verarbeitenden Stimuli vermittelt ist. Dass die emotionale Salienz von Reizen wesentlich die Allokation von Aufmerksamkeit beeinflusst, haben zahlreiche Befunde

aus der Emotionsforschung ausführlich verdeutlicht (z.B. Öhman, Flykt & Esteves, 2001; Anderson & Phelps, 2001; Moratti, Keil & Stolarova, 2004; Schupp et al., 2004; Keil et al., 2002; siehe Kapitel 5.2.).

Es gibt bedeutsamere und weniger bedeutsame Situationen; wobei das, was wir als emotionale Situationen bezeichnen, jene Situationen und Stimuli meint, die als „primäre oder sekundäre Induktoren“ (Damasio, 1999, 2000) entsprechend intensive Emotionen in den Emotionsinduktionsstrukturen des Gehirns auslösen und Handlungen verlangen, welche dem Überleben des Organismus dienlich sind (z.B. Damasio, 1999, 2000). Die einfachen Reize der Oddball-Aufgabe und die Aufgabe, bestimmte Zielreize mitzuzählen scheinen nicht emotional relevante, oder emotional genügend relevante Aufgaben darzustellen. Auch das spontane Auftreten seltener einfacher Non-Target-Reize stellt offensichtlich kein solches intensives emotionales Ereignis dar.

Diese Ausführungen bzgl. der Signifikanz von Reizen und des Arousal-Aspekts decken sich auch mit der für die P300 typischen Beeinflussung durch Arousalprozesse und das Erregungsniveau der Person (Polich & Kok, 1995). Ein erhöhtes Arousal trägt nachweislich zu einer Erhöhung der P300-Amplitude bei.

Für diese Interpretation der Bedeutung der emotionalen Intensität bzw. des Arousals sprechen auch die Befunde von Critchley et al. (2004), welche signifikante positive Korrelationen zwischen der Intensität, also dem Arousalniveau, des emotionalen Empfindens und der Ausprägung der Herzwahrnehmungsfähigkeit eruierten sowie die Ergebnisse von Barrett et al. (2004), die zeigten, dass gute im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern einen stärkeren Arousal-Fokus bei der Beschreibung emotionaler Ereignisse im Alltag aufwiesen.

Genauso sprechen hierfür auch die in Studie 1 replizierten Ergebnisse, dass gute Herzwahrnehmer *nur* emotionale Bilder jedoch nicht die neutralen Bilder als stärker erregend erlebten und ebenfalls erhöhte P300-Amplituden sowie ausgeprägtere Slow-Wave-Amplituden auf die *emotional erregenden Bilder*, *nicht* jedoch *auf die emotional nicht-erregenden, neutralen Bilder* zeigten als schlechte Herzwahrnehmer.

Die relevanten Unterschiede in der zentralnervösen Prozessierung von externen, visuellen Reizen zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern scheinen somit erst zum Tragen zu kommen, wenn es sich um emotional relevantes Stimulusmaterial handelt.

Entsprechend zeigten gute Herzwahrnehmer, welche eine intensivere kortikale Verarbeitung ihrer viszeralen kardialen Tätigkeit besitzen (Pollatos et al., 2004; Pollatos; Kirsch & Schandry, 2005), weder auf die externen, visuellen, einfachen Zielreize noch auf seltene Non-Target-Reize eine intensivere Aufmerksamkeitsallokation als schlechte Herzwahrnehmer.

Dies entspricht letztlich auch den Aussagen der James´schen Theorie (Kapitel 2.2.), deren Fokus das emotionale Empfinden ist. Dort wird konstatiert, dass relevante, sprich *emotional signifikante* Reize zu körperlichen Reaktionen führen, welche sodann als das emotionale Gefühl vorliegen. Emotional wenig relevante oder irrelevante bzw. nicht-signifikante Reize können in dem Sinne kein intensives emotionales Erleben reflektieren.

Die Ergebnisse weisen daher zusammen mit den Befunden aus Studie 1 darauf hin, dass die Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Prozessierungsausmaß von bzw. Aufmerksamkeitsallokation auf externe Stimuli ganz wesentlich durch den Faktor *Emotion bzw. emotionales Arousal* beeinflusst ist. Es ist an dieser Stelle daran zu erinnern, dass Studie 1 und die vorliegende Studie 3 dieselben Probanden einschloss, so dass diese Ergebnisse nochmals an Aussagekraft gewinnen.

Zwar zeigen bisherige Befunde, wie dies einleitend formuliert wurde, eine starke Überlappung von für interozeptive Prozesse und für Aufmerksamkeitsprozesse relevanten Hirnstrukturen (v.a. ACC, präfrontale Hirnregionen, parietaler Kortex) und verweisen auf eine intensivere Aktivierung dieser Strukturen bei guten Herzwahrnehmern im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern während einer Herzwahrnehmungsaufgabe (Pollatos et al., 2004), also der Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf den eigenen Herzschlag, jedoch zeigen die vorliegenden Befunde, dass daraus nicht unmittelbar auf eine verstärkte selektive Aufmerksamkeitsintensität auf einfache, weitgehend non-emotionale, externe Stimuli bei guten Herzwahrnehmern geschlossen werden kann. Die hier vorliegenden Daten geben zudem „nur“ Aufschluss über den zeitlichen Verlauf von Hirnaktivität und deren Intensität, lassen jedoch keine Lokalisation oder Ortung von spezifischen Hirnstrukturen zu. Dies müsste in einer fMRI-Studie untersucht werden.

Die in der Einleitung ausgeführte Logik, dass gute Herzwahrnehmer eine intensivere externe Aufmerksamkeitsallokation auf externe einfache Reize aufweisen könnten, ähnlich wie sie ihre internen Signale (des Herzschlags) intensiver verarbeiten und wahrnehmen, ist sicher nicht falsch zu nennen. Die Befunde weisen aber darauf hin, dass beide Prozesse nicht als äquivalent zu betrachten sind. Per definitonem nehmen gute Herzwahrnehmer ihren Herzschlag besser wahr als schlechte Herzwahrnehmer, was sich etwa auch in dem ausgeprägteren HEP der guten im Vergleich zu schlechte Herzwahrnehmern äußert (z.B. Pollatos et al., 2004a; Montoya et al., 1993), zeigen aber keine verstärkte Aufmerksamkeitsallokation auf externe, einfache Reize.

Dies könnte zum einen auch darauf hinweisen, dass gute Herzwahrnehmer nicht prinzipiell mehr Aufmerksamkeitsressourcen mobilisieren, um ihren Herzschlag und externe, einfache Reize zu detektieren, sondern grundlegend einfach eine bessere Herz-zu-Hirn-Transmission und Verarbeitung viszeraler Signale als schlechte Herzwahrnehmer besitzen (wie die HEP-Befunde demonstrieren!), wobei sich diese dann, wie Studie 1 und 2 gezeigt haben, vor allem in einem emotionalen Setting, wenn es um die Verarbeitung und das Erleben emotional bedeutsamer Stimuli geht, auswirkt, wie dies die James´sche Theorie betonte.

Zum anderen könnte dies in Anlehnung an die bereits ausgeführten Überlegungen zur Bedeutung der emotionalen Relevanz von Stimuli diskutiert werden:
Der eigene Herzschlag könnte im Vergleich zu eher wenig aufregenden externen Stimuli ein bedeutsameres und relevanteres Signal darstellen, wofür auch die in Kapitel 4.4.1. vorgestellten Studien bei Patienten mit Angst- und Panikstörungen sprechen, welche einen engen Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und Angst demonstrieren (z.B. Ehlers, 1995; Ehlers & Breuer, 1996; Pauli et al., 1991). Dies würde bedeuten, dass gute Herzwahrnehmer auf ihren eigenen Herzschlag als relevantes Signal zwar mehr Aufmerksamkeit richten, sich jedoch nicht auf einen weniger bedeutsamen externen Stimulus konzentrieren. An dieser Stelle ist an Pennebakers (1982) „competition of cues“ Hypothese zu erinnern, die davon ausgeht, dass die zentrale Verarbeitungskapazität des Organismus begrenzt ist und daher eine ständige Konkurrenz zwischen interozeptiven Vorgängen und äußeren Reizen bestünde. Demnach wäre die Aufmerksamkeit einer Person eher dann auf interozeptive Reize gerichtet und diese würden eine größere Wahrscheinlichkeit besitzen, bewusst wahrgenommen zu werden, wenn sie im Vergleich zu exterozeptiven Reizen auffälliger oder wichtiger sind. Die hier vorliegenden Befunde könnten möglicherweise dafür sprechen, dass gute Herzwahrnehmer ihrem eigenen Herzschlag eine größere Relevanz einräumen als den einfachen, weniger emotional relevanten Oddball-Reizen, so dass letzteren keine größere Aufmerksamkeitsallokation zugestanden wurde.
Dies ist jedoch spekulativ, da im vorliegenden Experiment Herzwahrnehmung und Oddball-Aufgabe getrennt untersucht wurden, und nicht konkurrierend in einer Situation erfasst wurden. Diese Hypothese könnte in einem Dual-Task Paradigma untersucht werden.
Gegen diese Hypothese sprechen allerdings sehr deutlich die Ergebnisse von Studie 1 und 2, welche gezeigt haben (siehe auch die Befunde von Pollatos et al., 2005b), dass, geht es um die zentralnervöse Verarbeitung von emotional bedeutsamen Reizen, sich Kardiosensibilität durchaus in einer verstärkten kortikalen Verarbeitung dieser Reize niederschlägt. Würden gute Herzwahrnehmer, wie Pennebaker dies in seiner „competition of cues“ Hypothese vorschlägt, während der Betrachtung emotionaler Bilder, welche mehr Aufmerksamkeitsressourcen auf sich ziehen, diesen Bildern mehr Aufmerksamkeitskapazität

widmen als ihrem eigenen Herzschlag, so sollte die während der Bildpräsentation kontinuierlich stattfindende Kardiosensibilität keine bedeutsamen Auswirkungen auf die zentralnervöse Verarbeitung dieser emotionalen Reize haben. Gute Herzwahrnehmer wären dann ja mehr damit beschäftigt, diese Bilder aufmerksam zu betrachten als mit der Wahrnehmung ihres Herzschlags, so dass dies zu einer Abnahme von Kardiozeption führen müsste und dadurch die Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern aufheben würde.
Um die hier angedeutete Thematik der „Ressourcenallokation“ von Aufmerksamkeitskapazitäten bei guten und schlechten Herzwahrnehmern jedoch genauer unter die Lupe zu nehmen, wären in der Tat „Dual Task“ Untersuchungen von Relevanz.

So bleibt bis dahin zusammenzufassen, dass die nicht existenten Gruppenunterschiede in der Ausprägung der P300-Amplituden auf non-emotionale Stimuli vermuten lassen, dass Kardiosensibilität und das Ausmaß an Aufmerksamkeitsallokation auf einfache, visuelle externe Reize keine Beziehung zueinander aufweisen. Ich favorisiere dabei oben erörterte Begründung, dass dem ***Faktor Emotion bzw. emotionale Bedeutung (Arousal)*** *eine wesentliche Rolle zukommt. Die Hauptergebnisse der Studie zeigen in Verbund mit den Ergebnissen aus Studie 1 und 2 somit, dass die emotionale Bedeutung bzw. Relevanz eines Stimulus bzw. einer Aufgabe eine sehr wesentliche Größe bzgl. des Zusammenhangs zwischen Kardiosensibilität und der zentralnervösen Verarbeitung visueller Stimuli darstellt. Dies ist vereinbar mit der Emotionstheorie von W. James als auch von Damasio.*

Es zeigte sich nunmehr aber ein *zweiter Nebenbefund*: Die Resultate der statistischen Analyse der P3-Latenzen zeigten *signifikante Gruppenunterschiede bzgl. der Latenz der P300-Amplitude*. Hierfür wurden ursprünglich in dieser Studie keine Hypothesen formuliert, da die Schnelligkeit der Stimulusdetektion und Informationsverarbeitung non-emotionaler, einfacher Stimuli in Verbindung mit Kardiosensibilität betreffend, aufgrund fehlender Befundlage zum Aspekt Interozeption bislang keine exakten Hypothesen ableitbar sind.
Das Ergebnis weist jedoch hier ganz deutlich darauf hin, dass gute Herzwahrnehmer gegenüber schlechten Herzwahrnehmern signifikant kürzere P300-Latenzen sowohl auf die Zielreize als auch auf die seltenen Non-Target-Reize aufwiesen. Dies kann als eine schnellere Informationsverarbeitung und schnellere Aufmerksamkeitsallokation und Re-allokation von Aufmerksamkeit der guten Herzwahrnehmer gedeutet werden (z.B. Knight, 1984; Näätänen et al., 1990; Kiehl et al., 1999; Kosson, 1996). Auch die signifikanten, negativen Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und der P3-Latenz für Target- und Non-Target-Reize stützen diesen Befund.

Die P300-Latenz, wie sie hier als Latenz zwischen Stimulusonset und Beginn des Peaks der P3 gemessen wurde, kennzeichnet die Schnelligkeit der Stimulusdetektion und –evaluation (z.B. Donchin & Coles, 1988). Zudem existiert eine negative Beziehung zwischen P300-Latenz und neuropsychologischen Funktionen, v.a. der Schnelligkeit der Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (z.B. Polich & Kok, 1995).

Die Befunde demonstrierten somit, dass gute Herzwahrnehmer zwar keine intensivere und stärkere Allokation von Aufmerksamkeit bzw. selektive Aufmerksamkeit (Target-Reize) sowie eine intensivere Orientierungsreaktion (Non-Target-Reize) auf externe einfache, visuelle Stimuli hin zeigten, aber diese beiden Reize signifikant schneller detektieren und prozessieren als schlechte Herzwahrnehmer.

Unabhängig von oben ausgeführten Erörterungen zur emotionalen Signifikanz von Reizen muss dieses Ergebnis für sich stehen und so zur Kenntnis genommen werden. Man kann daraus eine generell schnellere Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit der guten Herzwahrnehmer ableiten, die nicht auf emotional signifikante Reize eingeschränkt ist.

Gute Herzwahrnehmer scheinen demnach, aufgrund ihrer stärkeren Verarbeitung interner, viszeraler Signale eine schnellere Detektion von externen Reizen in der Umwelt zu besitzen. Dies ist jedoch nicht gekoppelt an eine intensivere Verarbeitung dieser Reize.

Weshalb sich hier eine Trennung zwischen Verarbeitungsintensität und Schnelligkeit der Detektion und Verarbeitung bei guten Herzwahrnehmern zeigt, ist nicht eindeutig und generiert vornehmlich spekulative Überlegungen: Man könnte daraus ableiten, dass gute Herzwahrnehmer externe visuelle Reize schneller detektieren und verarbeiten, aber gleichzeitig keine weiteren Aufmerksamkeitsressourcen auf einfache externe Reize „verschwenden“. In Zusammenschau mit den Ergebnissen von Studie1 könnte dies darauf hinweisen, dass gute Herzwahrnehmer visuelle, externe Reize schneller entdecken und prozessieren und gleichzeitig besser „entscheiden“ können, inwieweit diese Stimuli von emotionaler Bedeutung sind oder nicht. Ist ein Reiz emotional relevant, so wird er, wie Studie 1 zeigt, entsprechend auch intensiver bei guten Herzwahrnehmern verarbeitet und ihm werden mehr Aufmerksamkeitsressourcen gewidmet. Ist er emotional wenig oder nicht von Relevanz wird er nicht weiter intensiver verarbeitet, wie dies die hier vorliegenden Befunde nahe legen.

Zusammen mit den Befunden aus Studie 1 könnte man diese Überlegung durchaus als plausibel ansehen. So haben Lane und Mitarbeiter (Thayer & Lane, 2000; Lane & Schwartz, 1987; Lane et al., 1998) v.a. darauf hingewiesen, dass, Menschen, welche eine hoch entwickelte Fähigkeit besitzen, ihre Emotionen wahrzunehmen („emotional awareness“), besonders gut darin sind, emotionale Signale in der Umwelt und in sich selbst zu detektieren

und zu *unterscheiden* (Lane et al., 2000, p.529). Die Befunde von Lane und Mitarbeitern (Lane et al., 1998; Lane et al.,1999) haben auf eine besondere Rolle des cingulären Kortex für *„emotional awareness“* verwiesen, eine Struktur, die sich nicht nur für das subjektive emotionale Erleben sondern auch die bewusste Wahrnehmung interozeptiver Signale als sehr wichtig erwiesen hat (siehe Kapitel 3). Möglicherweise spielt diese Hirnstruktur bei guten Herzwahrnehmern eine relevante Rolle bei der Diskriminierung emotional relevanter und irrelevanter Stimuli.
Dies ist jedoch anhand der vorliegenden Daten nicht einhellig zu entscheiden, sondern muss in weiterführenden Untersuchungen geklärt werden.

Diskussion des Paradigmas:
Abschließend möchte ich auf zu Beginn der Diskussion angesprochene Erörterung des gewählten Paradigmas und der Ergebnisse zur Induktion einer P3a und P3b und deren Topographie zurückkommen. Diesbezüglich ist zusammenzufassen, dass die Ergebnisse der P300-Peak-Analyse als auch der Analyse der mittleren Amplitude der P300, deutlich demonstrieren, dass anhand des gewählten Oddball-Partadigmas P300-Amplituden auf die Target-Reize ausgelöst werden konnten, welche ein zentro-parietales Maximum (höchste Amplitudenausprägung an Pz und Cz) zeigten. Dies bestätigte auch die topographische Darstellung der Spannungsverteilung der P300, welche eine zentro-parietale Topgraphie zeigte (z.B. Polich & Kok, 1995; Polich & Comerchero, 2003; Bledowski et al., 2004). Auch die Analyse der P300-Latenzen auf die Target-Reize bestätigte die klassischen Befunde der Literatur (z.B. Polich & Kok, 1995; Polich & Comerchero, 2003; Bledowski et al., 2004), dass auf seltene Zielreize hin, eine klassische P3b über posterioren Kortexarealen ausgelöst wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass in dem verwendeten Oddball die P300-Latenz auf Target-Reize signifikant länger war als die P300-Latenz auf Non-Target-Reize.
Anhand der Target-Reize konnte in diesem Experiment somit, wie gewünscht, eine sehr deutliche P3b ausgelöst werden.
Was die Analyse der neuen Non-Target-Reize angeht, so demonstrierten die Ergebnisse zwar, dass die hierauf induzierte P300 deutlich früher als die P300 auf Target-Reize auftrat, was für eine Auslösung einer P3a spricht (z.B. Polich & Comerchero, 2003; Comerchero & Polich, 1998; Courchesne et al., 1975), jedoch konnte die, für eine auf neue Reize hin auslösbare P3a, typische höchste Amplitude über frontal (Fz) nicht deutlich nachgewiesen werden. Zwar zeigte die Topographie der P300 auf Non-Target-Reize eine frontale, wenn auch schwache, Spannungsverteilung an, jedoch konnte sich das frontale Maximum statistisch nicht eindeutig nachweisen lassen. Auch die Kurvenverläufe der VEPs zeigten, dass die neuen Non-Target-Reize nur geringfügig, wenn auch signifikant stärker als für die Standard-Reize, über allen Elektroden ausgeprägt waren. Diese Befunde deuten an, dass

die als neu gedachten, hier verwendeten Non-Target-Stimuli nicht eine wirklich deutliche Novelty-P3 (P3a) induzierten. Die Effekte sind eher schwach ausgeprägt.

Eine Verwendung von eindeutig, neuartigen Stimuli (z.B. komplexere und farbige Reize) wäre für die Untersuchung einer P3a oder Novelty-P3 hier zukünftig zu favorisieren. Zudem spielen, was die Auslösung der P300 in einem modifizierten Oddball-Paradigma angeht, auch Kontexteffekte eine wesentliche Rolle: Die Auslösung einer typischen Novelty-P300 über frontal ist etwa auch davon abhängig, wie schwierig die Unterscheidung von Target- und Standard-Reizen ist. Sind diese Reize besonders schwierig voneinander zu differenzieren, und die neuen Non-Target-Reize besonders neu, so ist die Auslösung einer ausgeprägten P3a am stärksten (Polich & Comerchero, 2003; Bledowski et al., 2004; Courchesne, 1978; Courchesne et al., 1978). Auch diese Tatsache, dass hier Zielreize und Standard-Reize eher einfach zu unterscheiden waren, könnte für den schwachen Novelty-P3-Effekt in dieser Studie verantwortlich sein.

10. Studie 4 und 5:
Kardiosensibilität und Verhaltensregulation untersucht in einem affektiven „Viewing-Time Experiment“ (Studie 4a), anhand der Analyse von „affektiven Bildbeurteilungszeiten“ (Studie 4b) und in einem „Fahrrad-Ergometer-Versuch“ (Studie 5)

“The emotions aren't always immediately subject to reason,
but they are always immediately subject to action” (James, 1950).

10.1. Theoretische Einführung zu Studie 4a, b und 5

Wie im theoretischen Teil der Arbeit bereits ausführlich beschrieben wurde, gehen sowohl W. James (James, 1890; Kapitel 2.2.) als auch A. Damasio (1999, 2000; Kapitel 2.4.) in ihren Theorien davon aus, dass die Wahrnehmung und/oder Verarbeitung viszeraler und weiterer afferenter körperlicher Signale einen wichtigen Einfluss auf höher geordnete Prozesse des menschlichen Lebens besitzen, welche sich auch im konkret beobachtbaren emotionalen, motivationalen und sozialen Verhalten eines Menschen manifestieren (James, 1884, 1950; Damasio, 1994, 2000).
Auch Cacioppo et al. (1992) und Berntson et al. (2003) betonen die Bedeutung körperlichen Feedbacks für die emotionale, kognitive und Verhaltensregulation.
Die Annahme, dass afferente Signale aus dem Körper eine wichtige Rolle bei der langfristigen behavioralen Regulation des Organismus spielen, wird als unumstritten angesehen (Craig, 2002; Damasio, Tranel & Damasio, 1991; Heims et al., 2004; Vaitl, 1996; Zagon, 2001).

Nach Antonio Damasios Modell (Kapitel 2.4.), induzieren körperliche Reaktionen und viszerale Erregung als somatische Marker, Gefühlszustände, die das subjektive Emotionserleben einfärben (Damasio, 1994, 2000; Bechara, Damasio & Damasio, 2000). Damasios „Somatic Marker“ Hypothese (siehe Kapitel 2.4.) geht ganz konkret davon aus, dass das somatische Feedback zum Gehirn ganz wesentlich das offen beobachtbare Verhalten beeinflusst (Damasio, 1994; Bechara et al., 1998; Bechara, 2004).
Habe ich in bisherigen Studien bereits gezeigt, dass Personen mit einer guten viszeralen Wahrnehmungsfähigkeit (gute Herzwahrnehmer) nicht nur emotionale visuelle Stimuli subjektiv emotional intensiver erleben (Studie 1; siehe auch Hantas, Katkin & Blascovich, 1982; Critchley et al., 2004; Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000), sondern diese auch kortikal – sowohl im späteren Emotionsverarbeitungsprozess als auch im frühen sensorischen Verarbeitungsprozess – intensiver verarbeiten (Studie 1 und 2), so stellt sich

nun die Frage inwieweit auch das offen beobachtbare Verhalten mit der Variable Herzwahrnehmungsfähigkeit assoziiert ist.
Ich habe in Kapitel 4.4.2. ausgeführt, dass bislang kaum Studien existieren, welche den Zusammenhang zwischen viszeraler Wahrnehmungsfähigkeit und offen beobachtbarem Verhalten konkret untersucht hätten. Dies ist eigentlich ziemlich erstaunlich, da Emotionen in der heutigen Emotionsforschung, wie in Kapitel 5.2. beschrieben, als Handlungsdispositionen gesehen werden, die die zentralnervöse Aktivierung reflektieren und den Organismus ja letztlich für „Taten“ vorbereiten (Darwin, 1934; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990). Bereits Darwin (2002) hat darauf verwiesen, dass affektive Expression sich primär entwickelt hat, da es den Organismus für Handlungen vorbereitet und für diese motiviert.

Pennebaker (1980), ein Vorreiter auf dem Gebiet der Untersuchung der Wahrnehmung physiologischer, körperlicher Prozesse auch außerhalb von Laborsituationen schreibt: *„With all of our sophistication in measurement, we have often overlooked the ways that normal humans perceive their physiological activity in the real world.“* (Pennebaker, 1980, S. 389).
Dieses Zitat beherzigend, sollen die beiden hier vorzustellenden Untersuchungen als ein Beitrag zur Klärung der Frage verstanden werden, inwieweit die Wahrnehmung körperlicher, physiologischer Signale, am Beispiel der Herzwahrnehmungsfähigkeit, in alltagsnahen, im Labor reproduzierten Situationen, in Verbindung steht mit offen beobachtbarem Verhalten.

Wesentliche Anhaltspunkte, welche sich zur Assoziation zwischen dem Feedback körperinterner Signale und Verhaltensregulation finden lassen, stammen aus der Theorie und den Befunden von Damasio (z.B. 1999, 2000). Dieser Zusammenhang wird von Damasio und Mitarbeitern im Rahmen der „Somatic Marker“ Theorie“ konkret formuliert und aktuell wissenschaftlich untersucht. Diese Studien sowie die Bedeutung von körperlichen Zuständen und Reaktionen auf Urteils- und Entscheidungsprozesse habe ich in Kapitel 2.4.6. und 4.4.2. beschrieben. Ebenfalls erörtert habe ich dort die Bedeutung des ventromedialen Präfrontalkortex sowie des ACC in Damasios Theorie für die Assoziation zwischen somatischen Markern und Verhaltensregulation.
Wichtig zu rekapitulieren ist an dieser Stelle die Tatsache, dass nach Damasio somatische Marker die Auswahl oder Abweisung von verschiedenen Situations-Emotions-Alternativen stark mitbestimmen, da körperliche und physiologische Reaktionen bzw. Zustände v.a. im ventromedialen Präfrontalkortex mit spezifischen Situationen und Erinnerungen sowie emotionalen Zuständen verknüpft sind und bei der Bewertung dieser Emotions-Situations-Verknüpfungen als positiv oder negativ für den Organismus wichtig sind (Damasio, 1996, Kapitel 2.4.).

Wie ich ausführlich beschrieben habe (Kapitel 2.4.6.) zeigten verschiedene Studien von Damasio und Mitarbeitern, dass die Existenz von somatischen Markern, für eine schnelle und effiziente Entscheidungsfindung und Handlungsauswahl nötig ist. Besteht eine Beeinträchtigung bei der Produktion oder Rückmeldung bzw. Verarbeitung von somatischen-physiologischen Reaktionen, wie dies bei Patienten mit Läsionen des ventromedialen Präfrontalkortex der Fall ist, ist dieser Prozess beeinträchtigt und Verhaltensalternativen können nicht mehr adäquat ausgewählt werden (Damasio et al., 1990; Damasio et al., 1991; Damasio, 1996; Tranel et al., 1995; North & O´Carroll, 2001).

Bisherige Befunde mit der „Iowa Gambling Task" haben gezeigt, dass gesunde Personen vor der Wahl „schlechter" bzw. „riskanter" Karten eine autonom-nervöse Reaktionen (Anstieg der Hautleitfähigkeit) produzieren, bereits bevor sie bewusst ahnen, dass diese gewählte Alternative riskant und schlecht für ihren Erfolg ist. Dieser somatische Marker wird dann im Gehirn weiter verarbeitet und kann dadurch zu einer Favorisierung von Handlungen und Entscheidungen führen, noch ohne dass die betreffende Person bereits bewusst angeben könnte, weshalb eine Handlungsalternative besser ist als die andere (Bechara et al., 1996; 1997; 1999; Damasio, 2000; siehe Kapitel 2.4.6.). Besonders relevant sind die Befunde, die gezeigt haben, dass Läsionen des ventromedialen Präfrontalkortex (Damasio, 2000; Bechara et al. 2000; Bechara et al., 2005), also der wesentlichen Integrationsstruktur Damasios bzw. einer sehr relevanten „Repräsentationsstruktur zweiter Ordnung" genauso wie eine Schädigung des peripheren autonomen Nervensystems bei Patienten mit peripherer autonomer Neuropathie (North & O´Carroll, 2001), zu einer Beeinträchtigung dieser Verhaltensregulation führt. Während gesunde Probanden im Laufe des Experiments die „riskanten" Handlungsalternativen vermieden, zeigten die Patientengruppen keine derartige Anpassung, sondern wählten immer wieder „riskante" Alternativen aus, zeigten sich also „risikofreudiger" und weniger vorsichtig in ihren Handlungen.

Das bedeutet, dass in Situationen, in welchen zwischen Optionen, welche unterschiedlich riskant sind, gewählt werden kann, ein „somatischer Marker" (ein sog. „gut feeling") auf die noch nicht unbedingt bewusst erkannte riskante oder schlechte Handlungsalternative hin ausgelöst und sogleich ans Gehirn zurückgemeldet wird, um dort bei der kognitiven Auswahl „guter" oder „schlechter" bzw. „riskanter" oder „weniger riskanter" Handlungen und Verhaltensmöglichkeiten Einfluss zu nehmen.

Nimmt man allein bereits diese Befunde in Betracht, so ergeben sich verschiedene Ableitungen in Bezug zur Kardiosensibilität:

Erstens haben aktuelle Studien (siehe Kapitel 3.2.4. und 4.3.) gezeigt, das diejenigen Hirnstrukturen, welche für die Repräsentation viszeraler, kardialer Signale besonders wesentlich sind (v.a. ACC, insulärer Kortex, Präfrontalkortex, somatosensorischer Kortex)

(Bennaroch, 1993; Critchley et al., 2000; Critchley et al., 2001, Williamson et al., 1999) und welche auch aktiviert werden, wenn sich Personen in einer Herzwahrnehmungsaufgabe auf ihren Herzschlag konzentrieren (z.B. Critchley et al., 2004; Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004b), bei guten Herzwahrnehmern während einer Herzwahrnehmungsaufgabe stärker aktiviert sind als bei schlechten Herzwahrnehmern (Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004b). Auch der für die Prozessierung von somatischen Markern und für die Integration von somatischen Markern mit Handlungsregulation und Entscheidungsprozessen relevante orbitofrontale und/oder ventromediale Präfrontalkortex ist bei guten Herzwahrnehmern während einer Herzwahrnehmungsaufgabe stärker aktiviert als bei schlechten Herzwahrnehmern (Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a; Pollatos, Auer, Schandry, Kaufmann, 2004b).
Gute Herzwahrnehmer nehmen somit ihre Herztätigkeit nicht nur bewusst besser wahr, und können diese daher exakter berichten, sondern zeigen auch in den Gehirnstrukturen, welche nach Damasio „first order maps“ sowie „second order maps“ einschließen und für die Verarbeitung und Repräsentation dieser viszeralen Signale sowie für die Handlungsregulation zuständig sind, eine höhere Aktivierung.
Dies zusammengefasst, ist hier bereits zu vermuten, dass gute Herzwahrnehmer, abgeleitet aus Damasios „somatic marker“ Hypothese, eine feiner abgestimmte, und vorsichtigere, weniger riskante Handlungsregulation in spezifischen Anforderungssituationen zeigen sollten.
Zweitens habe ich in Kapitel 4.4. beschrieben, dass gute Herzwahrnehmer in ihrem subjektiven Empfinden auf emotionale Reize intensiver reagieren, diese intensiver erleben als schlechte Herzwahrnehmer, was in Studie 1 (Kapitel 7) repliziert wurde. Zudem habe ich gezeigt (Studie 1 und 2), dass gute Herzwahrnehmer gegenüber schlechten Herzwahrnehmern emotionale Reize sowohl in einem späteren höher-geordneten als auch in einem frühen, schnellen Verarbeitungsfenster kortikal deutlich intensiver verarbeiten als schlechte Herzwahrnehmer.

Zusammenfassend kann bis zu dieser Stelle bereits angenommen werden, dass gute und schlechte Herzwahrnehmer sich somit aufgrund ihrer intensiveren Verarbeitung viszeraler Signale und ihres damit gekoppelten deutlich stärkeren kortikalen und subjektiv-emotionalen Ansprechens auf emotionale Reize, Damasios Ausführungen folgend, beträchtlich in ihrer Verhaltensregulation unterscheiden sollten.

Wie erwähnt, existieren bislang kaum Untersuchungen, welche sich konkret dieses Themas angenommen hätten.

Wenige Hinweise, welche bei der konkreteren Hypothesenbildung hilfreich sind, stammen, wie in Kapitel 4.4.2. beschrieben, aus älteren Studien von J. Pennebaker sowie aus Befunden zur Auswirkung von Kardiosensibilität auf verhaltensnahe Prozesse von Öhmann und Mitarbeitern (Öhman & Soares, 1994, 1998; Katkin, Wiens & Öhmann, 2001).
In Kapitel 4.4.2. ist nachzulesen, dass gute Herzwahrnehmer in einem Furcht-Konditionierungs-Paradigma diejenigen maskierte Schlangen- und Spinnenbilder, welche mit einem Elektroschock gepaart waren, besser vorhersagen konnten als schlechte Herzwahrnehmer (Katkin, Wiens & Öhmann, 2001). Die Verabreichung des Schocks kontingent zu bestimmten maskierten Bildern führte zu einer ausgeprägten sympathischen Reaktion (Hauleitfähigkeit) bei allen Probanden, und bei der Einschätzung oder Erwartung des nächsten Schocks, welcher mit einem bestimmten maskierten, also nicht bewusst wahrnehmbaren Bild gekoppelt war, schnitten die guten Herzwahrnehmer gegenüber den schlechten Herzwahrnehmern besser ab, konnten also die Schocks besser vorhersagen, ohne die darauf konditionierten Bilder jedoch bewusst wahrnehmen zu können. Ich habe bereits besprochen, dass Katkin et al. (2001) davon ausgehen, dass die bessere Wahrnehmung und Verarbeitung des eigenen Herzschlags und weiterer viszeraler Signale bzw. „autonomer cues“ dazu führen, dass gute Herzwahrnehmer relevante (Schock-assoziierte) von nicht-relevanten (nicht-Schock-assoziierte) Bildern bzw. Stimuli besser unterscheiden und somit das Auftreten von Schocks besser vorhersagen können.
Dieser Befund knüpft unmittelbar an, an Damasios theoretisches Modell und überträgt die genannten Mechanismen auf die bewusste Wahrnehmung, also die Herzwahrnehmungsfähigkeit bzw. Kardiosensibilität. Im Sinne von Damasio würde dies bedeuten: gute Herzwahrnehmer können sich ihre besser wahrgenommen „gut feelings“ während der Betrachtung der Bilder zunutze machen, um die Elektroschocks und deren Koppelung mit spezifischen Bildern besser zu differenzieren.

Ebenfalls in Kapitel 4.4.2. ausführlich erörtert wurden die Befunde von J. Pennebaker (1982; Pennebaker & Lightner, 1980), welche zeigten, dass das Feedback und die bewusste Wahrnehmung viszeraler Signale auf offen beobachtbares Verhalten, nämlich die physische Anstrengung in einer körperlichen Belastungssituation, einen wichtigen Einfluss ausüben.
Hier steht die bewusste Wahrnehmung viszeraler Signale im Mittelpunkt. Eine Studie, die wesentliche Erkenntnisse für die hier vorzustellende Studien liefert, ist die zitierte Studie von Pennebaker und Lighter (1980), in der gezeigt wurde, dass die Aufmerksamkeitsverlagerung auf externe und interne Signale jeweils sowohl einen Einfluss auf das subjektive Empfinden von körperlicher Erschöpfung während physischer Anstrengung sowie die Verhaltensregulation der körperlichen Belastung hat. Ich möchte an dieser Stelle nur noch

die Ergebnisse der Studie grob zusammenfassen, da ich eine ausführliche Beschreibung der Untersuchung in Kapitel 4.4.2. erörtert habe.

Zum ersten wurde in der Studie von Pennebaler & Lightner (1980) gezeigt, dass Probanden, welche mit einer vorgegebenen, konstanten Geschwindigkeit auf einem Laufband joggten, angaben, viel mehr Symptome körperlicher Erschöpfung und Anspannung zu empfinden, wenn sie ihre eigenen Atemgeräusche über Kopfhörer zurückgemeldet bekamen, als wenn sie Geräusche einer normale Straßenkulisse oder gar keine akustischen Signale zurückgemeldet bekamen. Dies wurde so interpretiert, dass die stärkere Enkodierung und Verfügbarkeit interner, körperlicher Signale zu einer ausgeprägteren Wahrnehmung von Erschöpfung und anderen körperlichen Symptomen führte.

In einem zweiten Experiment ließen die Autoren Probanden so schnell wie sie wollten auf zwei verschiedenen, gleich langen Laufstrecken joggen. Eine Strecke war in freier Natur und interessant bzw. abwechslungsreich und bot Ablenkung, die andere Strecke dagegen auf einem Sportplatz, war somit bzgl. externer Reize wenig abwechslungsreich und langweilig. Die Probanden benötigten auf der Sportplatzstrecke zeitlich signifikant länger, um die definierte Strecke zurückzulegen, als auf der abwechslungsreichen Strecke in der Natur. Auf dem langweiligen, wenig Ablenkung bietenden Sportplatz waren die Probanden also langsamer gelaufen als auf der abwechslungsreichen Strecke durch die Natur. Das Ausmaß an subjektiver Erschöpfung unterschied sich nicht.

Pennebaker & Lightner (1980) gehen davon aus, dass die Probanden also auf der langweiligen Strecke langsamer gelaufen sind, weil hier eine bessere Wahrnehmung körperlicher Prozesse (z.B. Atmung und weitere viszerale Signale) durch die geringfügigere Ablenkung durch externe Reize, vorhanden war.

Wie ich in Kapitel 4.4.2. beschrieben habe, legen diese beiden wichtigen Befunde nahe, dass die Perzeption körperlicher Signale und Prozesse zum einen zu verstärkten Gefühlen der Erschöpfung sowie weiteren Symptomen führt. Kann das eigene Lauftempo bzw. die eigene körperliche Belastung aber selbst gewählt und reguliert werden, so trägt eine Umgebung, welche die Aufmerksamkeit nicht von den eigenen internen Reizen ablenken kann und somit eine verstärkte Wahrnehmung eigener körperlicher, viszeraler interner Reize ermöglicht, dazu bei, dass Personen sich weniger stark körperlich belasten und anstrengen (so dass damit keine schwere Erschöpfung mehr zustande kommt). Das bedeutet, dass die Rückmeldung und Wahrnehmbarkeit viszeraler, körperlicher Signale zu einer deutlich stärkeren behavioralen Selbst-Kontrolle und Selbst-Regulierung körperlicher Anstrengung und Belastung führt (Pennebaker & Lightner, 1980).

Diese empirischen Befunde betrachtend, kann man davon ausgehen, dass Personen mit einer sehr guten interozeptiven Sensitivität, also gute Herzwahrnehmer, eine intensivere

behaviorale Selbst-Kontrolle und Selbst-Regulierung körperlicher und psychischer Belastung zeigen als schlechte Herzwahrnehmer. Gute Herzwahrnehmer sollten daher einen besser ausgeprägten bzw. feiner abgestimmten verhaltensregulatorischen Mechanismus im Hinblick auf psychische Belastung und physische Belastungsregulation besitzen als schlechte Herzwahrnehmer.

Zum einen ist somit die *physische* Belastungsregulation, anknüpfend an die Ergebnisse von Pennebaker & Lightner (1980), angesprochen, und zum anderen die *psychisch*e Belastungs- oder Anforderungsregulation, welche sich im Umgang mit emotionalen Reizen etwa ergibt. Ersteres betreffend bietet sich eine Untersuchung der physischen Belastungssteuerung (Studie 5) an und den zweiten Aspekt betreffend soll auf die in der Emotionsforschung gern verwendete Methode der Messung der „freiwilligen Bildbetrachtungszeit“ („Viewing Time“) emotionaler Bilder zurückgegriffen werden (Studie 4a) (siehe Kapitel 5.2.2.).

Da neben den hier nochmals zusammengefassten Befunden, noch keine Studien existieren, welche Unterschiede in der Verhaltensregulation in Abhängigkeit von Kardiosensibilität untersucht haben, war das Ziel der vorliegenden beiden Experimente die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und offen beobachtbarem Verhalten.

Hierzu wurde:

- Erstens – anknüpfend an Ergebnisse aus der Emotionsforschung (siehe Kapitel 5.2.1) ein **affektives „Viewing-Time Paradigma“ (Studie 4a)**
- Zweitens – anknüpfend an die Befunde von Pennebaker & Lightner (1980) ein **„Fahrrad-Ergometer-Versuch“ (Studie 5)**

durchgeführt.

Ein weiterer Punkt war von Interesse: Bisherige Studien (Studie 1) haben gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern emotionale Bildstimuli kortikal im P300 und positiven Slow-Wave Latenzbereich intensiver verarbeiten. Zudem zeigte sich, dass gute Herzwahrnehmer auch sehr früh bei einer schnellen Bildpräsentation emotionale Bilder deutlich intensiver in visuellen Kortizes prozessieren als schlechte Herzwahrnehmer (Studie 2). Insbesondere letzteres lässt vermuten, dass gute Herzwahrnehmer signifikante Stimuli wie emotionale visuelle Reize möglicherweise besser verarbeiten und somit schneller als emotional erregende Reize erkennen und diese adäquater behavioral beantworten bzw. einschätzen können.

Nach Damasio (1999, 2000) stellt das Vorhandensein von somatischen Markern eine wesentliche Quelle für adäquates Handeln und Entscheiden dar. Auch hier könnte somit davon ausgegangen werden, dass gute Herzwahrnehmer aufgrund ihrer besseren und intensiveren Verfügbarkeit und Verarbeitung von somatischen Markern bzw. viszeraler Signale, nicht nur wie dies die Studien 1 und 2 nahe legen, eine intensivere späte und frühe sensorische Verarbeitung emotionaler Reize besitzen, sondern auch eine schnellere Umsetzung dieser so verarbeiteten wichtigen Information in die subjektiv, bewusst formulierbare und handlungsmäßig umsetzbare Verhaltensregulation haben.
Dies sollte in einer weiteren Neben-Untersuchung (Studie 4b) analysiert werden, welche untersuchte, ob gute Herzwahrnehmer emotionale Stimuli schneller als emotional bedeutsame Reize bewerten als schlechte Herzwahrnehmer. Hierzu wurden in einem Nebenversuch die *Bildbeurteilungszeiten* analysiert, d.h. die Zeit, die benötigt wird, um das emotionale Arousal eines Bildes zu beurteilen.

Die Hypothese war, dass gute Herzwahrnehmer aufgrund ihrer sehr schnellen, intensiveren sensorischen (visuellen) Verarbeitung emotionaler Bilder (Studie 2) sowie ihres subjektiv intensiveren emotionalen Empfindens emotionaler Bilder (Studie1), eine schnellere Bewertungsleistung bei der Beurteilung (Rating) von emotionalen Bildern als erregend und wenig erregend aufweisen als schlechte Herzwahrnehmer. Hierzu diente die Analyse der Bildbeurteilungszeit im SAM-Rating (genaue Beschreibung siehe Kapitel 10.3).
Es wurde davon ausgegangen, dass gute Herzwahrnehmer, aufgrund ihrer besseren und intensiveren Verarbeitung und Verfügbarkeit viszeraler Information eine bessere und schnellere Umsetzung wahrgenommener emotionaler Information in die handlungsgesteuerte Bewertung dieser Reize als emotional relevant oder irrelevant besitzen.
Die Bildbeurteilungszeiten wurden in der Stichprobe aus Studie 1 als Nebenexperiment mit erhoben. Vorgehen und Ergebnisse dieses Experiments (**Studie 4b: Analyse „affektiver Bildbeurteilungszeiten“**) werden in Kapitel 10.3 geschildert.

10. 2. Studie 4 a): Kardiosensibilität und behaviorale Regulation psychischer Belastung im „Viewing Time Experiment“

10.2.1. Einleitung und Hypothesen

Wie in Kapitel 5.2.2. erörtert, wurde das „Viewing-Time Paradigma“ ursprünglich im Kontext des dort beschriebenen Emotionsmodells von Lang und Mitarbeitern (z.B. Lang, 1995; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990) verwendet. Lang und Ko-Autoren haben ein Emotionsmodell erarbeitet, in welchem Emotionen biphasisch entlang einer Dimension, welche von aversiv (defensives, vermeidendes und Fluchtverhalten) bis appetitiv (Annäherungsverhalten, „Attachment“) angeordnet sind. Ähnlich gehen auch Cacioppo, Berntson und Mitarbeiter (Cacioppo et al., 1992; Berntson et al.,1993) davon aus, dass Emotionen Bewertungsprozesse involvieren, welche einem spezifischen Stimulus oder Kontext eine positive oder aversive Valenz zuschreiben, und so den Organismus entweder zu einer Hinwendung zu oder einer Abwendung vom Reiz disponieren.
Das im Sinne von Lang und Kollegen benutzte „Viewing Time“ Paradigma beinhaltet, dass emotional erregende Bilder unterschiedlicher Valenz (positiv, negativ) und neutrale Bilder den Probanden auf einem Bildschirm gezeigt werden, und jeder Proband per Knopfdruck entscheiden kann, wie lange er jedes einzelne Bild sehen möchte.
Studien hierzu haben gezeigt, dass die freiwillige „Viewing Time“ bei normalen, gesunden Probanden für emotional erregende Bilder des „International Affective Picture Systems“ (IAPS) signifikant länger ist als für neutrale Bilder (z.B. Lang et al., 1993; Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Moratti, Keil & Stolarova, 2004). Es existiert zudem eine positive Beziehung zwischen der „Viewing Time“ und dem eingeschätzten Arousal der Bilder (z.B. Lang et al., 1993; Bradley, Cuthbert & Lang, 1990). Das heißt, dass Bilder umso länger betrachtet werden, je emotional erregender sie eingestuft sind. Außerdem korrelierte die „Viewing Time“ der Bilder in einigen Studien mit dem beurteilten Interesse an den Bildern (Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Lang et al., 1993).
Diese Befunde wurden so interpretiert, dass emotional erregende Bilder interessanter sind als neutrale und die Probanden für diese Bilder mehr Aufmerksamkeitsressourcen verwenden und sie daher länger freiwillig betrachten (Bradley et al., 1990; Lang et al., 1993; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990; Moratti et al., 2004). Die „Viewing Time“ wird diesem Modell nach somit als behavioraler Indikator von Interesse an den Bildern und von Aufmerksamkeitsallokation für die Bilder gewertet.

Jedoch gibt es zudem Befunde, welche zeigen, dass wenn die emotionalen Bildreize als besonders emotional erregend empfunden werden, sich die freiwillige „Viewing Time“

reduziert, was im Rahmen von Langs Modell als „Defensiv- oder Abwehrverhalten“ interpretiert wird (Hamm et al., 1991;Tolin et al., 1999; Lang et al., 1993). Dies wurde besonders bei Angstpatienten und Patienten mit spezifischen Phobien untersucht, welche die gezeigten IAPS-Bilder als subjektiv besonders erregend erlebten (SAM-Skala). Ergebnisse zeigten bei diesen Patientenstichproben eine reduzierte „Viewing Time“ für angst-relevante Bilder (Hamm et al., 1991; Daly, 1978; Tolin et al., 1999), was als Ausdruck einer stärkeren Defensiv-Reaktion auf diese emotional erregenden Bilder gewertet wird.

Zahlreiche Studien haben zudem gezeigt, dass auf emotionale Bilder, insbesondere auf aversive Bilder hin, eine ausgeprägte Herzratendezeleration eintritt (e.g. Lang, Bradley & Cuthbert, 1998; Angrilli et al., 1994; Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Palomba et al., 1997). Dies wird als stärkere Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeitsausrichtung auf emotionale Bilder interpretiert (z.B. Bradley et al., 2001a; Palomba et al., 2000; Palomba et al., 1997; Palomba & Stegagno, 1993). Die Herzrate reagiert dabei valenzspezifisch (z.B. Lang et al., 1993; Bradley et al., 2001a; Fitzgibbons & Simons, 1992), und zwar so dass ein stärkerer Abfall der Herzrate auf aversive Bilder und ein wenig starker Abfall – teilweise sogar ein Anstieg – der Herzrate auf positive Bilder gefunden wird. Zumeist wird, was die gemittelte Herzrate angeht, auf emotional erregende Bilder insgesamt eher eine Herzratendezeleration eruiert (z.B. Angrilli et al., 1994; Palomba et al., 1997).
Nach einhelligen Befunden wird eine anhaltende Herzratendezeleration ganz konkret in Verbindung gebracht mit anhaltender Aufmerksamkeit (Richards & Casey, 1992) und verstärkter sensorischer Informationsaufnahme (Lacey & Lacey, 1970). Bisherige Untersuchungen haben somit gezeigt, dass eine kardiale Dezeleration vornehmlich dann auftritt, wenn Probanden ihre Aufmerksamkeit auf erregende emotionale Reize richten, wobei diese Dezeleration als Ausdruck einer parasympathischen Dominanz im autonomen Nervensystem gewertet wird (Palomba et al., 2000).

Bei Probanden, wie den oben berichteten Angstpatienten, welche ein sehr intensives emotionales Erleben bei der Betrachtung von emotionalen Reizen zeigen, konnte nachgewiesen werden, dass diese auf angstrelevante, erregende Bilder nicht mit einer deutlichen Herzratendezeleration, also einer verstärkten Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeitszuwendung auf diese Bilder, sondern mit einer im Vergleich zu gesunden Probanden, deutlichen Herzratenakzeleration, welche als Defensivreaktion zu interpretieren ist, reagierten (Hamm et al., 1991; Tolin et al., 1999).
Kognitive Theorien (z.B. Foa & Kozak, 1986; Tolin et al., 1999) gehen davon aus, dass sehr starke Erregung, wie sie bei Angstpatienten vorhanden ist, mit einer elaborierteren Verarbeitung von emotional oder angst-relevanter interferiert und dass visuelle Vermeidung

dieser Reize als eine Form dieser Beeinträchtigung elaborierter Stimulusverarbeitung anzusehen ist.
Andererseits gibt es aus tierexperimentellen Studien Hinweise darauf, dass eine Bradykardie, also eine starke Herzratendezeleration vor allem während einer Vorphase der Vermeidungsreaktion auf gefährliche oder potentiell schädigende Stimuli auftritt (Campbell et al., 1997). Dies wird als eine erhöhte Aufmerksamkeit auf diese Stimuli interpretiert, welche die Chance und die Möglichkeiten des Organismus erhöht, um diese Stimuli dann zu vermeiden (z.B. Campbell et al., 1997).

Aufbauend auf theoretische Ableitungen von James (1894) und Damasio (1999, 2000) sowie den oben zusammengefassten Befunden ergaben sich für die vorliegende Untersuchung somit **folgende Zusammenhänge und Fragestellungen:**

1. Es wurde gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer eine intensivere zerebrale Verarbeitung emotionaler Reize zeigen, sowie emotionale Reize als subjektiv erregender erleben als schlechte Herzwahrnehmer. Nach den geschilderten Befunden bei Personengruppen, welche spezifische emotionale Stimuli als subjektiv besonders stark erregend erleben (z.B. Angstpatienten) und die entsprechenden erregenden Bildstimuli freiwillig weniger lang betrachten, sollte davon ausgegangen werden, dass gute Herzwahrnehmer, aufgrund ihres intensiveren Emotionserlebens, emotional erregende Bilder ebenfalls weniger lang freiwillig betrachten als schlechte Herzwahrnehmer.
   Zusätzlich sollte man aufgrund der oben geschilderten Ergebnisse bzgl. der Bedeutung der Wahrnehmbarkeit interner, viszeraler Signale und der dadurch gegebenen besser verfügbaren verhaltensregulierenden Steuerung der eigenen Belastung davon ausgehen, dass gute Herzwahrnehmer emotional erregende Bilder eventuell deshalb weniger lange betrachten wollen, um sich aufgrund ihres nachgewiesenen intensiveren emotionalen Erlebens und ihrer höheren Erregung, welche sich in der zentralnervösen Verarbeitungsintensität von emotionalen visuellen Stimuli (Studie 1 und 2) niederschlägt vor einer psychischen Überanspruchung oder Übererregung zu schützen.
   Letzteres könnte im Sinne von Lang et al. (1993; Hamm et al. 1991; Tolin et al., 1998) als eine Art Defensiv- oder Abwehrverhalten interpretiert werden.

   Zudem verweisen die Ergebnisse von Studie 2, in der ich gezeigt habe, dass gute Herzwahrnehmer visuelle emotionale Stimuli bereits in einem sehr frühen visuellen Verarbeitungsprozess intensiver verarbeiten als schlechte Herzwahrnehmer, auch

darauf hin, dass gute Herzwahrnehmer eine bessere, schnelle Auffassung von salienten Reizen haben, wodurch auch ein, an das eigene Befinden (intensiveres Emotionserleben) angepassteres und schnelleres Handeln in emotionalen Anforderungssituationen gegeben sein könnte.

Dafür spricht auch die Tatsache, dass gute Herzwahrnehmer eine intensivere Aktivierung auch des anterioren cingulären Kortex zeigen, wenn sie die Aufmerksamkeit auf ihren eigenen Herzschlag richten. Wie in Kapitel 5.1.2. ausführlich erörtert, korreliert die Aktivierung des ACC zudem positiv mit dem Ausmaß des subjektiven Erlebens von Emotionen (Pollatos, Schandry, Auer & Kaufmann, 2005).

Der ACC ist auch (Kapitel 5.1.2.) besonders relevant bei der Analyse von konfliktrelevanten Aufgabenaspekten und für die Auswahl geeigneter Handlungen und Reaktionen (z.B. Posner & Petersen, 1990; Lane et al., 1998) sowie dem emotionalen Erleben sozialer und affektiver Information (Lane et al., 1998).

Besonders Lane und Mitarbeiter (z.B. Lane et al., 1995, 1998) haben die Bedeutung des ACC für die „emotional awareness“, Interozeption und die Selbst-Regulation subjektiver Gefühle betont, wobei sie davon ausgehen, dass Personen mit einer ausgeprägten „emotional awareness“ besonders gut in der Detektion und Diskriminierung interner und externer emotionaler Reize und Signale sind (siehe Kapitel 5.1.2.)

Deshalb wäre davon auszugehen, dass gute Herzwahrnehmer, aufgrund ihrer besseren Auffassung und intensiveren Verarbeitung emotionaler Stimuli weniger Zeit investieren müssen, um wichtige Reize zu erkennen und zu verarbeiten und schneller auf diese Stimuli reagieren können.

Zusammenfassend gehe ich davon aus, dass gute Herzwahrnehmer eine kürzere freiwillige „Viewing Time“ emotional erregender Bilder zeigen als schlechte Herzwahrnehmer, weil sie durch die bessere Verfügbarkeit „somatischer Marker“ bzw. viszeraler Signale eine feinere, und an ihre Bedürfnisse besser angepasste Verhaltensregulation psychischer Belastung bzw. Erregung besitzen. Zudem könnte auch der Faktor einer schnelleren und besseren Detektion und Diskriminierung salienter Reize bei guten Herzwahrnehmern gegenüber schlechten Herzwahrnehmern eine Rolle spielen.

2. Die zweite Fragestellung soll dem physiologischen Arousal Rechnung tragen. Das Betrachten von Bildern, besonders wenn es sich um signifikante Information, wie etwa emotionale Bilder handelt, führt zu einer ausgeprägten Herzratendezeleration,

wobei insbesondere aversive Bilder eine starke Herzratendezeleration auslösen. Dies steht in Verbindung mit einer Orientierungs- und Aufmerksamkeitsreaktion. Um die chronotrope kardiale Reaktion auf emotionale Bildreize und damit das Ausmaß der Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeitsbindung an diese Stimuli in den Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer zu überprüfen soll die Herzratenreaktion untersucht werden.

Dies ist besonders deshalb von Interesse, da dadurch überprüft werden kann, ob gute Herzwahrnehmer ein ähnlich wie Angstpatienten intensiveres physiologisches Arousal und eine damit gekoppelte Defensivreaktion (kürzere Viewing-Time) aufweisen, oder ob die möglicherweise kürzere „Viewing-Time“ der guten Herzwahrnehmer eher ein Ausdruck ihrer besseren Wahrnehmung, Verarbeitung der und Aufmerksamkeitszuwendung auf die Bilder und ihrer besser auf ihre körperlichen, viszeralen Bedürfnisse eingestellten, verhaltensregulierenden Steuerung ist, die sie praktisch vor einer psychisch, emotionalen Überlastung bewahrt, so dass gar kein Überschießen der physiologischen Reaktion aufgrund erhöhten Arousals zustande kommt. Hierfür sprechen auch die Untersuchungen und Ausführungen von Campbell et al. (1997), die gezeigt haben, dass in einer Vorphase einer Vermeidungsreaktion eine intensive Herzratendezeleration eintritt, also eine erhöhte Aufmerksamkeitszuwendung auf relevante Reize, so dass sodann die adäquate Reaktion, nämlich Vermeidung gewählt werden kann. Im ersten Falle eines erhöhten autonomen Arousals wäre eine starke Herzratenakzeleration bei guten Herzwahrnehmern zu erwarten, während im zweiten Fall eine stärkere Herzratendezeleration als Indikator einer ausgeprägteren Orientierungsreaktion, und stärkeren Aufmerksamkeit bei guten Herzwahrnehmern eintreten sollte.

Da die autonom-nervöse, emotionale Reaktivität guter und schlechter Herzwahrnehmer betreffend sehr heterogene Befunde vorliegen (z.B. Hantas, Katkin & Blascovich, 1982; Katkin et al., 1982; Katkin, 1985; Eichler et al., 1987; Davis & Langer, 1986) wurde die Hypothese die Herzratenreaktion betreffend unspezifisch formuliert.

Hypothesen:

Hierauf aufbauend lassen sich folgende Hypothesen für diese Untersuchung formulieren:

1. **gerichtete Hypothese: Gute Herzwahrnehmer zeigen eine kürzere „Viewing Time“ für emotionale Bilder als schlechte Herzwahrnehmer.**

2. **ungerichtete Hypothese: Gute Herzwahrnehmer und schlechte Herzwahrnehmer unterscheiden sich in ihrer Herzratenreaktivität auf emotionale Bilder.**

10.2.2. Methode und Experimenteller Ablauf

Versuchpersonen

Es wurden 36 (20 männlich, 16 weiblich) rechtshändige Probanden im Alter von 20 bis 44 Jahren (M = 26.4; SD = 5.8) untersucht. Die Probanden waren Studenten der LMU München, und erhielten für ihre Teilnahme an dem Experiment eine Bestätigung für Versuchspersonenstunden. Alle Teilnehmer wiesen keine kardialen Erkrankungen auf und waren zum Untersuchungszeitpunkt körperlich und psychisch ohne Befund.

Experimenteller Ablauf

Nach Ankunft im Labor wurden die Teilnehmer über den Ablauf des Experiments informiert und gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme. Alle Probanden wurden dann in die Untersuchungskabine geleitet. Dort wurden ihnen nicht-polarisierbare Ag/AgCl Elektroden zur Aufzeichnung des EKG angelegt. Dann durften sie in einem bequemen Sessel vor dem Computer-Bildschirm Platz nehmen.
Die Probanden wurden gebeten, sich in einem bequemen Sessel vor Beginn der Untersuchung 5 Minuten lang zu entspannen und während der Untersuchungen ruhig und still zu sitzen. Dann wurde der Herzwahrnehmungstest nach Schandry (1981) durchgeführt.
Danach wurden die Probanden darum gebeten, sich 5 Minuten lang zu entspannen und bequem zu sitzen sowie während der anstehenden Bildpräsentationen ruhig zu sitzen, um keine Bewegungsartefakte zu provozieren.
Dann wurde das „Viewing-Time“-Experiment durchgeführt. Die Teilnehmer wurden darüber aufgeklärt, dass sie gleich eine Reihe von Bildern auf dem vor ihnen befindlichen Bildschirm sehen würden und dass jeder von ihnen die Dauer der Bildpräsentation selbst bestimmen könnte. Jedem Probanden wurde erklärt, dass er/sie anhand eines Knopfdrucks die Bildbetrachtungszeit determinieren konnte. Nach Knopfdruck wurde mit einer konstanten Verzögerung von 2 Sekunden das jeweils nächste Bild präsentiert. Während des Viewing-Time Experiments wurde durchgängig das EKG aufgezeichnet.

Nach Beendigung des „Viewing-Time Paradigmas“ füllten die Probanden das State-Trait-Anxiety-Inventory („STAI“) von Laux et al. (1981) aus, um Angaben über das Niveau an situativer und überdauernder Ängstlichkeit zu erhalten. Dies erschien plausibel, da gezeigt

wurde, dass „Angst“ die freiwillige „Bildbetrachtungszeit“ in einem „Viewing-Time Paradigma“ beeinflusst (Daly, 1978; Hamm et al., 1991; Lang et al., 1993; Tolin et al., 1999). Zudem war es somit möglich, eventuelle Unterschiede in der situativen und „trait“- Angst zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern zu überprüfen. Letzteres war auch deshalb von Interesse, da einige Befunde nahe legen, dass ein gutes viszerales Feedback mit einer ausgeprägteren State-Angst verbunden ist (Schandry, 1981; Ludwick-Rosenthal & Neufeld, 1985; siehe Kapitel 4.4.1.). In die statistische Analyse des „STAI“ gingen die entsprechenden Rohmittelwerte der Probanden ein.

Herzwahrnehmungstest

Das Verfahren des Herzwahrnehmungstests ist dem in Studie 1 beschriebenen Ablauf zu entnehmen. Während des Herzwahrnehmungstests wurde das EKG aufgezeichnet.
Die Probanden wurden zur weiteren Analyse der Daten anhand ihres Herzwahrnehmungsscores in eine Gruppe guter Herzwahrnehmer und eine Gruppe schlechter Herzwahrnehmer aufgeteilt. In Anlehnung an Montoya et al. (1993) sowie Weitkunat & Schandry (1995) wurden Probanden mit einem Herzwahrnehmungsscore größer 0.85 der Gruppe der guten (N = 14) und Probanden mit einem Score kleiner 0.85 der Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer (N = 22) zugewiesen.

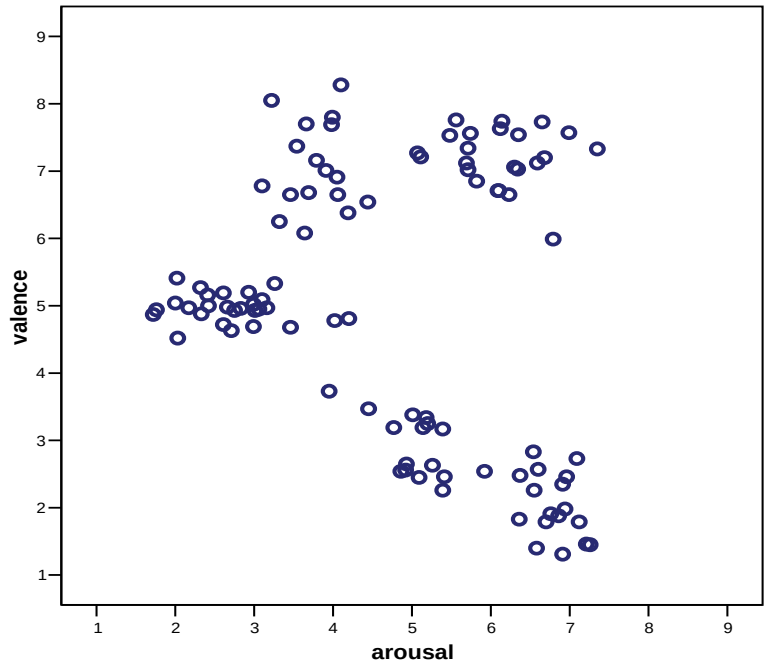
Stimulusmaterial und Design

Es wurden 120 Farbbilder aus dem „International Affective Picture System“ (IAPS) (Center for the Study of Emotion and Attention, 1999), davon 40 positive, 40 neutrale und 40 negative Bilder ausgewählt. Die Bilder wurden gemäß der normativen Ratings des IAPS (Lang, Bradley & Cuthbert, 1999) ausgewählt und variierten sowohl was Valenz (angenehm-unangenehm) und Arousal (ruhig-erregend) anging.
Die Emotionskategorien wurden dabei so ausgewählt, dass die drei Stimulusgruppen jeweils repräsentativ für die Affekttypen waren. Somit waren positive und aversive Bilder jeweils gleich im Arousal.
Die mittleren normativen Valenzratings des SAM für positive Bilder waren 7.15 (± 0.53), für neutrale Bilder 4.93 (± 0.20) und für aversive Bilder 2.92 (± 0.92). Die mittleren normativen Arousalratings betrugen für die positiven Bilder 6.23 (± 0.50), für die neutralen Bilder 2.63 (± 0.58) und für die aversiven Bilder 6.50 (± 0.90). Die aversiven und positiven Bilder unterschieden sich nicht signifikant in ihrem Erregungsniveau ($p > 0.05$).
Die unangenehmen Bilder zeigten vornehmlich Szenen, welche körperliche Entstellungen, Szenen und Bilder, die einen gewaltvollen Tod sowie hungernde Menschen darstellten. Die positiven Bilder stellten vor allem niedliche Tiere, erotische und sexuelle Szenen sowie

ästhetisch dargestelltes Essen und kleine Babies dar. Die neutralen Bilder zeigten vor allem neutrale Haushaltsgegenstände, sonstige Gebrauchsgegenstände sowie Bilder von neutralen Gesichtern und Häusern.

Die Verteilung der verwendeten Bilder im „affektiven Raum“ (siehe Center for the Study of Emotion and Attention, 1999) auf den Achsen „Valenz“ und „Arousal“ aus den IAPS-Normen zeigt Abbildung 10.1.

Abbildung 10.1. Verteilung der normativen, affektiven Ratings (Valenz, Arousal) der verwendeten IAPS-Bilder



Wie man erkennen kann, entspricht die Auswahl der Bilder der für die IAPS-Ratings typischen Bumerang-Form (siehe Kapitel 5.2.1.)

Erhebung der Viewing-Time

Zur Präsentation des Bildmaterials wurde ERTS („Experimental Run Time System“) von BeriSoft Cooperation (Frankfurt, Main) verwendet. Über diese Software ist es möglich, ein Programm zu programmieren, das Art, Abfolge und Dauer der Präsentation visuellen und akustischen Stimulusmaterials steuert. Des Weiteren ist damit die Registrierung von Reaktionszeiten möglich, welche für jeden Probanden in eine Datei gespeichert werden und dann zur weiteren Verarbeitung ausgelesen und bearbeitet werden können.

Es wurde ein Programm erarbeitet, das ermöglichte, dass die Präsentation der Bilder anhand der Betätigung eines Tasters gesteuert wurde. Die Probanden konnten somit die Dauer der Darbietung jedes einzelnen Bildes anhand eines Knopfdrucks bestimmen. Nach jedem

Tastendruck wurde mit einer konstanten zeitlichen Verzögerung von 3 Sekunden dann das jeweils nächste Bild präsentiert. Die Viewing-Time (ms) der Bilder wurde somit vom Bild-Onset bis zum, von den Probanden frei gewählten Bild-Offset gemessen.

Erhebung der Herzrate

Das EKG wurde zum einen zur Analyse des Herzwahrnehmungstests benutzt und zum anderen zur Analyse des physiologischen Arousals, der Herzratenreaktivität, während des Viewing-Time Experiments. Das EKG wurde nach Einthoven II abgeleitet (1 kHz Sampling-Rate) und anhand des psychophysiologischen Aufzeichnungssystems MP150, Version 3.7.2., und der mitgelieferten Software (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara, CA) aufgezeichnet.
Für die Analyse des physiologischen Arousals wurden die EKG-Rohkurven einer visuellen Inspektion und Artefaktkorrektur (z.B. Bewegung, Ektopen) unterworfen.

10.2.3. Datenreduktion und Analyse

Geschlecht, Alter, State- und Trait-Angst

Generell wurde die Stichprobe auf eine mögliche unterschiedliche Geschlechterverteilung und unterschiedliches Alter hin geprüft. Für ersteres wurde ein Chi^2-Test, für das letztere ein zweiseitiger t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Zudem wurden mögliche Gruppenunterschiede in State- und Trait-Angst des STAI anhand von ein-faktoriellen ANOVAs mit dem Zwischensubjekt-Faktor „Gruppe“ (gute Herzwahrnehmer vs. schlechte Herzwahrnehmer) geprüft.

Analyse der „Viewing-Time“

Um Gruppenunterschiede in der „Viewing-Time“ zu untersuchen, wurde zum einen eine 2-faktorielle Wiederholungsmessungs-ANOVA mit den Faktoren „Emotionsinhalt“ (positive, neutrale, negative Bilder) x „Gruppe“ (gute Herzwahrnehmer, schlechte Herzwahrnehmer) durchgeführt. Um die mögliche Einflussnahme der Geschlechtszugehörigkeit zu prüfen und zu kontrollieren wurde zudem eine 3-faktorielle Wiederholungsmessungs-ANOVA mit den Faktoren „Emotionsinhalt“ (positive, neutrale, negative Bilder) x „Gruppe“ (gute Herzwahrnehmer, schlechte Herzwahrnehmer) x „Geschlecht“ (männlich, weiblich) berechnet. Die Kontrolle möglicher Einflüsse des Geschlechts wurde als sinnvoll erachtet, da Geschlechterunterschiede bei der emotionalen Verarbeitung von Bildern sowie für deren neuro-anatomischen Korrelate eruiert wurden (z.B. Campanella et al., 2004; Lee et al., 2002;

Wrase et al., 2003), die wiederum mit behavioralen Geschlechterunterschieden assoziiert sein können (Campanella et al., 2004; Gut et al., 2002; Wrase et al., 2003).
Bei Verletzungen der Sphärizitätsannahme werden unangepasste Freiheitsgrade zusammen mit Greenhouse-Geisser korrgierten p-Werten berichtet.
Zur Evaluation signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte wurden post-hoc Tests nach Scheffé durchgeführt.

Um den Zusammenhang zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und „Viewing-Time“ zu eruieren wurden nonparametrische Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den mittleren „Viewing-Times“ für positive, neutrale und negative Bilder berechnet.

Analyse der Herzrate

Um physiologische Arousal-Unterschiede in der mittleren Herzrate zu untersuchen wurde eine 2-faktorielle Wiederholungsmessungs-ANOVA mit den Faktoren „Emotionsinhalt“ (positive, neutrale, negative Bilder) x „Gruppe“ (gute, schlechte Herzwahrnehmer) durchgeführt. Dies wurde für die mittleren Veränderungswerte der Herzrate der Probanden berechnet. Hierfür wurde die mittlere Herzrate einer Baseline, welche als 2-sekündiges Intervall vor Beginn des jeweils nächsten Bildes gesampelt wurde, von der mittleren Herzrate für die positiven, neutralen und negativen Bildstimuli jeweils subtrahiert.
Auch hier werden bei Verletzungen der Sphärizitätsannahme unangepasste Freiheitsgrade mit Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet.
Zur Evaluation signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte wurden post-hoc Tests nach Scheffé durchgeführt.
Der Zusammenhang zwischen Herzratenreaktion und Herzwahrnehmungsfähigkeit wurde anhand non-parametrischer Spearman-Brown Korrelationen (r_s) getestet.

10.2.4. Ergebnisse

Geschlecht, Alter und State-und Trait-Angst

Die Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer unterschieden sich weder signifikant in ihrer Geschlechterverteilung (Chi^2 = 0.71, df = 1, p > 0.05) (Häufigkeitsverteilung siehe Tabelle 10.1.), noch im Alter (gute Herzwahrnehmer: M = 25.8, SD = 6.1; schlechte Herzwahrnehmer: M = 27.0, SD = 5.7; t = -0.61, df = 34, p > 0.05).
Die beiden Gruppen unterschieden sich außerdem nicht signifikant in der State-Angst (gute Herzwahrnehmer: M = 38.93, SD = 4.81; schlechte Herzwahrnehmer: M = 39.77, SD =

10.19; F (1, 35) = 0.08, p > 0.05) noch in der Trait-Angst (gute Herzwahrnehmer: M = 38.14, SD = 9.36; schlechte Herzwahrnehmer: M = 38.50, SD = 8.69; F (1, 35) = 0.01, p > 0.05).

Tabelle 10.1. Häufigkeitstabelle der Geschlechterverteilung für gute und schlechte Herzwahrnehmer

	Männer	Frauen	Total
Gute Herzwahrnehmer	9	5	14
Schlechte Herzwahrnehmer	11	11	22
Total	20	16	36

Es zeigten sich somit keine signifikanten Unterschiede in der Geschlechterzusammensetzung und im Alter sowie in der State- und Trait-Angst zwischen den beiden Gruppen.

Viewing-Time

a) Varianzanalytische Ergebnisse

Die Ergebnisse der ANOVAs zeigten zum ersten einen *signifikanten Haupteffekt „Gruppe“* (F (1, 34) = 4.83, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.13) sowie *einen signifikanten Haupteffekt „Emotionsinhalt“* (F (2, 68) = 6.59, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.16).

Post-hoc Tests (Scheffé) zeigten, dass neutrale Bilder (M = 3738.68 ms, SD = 877, 24 ms) in der ganzen Stichprobe generell signifikant (p < 0.01) kürzer betrachtet wurden als sowohl die positiven (M = 4945.09 ms, SD = 685.40 ms) als auch die negativen Bilder (M = 4910.03 ms, SD = 787.81 ms). Die „Viewing Time“ für die positiven und die negativen Bilder unterschied sich nicht signifikant (p > 0.05).

Die Ergebnisse zeigten, dass gute Herzwahrnehmer sowohl die positiven und negativen als auch die neutralen Bilder signifikant (p < 0.05) weniger lang freiwillig betrachteten als die schlechten Herzwahrnehmer (siehe Tabelle 10.2. und Abbildung 10.2.).

Es ergab sich knapp *kein signifikanter Interaktionseffekt „Emotionsinhalt x Gruppe“* (F (2, 68) = 0.31, p > 0.05).

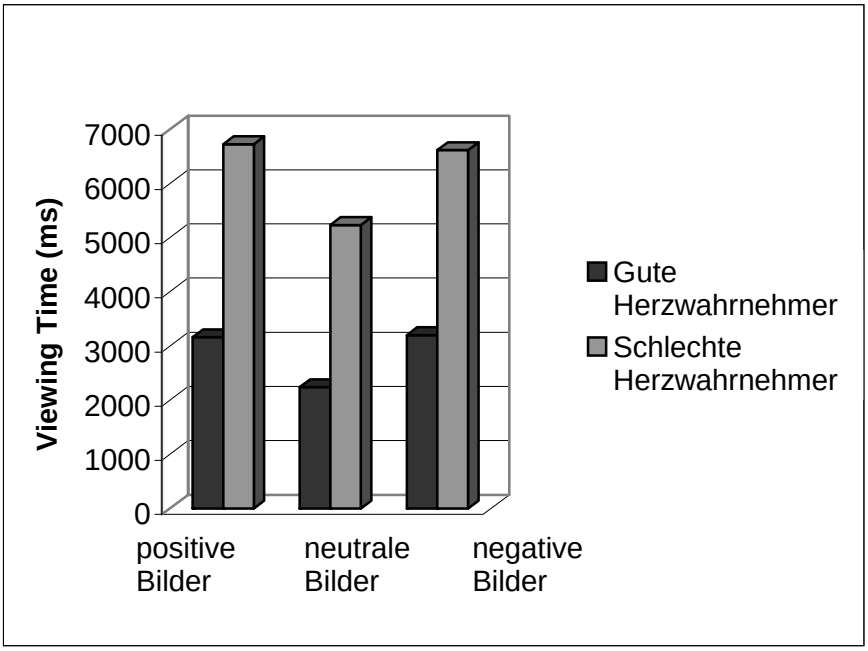
Das *Geschlecht hatte keinerlei Einfluss auf die Ergebnisse*: Es zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt „Geschlecht“ ($F (1, 32) = 0.65$, $p > 0.05$) sowie keinerlei signifikante Interaktion „Emotionsinhalt x Geschlecht“ ($F (1,32) = 2.79$, $p > 0.05$) noch „Emotionsinhalt x Gruppe x Geschlecht“ ($F (1,32) = 0.002$, $p > 0.05$).

Tabelle 10.2. „Viewing Time“ für die positiven, neutralen und negativen Bilder in den Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer

Gruppe	“Viewing Time” in ms		
	Positive Bilder	**Neutrale Bilder**	**Negative Bilder**
Gute Herzwahrnehmer	3162.88 (1071.61)	2241.86 (1371.54)	3200.36 (1231.71)
Schlechte Herzwahrnehmer	6727.30 (854.85)	5235.50 (1094.11)	6619.71 (982.57)

Beachte: Standardabweichung in Klammern

Abbildung 10.2. „Viewing Time“ für die positiven, neutralen und negativen Bilder für gute und schlechte Herzwahrnehmer



b) Korrelationsstatistik

Spearman-Rho Korrelationen zeigten signifikant negative Korrelationskoeffizienten zwischen dem Herzwahrnehmungsscore und den „Viewing Times“ für positive Bilder ($r = -0.46$, $p < 0.01$), für negative Bilder ($r = -0.43$, $p < 0.01$) als auch für neutrale Bilder ($r = -0.35$, $p < 0.05$).

Herzrate

a) Varianzanalytische Ergebnisse

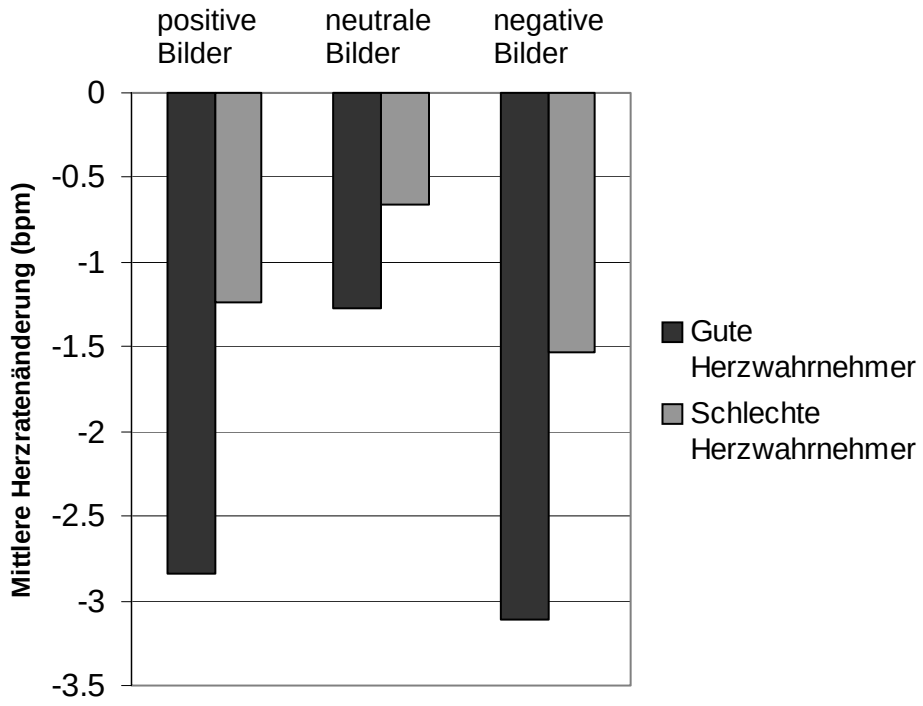
ANOVA-Ergebnisse zeigten einen *signifikanten Haupteffekt „Gruppe“* ($F (1, 34) = 6.32$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.16$). Gute Herzwahrnehmer ($M = -2.41$ bpm, $SD = 0.39$ bpm) zeigten eine signifikant ausgeprägtere Herzratendezeleration für alle Bildkategorien als schlechte Herzwahrnehmer ($M = -1.15$ bpm, $SD = 0.31$ bpm). Dieses Ergebnis wird in Tabelle 10.3. sowie Abbildung 10.3. veranschaulicht.

Tabelle 10.3. Mittlere Herzratenveränderungen (bpm) der guten und schlechten Herzwahrnehmer bei Betrachtung positiver, neutraler und negativer Bilder

Gruppe	Mittlere Herzrate (bpm)		
	Positive Bilder	**Neutrale Bilder**	**Negative Bilder**
Gute Herzwahrnehmer	-2.84 (2.98)	-1.27 (0.76)	-3.11 (3.14)
Schlechte Herzwahrnehmer	-1.24 (3.13)	-0.66 (0.49)	-1.53 (1.91)

Beachte: bpm = beats per minute

Abbildung 10.3. Mittlere Herzratenveränderungen (bpm) der guten und schlechten Herzwahrnehmer bei Betrachten positiver, neutraler und negativer Bilder



Beachte: bpm = beats per minute

Es existierte *kein signifikanter Interaktionseffekt „Gruppe x Emotionsinhalt“* ($F (2, 68) = 0.57$, $p > 0.05$).

Zuletzt zeigte sich *ein signifikanter Haupteffekt „Emotionsinhalt“* ($F(2, 68) = 3.76$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.10$). Post-hoc Tests zeigten, dass die positiven Bilder ($M = -2.04$ bpm, $SD = 0.53$ bpm, $p < 0.05$) sowie die negativen Bilder ($M = -2.32$ bpm, $SD = 0.42$ bpm, $p < 0.01$) eine signifikant ausgeprägtere Herzratendezeleration provozierten als die neutralen Bilder ($M = -0.97$ bpm, $SD = 0.10$ bpm). Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Herzratenreaktion zwischen positiven und negativen Bildern ($p > 0.05$).

Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht in den mittleren Baseline-Herzratenwerten ($p > 0.05$).

b) Korrelationsstatistik

Spearman-Rho Korrelationen ergaben signifikant negative Korrelationskoeffizienten zwischen Herzwahrnehmungsscore und den mittleren Herzratenveränderungen auf positive ($r = -0.36$, $p < 0.05$), neutrale ($r = -0.24$, $p < 0.05$) und negative Bilder ($r = -0.35$, $p < 0.05$).
Dies demonstriert eine bedeutsame negative Assoziation zwischen Herzwahrnehmungsfähigkeit und Herzratendezeleration provoziert durch emotionale und neutrale Bilder.

10.2.5. Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse stützen zum ersten die zu Beginn formulierte Hypothese, dass gute Herzwahrnehmer emotionale Bilder weniger lang freiwillig betrachten wollen als schlechte Herzwahrnehmer. Der signifikante Haupteffekt „Gruppe“ verweist darauf, dass gute Herzwahrnehmer alle Bilder weniger lang betrachteten als die schlechten Herzwahrnehmer. Auch die Korrelationsstatistik stützt diese Befunde, indem signifikante negative Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und „Viewing Time“ eruiert wurden. Eine ausgeprägtere Herzwahrnehmungsleistung ging somit einher mit einer signifikant kürzeren „Viewing Time“ aller Bilder.
Gemäß den Befunden von Lang (Lang, 1995; Lang et al., 1993; Lang, Bradley & Cuthbert, 1990) zeigte sich zudem, dass neutrale Bilder in beiden Gruppen signifikant kürzer betrachtet wurden als die emotionalen Bilder.

Was die Herzratenreaktivität angeht, welche ja im Falle einer Herzratendezeleration als Indikator für die Orientierungsreaktion bzw. Aufmerksamkeitszuwendung auf die Bilder und im Falle einer Herzratenakzeleration als Defensivreaktion gelten kann (Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Bradley et al., 2001a; Palomba et al., 1997), zeigte sich, dass gute Herzwahrnehmer auf emotionale und neutrale Bilder eine stärkere Herzratendezeleration zeigten als schlechte Herzwahrnehmer (Haupteffekt „Gruppe“). Zum Zweiten wurde somit also demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer, ihrer Herzratenreaktivität nach zu urteilen, durchaus eine stärkere Orientierungsreaktion und Aufmerksamkeitszuwendung auf die Bilder hin aufwiesen als die schlechten Herzwahrnehmer. Auch hier stützt die Korrelationsstatistik diese Befunde: Es zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und Ausmaß des Abfalls der Herzrate.
Beide Ergebnisse waren nicht beeinflusst durch das Geschlecht und durch das situative oder überdauernde Angstniveau der guten und schlechten Herzwahrnehmer.

Das „Viewing Time Paradigma“ wurde in dieser Studie verwendet, um den Ausführungen der Einleitung zufolge zu untersuchen, ob gute Herzwahrnehmer, aufgrund der besseren und intensiveren Verarbeitung viszeraler Signale und ihrer intensiveren Verarbeitung emotionaler Reize, eine an diese Verarbeitungsmodi angelehnte adäquatere behaviorale Kontrolle bzw. Selbst-Regulation psychisch, emotionaler Anforderungssituationen haben. Ähnlich also wie dies in der nächsten Studie (Studie 5), angelehnt an die Studien von Pennebaker & Lightner (1980) für die Selbst-Kontrolle der physischen Belastungsregulation untersucht werden wird, wurde hier versucht, das frei wählbare Verhalten in einer psychisch, emotionalen Anforderungssituation (Betrachten von emotional erregenden Bildern) zu erfassen. Als behaviorales Korrelat diente die freiwillige Betrachtungszeit (Viewing Time) der Bildreize.

Die Ergebnisse zeigen auf der einen Seite folgendes ganz konkret: Gute Herzwahrnehmer betrachteten die gezeigten Bilder signifikant kürzer als schlechte Herzwahrnehmer und sie demonstrierten eine signifikant stärkere Herzratendezeleration (Aufmerksamkeitszuwendung, stärkere Allokation von Aufmerksamkeit; Bradley et al., 2001a; Palomba et al., 1997; Richards & Casey, 1992; Lacey & Lacey, 1970) als schlechte Herzwahrnehmer.
Dies bedeutet, wie in der Einführung zu dieser Studie erörtert, dass gute Herzwahrnehmer in der Tat ihr psychisches, emotionales Belastungsniveau durch ihr Verhalten (Knopfdruck zum Beenden der Bildpräsentation) stärker zu regulieren scheinen als schlechte Herzwahrnehmer. Gute Herzwahrnehmer reagierten nicht, wie bestimmte Personengruppen (z.B. Angstpatienten und Phobiker), mit einem überschießenden peripheren Arousal (z.B. starke Herzratenakzeleration) auf spezifische emotionale Reize, welche eine bereits eingetretene starke Defensivreaktion signalisiert (Hamm et al., 1991; Tolin et al., 1999), sondern zeigten im Gegenteil eine stärkere Herzratendezeleration, also eine intensivere Allokation von Aufmerksamkeit auf die gezeigten Bilder als schlechte Herzwahrnehmer.
Deshalb ist davon auszugehen, dass die guten Herzwahrnehmer wahrscheinlich aufgrund einer stärkeren Aufmerksamkeitszuwendung und Verarbeitung der Bilder - wie es die stärkere Herzratendezeleration sowie die bisherigen Ergebnisse aus Studie 1 und 2 anzeigen, welche eine intensivere zentralnervöse Verarbeitung emotionaler Bilder bei guten Herzwahrnehmern demonstrierten - mit einer behavioral regulierten visuellen Vermeidung (kürzere „Viewing Time“) der Bilder reagierten. Sie zeigten eine deutlichere Orientierungsreaktion und entschieden sich aber schneller dafür, die gezeigten Bilder per Knopfdruck abzuschalten. Dies, so die Hypothese, um sich vor einer emotionalen Überforderung oder Überlastung zu schützen. Für diese Interpretation der Ergebnisse sprechen auch Hinweise aus Studien, die zeigen, dass eine erhöhte Aufmerksamkeit auf potentiell bedrohliche Reize (deutliche Herzratendezeleration) unmittelbar *vor* einer

Vermeidungsreaktion (hier: Abschalten der Bilder) auftritt. Dies sei für die bessere Erkennbarkeit der wichtigen Stimuli relevant und fördere die adäquate Reaktion, nämlich die Vermeidung der Reize (Campbell et al, 1997).
Wären die guten Herzwahrnehmer bereits zu stark emotional erregt gewesen, emotional überlastet, so hätten sie eher eine deutliche Herzratenakzeleration zeigen müssen (z.B. Lang et al., 1993; Hamm et al., 1991).
Der Befund einer stärkeren Aufmerksamkeitsallokation auf emotionale Reize bei guten Herzwahrnehmern wird auch von Ergebnissen von Katkin et al. (1982) gestützt, die einen Zusammenhang zwischen Herzratendezeleration während der Betrachtung emotional erregender Bilder, die als Indikator für verstärkte Orientierung und Aufmerksamkeit auf die Bilder interpretiert wurde, und der Herzwahrnehmungsleistung eruierten.

Dies spricht für die Hypothese, dass gute Herzwahrnehmer, welche eine intensivere zentralnervöse Verarbeitung viszeraler Signale (Herzwahrnehmung) besitzen; u.a. auch im orbitalen/ventromedialen Präfrontalkortex (Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a; Pollatos, Auer, Schandry & Kaufmann, 2004b) – also in der von Damasio für die Integration von somatischen Markern und Handlungsregulation als wesentlich erachteten Hirnstruktur -; sowie relevante emotionale Reize zentralnervös intensiver verarbeiten und erregender empfinden (Studie 1, 2), eine auf ihre Bedürfnisse (stärkere subjektive emotionale Erregung durch entsprechende Reize) adäquatere und feiner abgestimmte, vorsichtigere und weniger riskante Verhaltensregulation in emotionalen Anforderungssituationen besitzen zu scheinen als schlechte Herzwahrnehmer. Dies entspricht der Theorie und den Befunden Damasios (z.B. Damasio et al., 1991; Damasio, 1996; Tranel et al., 1995; Bechara et al., 1997, 1999), die demonstrierten, dass das Fehlen bzw. die Beeinträchtigung der Verarbeitung von somatischen Markern zu inadäquatem und riskantem Entscheidungsverhalten führt.

Die Ergebnisse einer kürzeren freiwilligen „Viewing-Time“ in Kombination mit der stärkeren Herzratendezeleration der guten Herzwahrnehmer im Vergleich zu den schlechten Herzwahrnehmern, legen also in der Tat nahe, dass gute Herzwahrnehmer einen feiner abgestimmten verhaltensregulatorischen Mechanismus im Hinblick auf psychische Belastung oder Anforderung zu haben scheinen. Um mit Damasio (Damasio, 1999, 2000) zu sprechen, scheinen die guten Herzwahrnehmer einen intensiver ausgeprägten Präferenzmechanismus zu besitzen, der ihnen durch die intensivere Zugänglichkeit und Verarbeitung körperlicher, viszeraler Reaktionen zur Verfügung steht, so dass sie für sie unvorteilhafte oder riskante Situationen (z.B. starke emotionale Erregung) eher vermeiden können und sich ihren Bedürfnissen entsprechend verhalten können.

Betrachtet man die Ergebnisse im Hinblick auf die im Rahmen der Theorie von Lang und Mitarbeitern eruierten Befunde zum „Viewing Time“ Paradigma so ist folgendes festzuhalten:
Bei Lang wird die „Viewing Time“ als Indikator für das Interesse an und die Aufmerksamkeitsallokation auf emotional erregende Bilder interpretiert. Die Befunde der Arbeitsgruppe um Lang (z.B. Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Lang et al., 1993) zeigten, dass, werden Bilder als emotional erregend wahrgenommen im Normalfall (außer bei sehr starker Erregung, z.B. Angstpatienten, bei denen eine Vermeidung; d.h. kürzere „Viewing Time“ zusammen mit Herzratenakzeleration eintritt) länger freiwillig betrachtet werden (längere „Viewing Time“) als Bilder, die als neutral empfunden werden.
Ebenso tritt bei emotional erregenden Bildern eine stärkere Herzratendezeleration ein als bei neutralen Bildern, was als Ausdruck der stärkeren Aufmerksamkeitsallokation gewertet wird (z.B. Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1998; Palomba et al., 1997).
Unsere Ergebnisse der Gesamtstichprobe (signifikanter Haupteffekt „Emotionsinhalt“) demonstrierten diese prinzipiellen Effekte ebenfalls.
Es zeigte sich, dass alle Probanden neutrale Bilder weniger lang betrachteten als die emotional erregenden Bilder (positive und negative). Genauso zeigte sich in der Gesamtstichprobe eine signifikant stärkere Herzratendezeleration für die emotional erregenden Bilder (positive und negative) als für die neutralen Bilder (signifikanter Haupteffekt „Emotionsinhalt“). Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen von Lang und Mitarbeitern (z.B. Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; Lang, Bradley & Cuthbert, 1998; Bradley, 2001a) und sprechen dafür, dass auch hier die „Viewing Time“ ein Indikator für die Aufmerksamkeitsallokation und für Interesse zu sein scheint.

Nimmt man die Ergebnisse nunmehr zusammen, lässt sich aber nicht ableiten, dass die guten Herzwahrnehmer, die eine kürzere „Viewing Time“ als schlechte Herzwahrnehmer zeigten, ein geringeres Interesse oder gar eine geringere Aufmerksamkeitsallokation auf die Bilder haben sollten. Dagegen sprechen ganz klar die Befunde zur Herzratenreaktivität, die deutlich demonstrierten, dass gute Herzwahrnehmer eine stärkere Herzratendezeleration, also eine intensivere Aufmerksamkeitsallokation und Orientierungsreaktion auf die Bilder zeigten als schlechte Herzwahrnehmer. Genauso sprechen dagegen die in Studie 1 replizierten Befunde, dass gute Herzwahrnehmer die emotional erregenden Bilder zum einen subjektiv intensiver erregend empfanden und zum anderen die Bilder im P300-und Slow-Wave-Latenzbereich signifikant intensiver verarbeiteten als schlechte Herzwahrnehmer.

Daher favorisiere ich die oben erörterte Schlussfolgerung, dass gute Herzwahrnehmer die Bilder intensiver verarbeiteten, mehr Aufmerksamkeit allozierten (ausgeprägte

Herzratendezelertion) und daher ihr psychisches Erregungsniveau (intensivere zentralnervöse Verarbeitung der Bilder, und intensiveres emotionales Empfinden der Bilder; siehe Studie 1, 2) durch schnelleres Abschalten der Bilder adäquat kontrollierten.

Ein weiter Aspekt muss angesprochen werden:
Die Ergebnisse sowohl für die Herzratenreaktivität als auch für die „Viewing Time“ zeigten einen signifikanten Haupteffekt „Gruppe“, jedoch keinen signifikanten Interaktionseffekt „Gruppe x Emotionsinhalt“. Dies verweist darauf, dass gute Herzwahrnehmer *alle* Bilder, nicht nur die emotionalen, sondern auch die neutralen Bilder signifikant weniger lang betrachteten, sowie auf alle Bilder mit einer stärkeren Herzratendezeleration antworteten als die schlechten Herzwahrnehmer.
Die Hypothese beinhaltete jedoch, dass sich ein Unterschied zwischen den Gruppen vor allem bezüglich emotional erregender Reize zeigen sollte. Gegen die Überlegung, dass diese Ergebnisse bedeuten könnten, dass gute Herzwahrnehmer eine generell gesteigerte selektive Aufmerksamkeit auf auch non-emotionale, neutrale Reize besitzen, spricht der in Studie 3 vorgestellte Befund anhand des Oddball-Paradigmas. Dort hat sich deutlich gezeigt, dass sich beide Gruppen nicht im Hinblick auf die zentralnervöse Verarbeitung (P300) auf neutrale Reize unterscheiden, was demonstrierte, dass gute Herzwahrnehmer keine prinzipiell bessere Aufmerksamkeitsleistung auf non-emotionale Reize besitzen als schlechte Herzwahrnehmer. Auch in Studie 1 wurde deutlich gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern eine ausgeprägtere P300 sowie eine ausgeprägtere Amplitude im Slow-Wave-Latenzbereich nur auf emotional erregende Bilder, aber *nicht* auf neutrale Bilder hin zeigten. Beide Studienergebnisse (Studie 1 und 3) sprechen gegen die Annahme, dass unsere hier vorliegenden Verhaltensdaten mit einer generell erhöhten Aufmerksamkeitsleistung guter Herzwahrnehmer zu erklären sind.
Zwei andere Erklärungen sind allerdings denkbar: Zum ersten könnten methodische Gründe das Nicht-Signifikantwerden des Interaktionseffekts „Gruppe x Emotionsinhalt“ erklären. Besonders zu geringe Stichprobengrößen als auch eine zu geringe Anzahl verwendeter Bildstimuli können sich auf diesen Faktor auswirken. Zum zweiten ist denkbar, dass die randomisierte Abfolge der IAPS-Bilder, welche mit der Option der frei wählbaren „Viewing Time“ dargeboten wurden, diesen Effekt beeinflusst hat. Da gute Herzwahrnehmer, wie bislang gezeigt (Studie 1), emotionale Bilder besonders intensiv verarbeiten und empfinden, wäre es möglich, dass sie nach jedem Knopfdruck, der das soeben gezeigte Bild beendete, und das nächste Bilde aufrief, eine stärkere Erwartungshaltung bzgl. des Auftretens eines folgenden, prinzipiell emotional erregenden Bildes hatten. Dies hätte dazu beitragen können, dass sie auch die neutralen Bilder als erregender, zumindest, erwartet hatten. Dies könnte

die reduzierte Viewing Time sowie die stärkere Herzratendezeleration für alle Bilder teilweise erklären.

Ein letzter Punkt ist zu erörtern, den ich bei der Hypothesenbildung schon angedeutet habe: Neben oder besser zusätzlich zur hier bevorzugten Interpretation der Ergebnisse könnte ein weiterer Faktor zu den Ergebnissen beigetragen haben.
Ich habe in der Einführung zu den Verhaltensstudien erörtert, dass gute Herzwahrnehmer wie Studie 2 gezeigt hat, emotionale Stimuli bereits in einem sehr frühen sensorischen, visuellen Verarbeitungsprozess intensiver verarbeiten als schlechte Herzwahrnehmer. Dies weist darauf hin, dass gute Herzwahrnehmer emotional saliente Reize bereits sehr früh besser detektieren und prozessieren. Dies könnte ebenfalls ein Grund dafür sein, weshalb die guten Herzwahrnehmer eine kürzere Viewing Time der Bilder zeigten. Sie brauchten sozusagen weniger Zeit, um sich Bilder zu betrachten und zu einem Urteil über die Relevanz derselben zu gelangen, und konnten die Bilder so schneller behavioral beantworten, d.h. abschalten. Hierfür spricht auch der Befund aus der im Folgenden zu schildernden Nebenuntersuchung (Studie 4b).
Auch vorliegende Befunde, dass gute Herzwahrnehmer eine intensivere Aktivierung auch des anterioren cingulären Kortex zeigen, wenn sie die Aufmerksamkeit auf ihren eigenen Herzschlag richten sowie, dass die Aktivierung des ACC zudem positiv mit dem Ausmaß des subjektiven Erlebens von Emotionen korrelierte (Pollatos, Schandry, Auer & Kaufmann, 2004b) stützen diese Überlegung zudem. Ich habe in Kapitel 5.1.2. dargelegt, dass der ACC sowohl wichtig ist für der Analyse von konfliktrelevanten Aufgabenaspekten und für die Auswahl geeigneter Handlungen und Reaktionen (z.B. Posner & Petersen, 1990; Lane et al., 1998) als auch für das emotionalen Erleben sozialer und affektiver Information (Lane et al., 1998). Lane und Mitarbeiter (z.B. Lane et al., 1995, 1998) haben die Bedeutung des ACC für die „emotional awareness“, Interozeption und die Selbst-Regulation subjektiver Gefühle betont, wobei sie davon ausgehen, dass Personen mit einer ausgeprägten „emotional awareness“ interne und externe emotionale Reize besonders gut detektieren und diskriminieren können (siehe Kapitel 5.1.2.).
Die kürzere Viewing Time der guten Herzwahrnehmer könnte somit auch durch diese Prozesse beeinflusst sein, die vermuten lassen, dass gute Herzwahrnehmer, aufgrund ihrer besseren Auffassung und intensiveren Verarbeitung emotionaler Stimuli weniger Zeit investieren müssen, um wichtige Reize als emotional erregende zu erkennen und zu verarbeiten und schneller auf diese Stimuli reagieren konnten.
Um diese Prozesse jedoch genauer zu beantworten, reicht das „Viewing Time“-Untersuchungsdesign nicht aus. Hierzu wäre es nötig, ein Reaktionszeitexperiment

durchzuführen, bei welchen die Probanden etwa besonders schnell emotionale und nicht-emotionale Stimuli detektieren und beantworten müssten.

Gewissen Aufschluss über diesen letzten angesprochen Aspekt geben allerdings Ergebnisse aus einem hier durchgeführten Neben-Experiment, welches mit den Probanden aus Studie1 (Kapitel 7) praktiziert wurde.

10.3. Studie 4 b): Analyse von „affektiven Bildbeurteilungszeiten“

10.3.1. Einleitung und Hypothesen

Aufschluss über die weitere Bedeutung des oben berichteten Befundes kürzerer freiwilliger Bildbetrachtungszeiten der guten Herzwahrnehmer könnte ein Zusatzbefund aus Daten liefern, der sich in Verbindung mit Studie 1 bei der Erhebung des SAM-Ratings gezeigt hat.
In Studie 1 wurde bekanntlich erstens gezeigt, dass gute Herzwahrnehmer (N = 17) emotionale Bilder intensiver verarbeiteten als schlechte Herzwahrnehmer (N = 20); zweitens wurde repliziert, dass gute Herzwahrnehmer auch die emotionalen Bilder subjektiv erregender erlebten schlechte Herzwahrnehmer. Die dort untersuchten Probanden führten, wie in Studie 1 erörtert, die programmierte Computer-Fassung des SAM im Anschluss and die EEG-Untersuchung aus. Die Software wurde dabei so programmiert, dass nicht nur die von den Probanden beurteilten Valenz- und Arousalwerte registriert werden konnten, sondern auch das Zeitintervall, das jeder Proband benötigte, um die Arousal- und Valenzbewertungen der Bilder vorzunehmen. Alle Probanden übten vor der Durchführung der computerisierten SAM den technischen Ablauf (Anklicken der SAM-Skalen mit der „Maus“), was die Probanden auf eine kurze Nachfrage als einfach und leicht und schnell durchführbar berichteten.
Die SAM-Bewertung lief konkret so ab, dass jedem Probanden die während des EEG-Versuchs in Studie 1 gezeigten IAPS-Bilder nochmals in randomisierter Reihenfolge gezeigt wurden. Dabei wurde jedes Bild für 3 Sekunden gezeigt, danach erschien die erste SAM-Skala, welche nach der Valenzeinschätzung des Bildes fragt. Nach Beantwortung derselben zeigte der Bildschirm die SAM-Arousal-Skala, die von den Probanden ebenfalls via Klick mit der Maus beantwortet werden musste. Hatte der Proband jeweils die SAM-Arousalskala beantwortet, erschien das nächste IAPS-Bild und so weiter. Die Probanden waren dabei angehalten, die Aufgabe zügig zu bearbeiten.
Durch die Aufzeichnung der Beantwortungszeiten, welche die Probanden bei der Beantwortung der SAM-Skalen benötigten, lag nunmehr ein Indikator für die Zeitspanne vor,

die angibt, wie lange ein jeder Proband benötigte, um sich über seine Beurteilung der emotionalen Bedeutung der Bilder klar zu werden und diese zu beantworten.

Obwohl es sich hier nicht um ein Reaktionszeitexperiment im herkömmlichen Sinne handelte, könnte die Bildbeurteilungszeit, wie sie hier im Rahmen der SAM-Bearbeitung erhoben wurde, einen ersten Indikator für die Schnelligkeit der Detektion und Beurteilung des emotionalen Gehalts der Bilder liefern.

Zusammen mit den bisherigen Befunden:

1.) Studie 1: gute Herzwahrnehmer erleben emotionale Bilder subjektiv als erregender als schlechte Herzwahrnehmer (SAM-Ratings),
2.) Studie 1: gute Herzwahrnehmer zeigen im höher-geordneten zerebralen Verarbeitungsprozess (P300, Slow Wave) eine intensivere Verarbeitung emotionaler Stimuli als schlechte Herzwahrnehmer,
3.) Studie 2: gute Herzwahrnehmer demonstrieren eine ausgeprägtere und intensivere frühe sensorische Verarbeitung emotionaler Bildreize („EPN“) als schlechte Herzwahrnehmer und
4.) Studie 4a): Gute Herzwahrnehmer betrachten emotionale Bilder freiwillig signifikant kürzer als schlechte Herzwahrnehmer, was als mögliches Zeichen für eine bessere Informationsextraktion und eine intensivere Nutzung kardialer Signale bei der behavioralen Reaktion auf emotionale Bilder interpretiert werden könnte,

kann man schlussfolgern, dass gute Herzwahrnehmer emotionale Stimuli nicht nur erregender erleben und zentralnervös intensiver verarbeiten, sondern besser in der Lage sind, wichtige (emotional erregende) und unwichtige (neutrale) Reizen zu beurteilen und auf diese behavioral zu reagieren.

Die Auswertung der Bildbeurteilungszeit im SAM-Rating der Studie 1 bot die Möglichkeit zu überprüfen, ob sich gute und schlechte Herzwahrnehmer auch in der Zeit unterschieden, die sie benötigten, und für die sie sich entschieden, um eine bewertende Aussage über die Intensität der Erregung (also ob ein Bild emotional erregend oder neutral ist) der Bildreize, zu machen. Die Hypothese war, dass gute Herzwahrnehmer weniger Zeit aufwenden sollten, um Bilder als emotional erregend oder neutral zu definieren.
Würde letzteres bestätigt, so könnte der Viewing-Time Befund dahingehend Unterstützung finden, als dass man davon ausgehen muss, das gute Herzwahrnehmer in der Tat das Bildmaterial auch deshalb freiwillig kürzer betrachten, weil sie besser und schneller in der

Lage sind, die Reize als emotional bedeutsam oder unbedeutsam zu beurteilen. Eine solche schnellere Einschätzungsfähigkeit würde sich somit sowohl für emotionale als auch neutrale Bildstimuli zeigen, da ja jedes emotionale Bild als entsprechend emotional signifikant und jedes neutrale Bild als emotional bedeutungslos eingeschätzt werden muss. Gute Herzwahrnehmer sollten sich daher von schlechten Herzwahrnehmern in ihrer Bildbeurteilungszeit des Arousals für alle Bildkategorien unterscheiden und nicht nur für emotionale Bildstimuli.

Hypothesen:

Somit ist folgende Hypothese zu formulieren:

1. ***Gute Herzwahrnehmer wenden für die Beurteilung der emotionalen Erregung (Arousal) präsentierter Bilder eine geringere Zeit auf, als schlechte Herzwahrnehmer. Die Bildbeurteilungszeit guter Herzwahrnehmer ist somit kürzer als die schlechter Herzwahrnehmer.***

10.3.2. Methode und Experimenteller Ablauf

Versuchspersonen

Es wurden alle 37 Probanden (19 männlich, 18 weiblich) rechtshändige Probanden im Alter von 20 bis 34 Jahren (M = 24.8, SD = 6.1), welche in Studie 1 teilnahmen, untersucht. Es handelte sich dabei um Studenten der LMU München, die für ihre Teilnahme an Studie 1 eine Bestätigung für Versuchspersonenstunden erhielten. Alle Teilnehmer wiesen keine kardialen Erkrankungen auf und waren zum Untersuchungszeitpunkt körperlich und psychisch ohne Befund.

Experimenteller Ablauf

Der experimentelle Ablauf ist Studie 1 (Punkt 7.2.) zu entnehmen. Hieraus wird ersichtlich, dass die Probanden das SAM-Rating nach Beendigung des EEG-Experiments und nach einer kurzen Pause, in der sich die Probanden die Haare wuschen und trockneten, durchführten.

Herzwahrnehmungstest

Auch die Durchführung des Herzwahrnehmungstests ist Studie 1 (Punkt 7.2.) zu entnehmen.

Demgemäß liegen für die folgende Analyse N = 17 gute Herzwahrnehmer und N = 20 schlechte Herzwahrnehmer vor.

Stimulusmaterial und Design

Wie in Studie 1 beschrieben, bewerteten die Probanden insgesamt 120 Bilder (40 positive, 40 neutrale, 40 negative) des IAPS, die zum Zwecke des Ratings randomisiert dargeboten wurden.

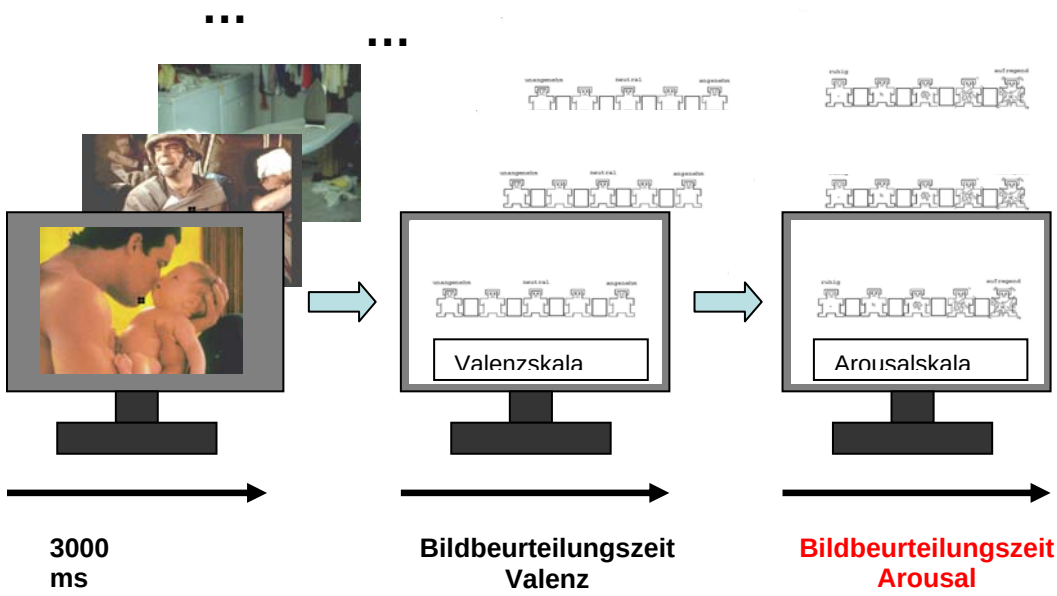
Die Bilder wurden gemäß der normativen Ratings des IAPS (Lang, Bradley & Cuthbert, 1999) ausgewählt und variierten sowohl was die normative Valenz (angenehm-unangenehm) und normatives Arousal (ruhig-erregend) anging. Studie 1 ist zu entnehmen, dass sich die positiven, neutralen und negativen Bilder signifikant in ihrer Valenz (positive: M = 6,66; neutrale: M = 4,94; negative: 2,17; $F(3,384) = 47,59$, $p < 0,001$). Das Arousal betreffend, so waren die Bilder so ausgesucht, dass sich positive und negative Bilder nicht in ihrem Arousal unterschieden (Post-Hoc LSD $p > 0,05$), während sich natürlich die emotionalen Bilder im Arousal signifikant und deutlich von den neutralen Bildern abgrenzten ($F(3, 844) = 101,07$, $p < 0,001$). Die neutralen Bilder (M = 2,65) waren dabei signifikant weniger erregend ($p < 0,001$) als sowohl die positiven (M = 6,30) als auch die negativen (M = 6,48).

Die Auswahl der Bilder deckt sich somit sehr mit der für das „Viewing Time Experiment“ vorgenommenen Selektion der Bilder.

Erhebung der Bildbeurteilungszeiten und des SAM-Ratings

Abbildung 10.4. zeigt den Ablauf des SAM-Ratings. Jedes IAPS-Bild wurde dabei für 3000 ms gezeigt, und danach wurde automatisch die SAM-Valenzskala eingeblendet, die der Proband per Mausklick bewertete. Unmittelbar danach erschien die SAM-Arousal-Skala, die ebenfalls per Mausklick beantwortet wurde. Erfasst wurden, neben den SAM-Ratings, welche in Studie 1 dargestellt wurden, v.a. die Beurteilungszeit der SAM-Arousalskala (vom Beginn der Präsentation der Arousalskala bis zum beurteilenden Mausklick). Aufgrund bisheriger Befunde (Critchley et al., 2004; Ferguson and Katkin, 1996; Hantas et al., 1982; Jones, 1994; Montoya and Schandry, 1994; Schandry, 1981; Wiens et al., 2000; Wiens and Palmer, 2001), die deutlich gemacht haben, dass gute Herzwahrnehmer sich im Arousal-Aspekt von Emotion sowohl subjektiv emotional als auch in der zentralnervösen Verarbeitung (siehe Studie 1) unterscheiden, ist nicht davon auszugehen, dass Unterschiede zwischen den Gruppen spezifisch für Valenzbeurteilungszeiten existieren, so dass als wesentliche abhängige Variable die Bildbeurteilungszeit für die Einschätzung des Arousals der Bilder analysiert wurde (siehe Abbildung 10.4.).

Abbildung 10.4. Darstellung des Ablaufs des SAM-Ratings und der Erfassung der Bildbeurteilungszeiten für die Arousalskala des SAM



10.3.3. Datenreduktion und Analyse

Analyse der Bildbeurteilungszeit

Es wurden die mittleren Beurteilungszeiten der Arousalskala für positive, negative und neutrale Bilder berechnet. Es wurde eine Ausreißeranalyse durchgeführt (Eliminierung von Probanden mit Abweichung von mehr als zwei Standardabweichungen vom Gesamtmittelwert der jeweiligen Bildbeurteilungszeiten). Keiner der Probanden musste aufgrund dieser Analyse aus der Stichprobe entfernt werden.

Es wurde für die Arousal-Bildbeurteilungszeit jeweils eine Messwiederholungs-ANOVA mit dem Innersubjektfaktor „Emotionsinhalt“ (3 Stufen: positive, negative, neutrale Bilder) und dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ (2 Stufen: gute vs. schlechte Herzwahrnehmer) berechnet.

Bei Verletzung der Sphärizitätsannahme werden die unkorrigierten F-Werte zusammen mit den nach Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet. Zur Evaluation signifikanter Haupt- und Interaktionseffekte wurden Post-Hoc Testungen nach Scheffé herangezogen.

Zudem wurden non-parametrische Spearman-Rho Korrelationen (r_s) zwischen Herzwahrnehmungsscore und den mittleren Bildbeurteilungszeiten ermittelt.

10.3.4. Ergebnisse

Herzwahrnehmung

Die wesentlichen Daten hierzu sind Studie 1 (Punkt 7.4.) zu entnehmen.

Alter und Geschlecht

Auch hier sind die Daten aus Studie 1 (Punkt 7.4.) ersichtlich.
Wichtig zu erwähnen ist, dass sich die Geschlechterverteilung in der Gruppe der guten und schlechten Herzwahrnehmer nicht signifikant unterschied.

Bildbeurteilungszeiten

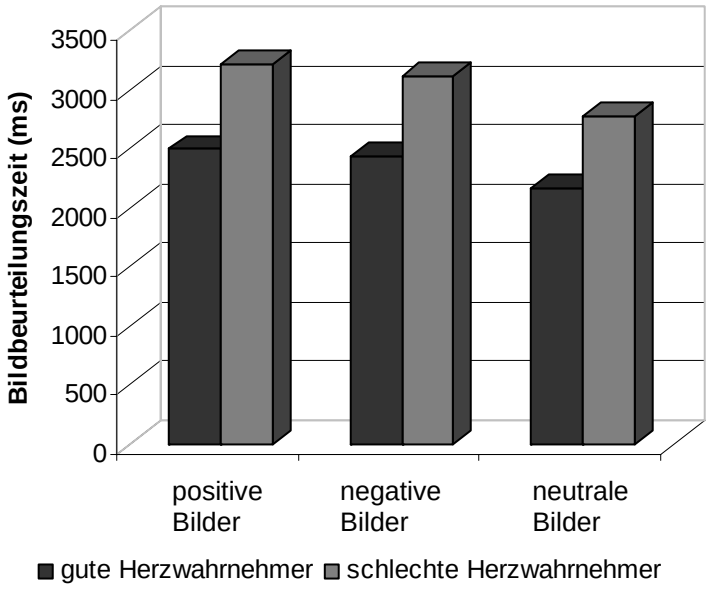
a) Varianzanalytische Ergebnisse

ANOVA-Ergebnisse zeigten für die Beurteilungszeiten des Arousals der Bilder einen *signifikanten Haupteffekt „Gruppe“* ($F (1, 35) = 7.82$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.18$), wobei die guten Herzwahrnehmer ($M = 2366.89$ ms, $SD = 613.61$ ms) für die Arousaleinschätzung der Bilder eine generell kürzere Beurteilungszeit aufwiesen als die schlechten Herzwahrnehmer ($M = 3029.88$ ms, $SD = 923.95$ ms).
Es zeigte sich kein signifikanter Interaktionseffekt „Emotionsinhalt“ x „Gruppe“ ($F (2, 70) = 0.14$, $p > 0.05$).

Zudem wurde ein signifikanter Haupteffekt *„Emotionsinhalt“* eruiert ($F (2, 70) = 7.45$, $p < 0.001$, partielles $eta^2 = 0.18$). Post-hoc Testungen demonstrierten, dass die positiven ($M = 2852.35$ ms, $SD = 712.41$ ms) und negativen Bilder ($M = 2773.73$ ms, $SD = 900.80$ ms) signifikant langsamer nach ihrem Arousal beurteilt wurden als die neutralen Bilder ($M = 2469.07$ ms, $SD = 693.14$ ms) ($p < 0.01$). Die Beurteilungszeiten zwischen positiven und negativen Bildern unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0.05$).

Abbildung 10.5. zeigt graphisch die Ergebnisse der Bildbeurteilungszeiten für die Arousaleinschätzung.

Abbildung 10.5. Darstellung der Bildbeurteilungszeiten (Arousal) der guten und schlechten Herzwahrnehmer für positive, negative und neutrale Bilder



b) Korrelationsstatistik

Auch die Korrelationsstatistik zeigte eine signifikante negative Korrelation (Spearman-Rho-Koeffizienten) zwischen Herzwahrnehmungsscore und Arousal-Bildbeurteilungszeiten der positiven ($r = - 0.32$, $p < 0.01$), der negativen ($r = - 0.32$, $p < 0.05$) und neutralen Bilder ($r = - 0.29$, $p < 0.05$).
Demnach gibt es eine allgemeine negative Beziehung zwischen der Ausprägung der Herzwahrnehmungsfähigkeit und der Beurteilungszeit der Bilder bzgl. ihres Erregungsniveaus.

10.3.5. Zusammenfassung und Diskussion

Wie prognostiziert, zeigten die Ergebnisse dieses Nebenexperiments, dass gute Herzwahrnehmer eine signifikant schnellere Bildbeurteilung des Erregungsniveaus der IAPS-Bilder demonstrierten, als schlechte Herzwahrnehmer. Dies könnte die in der Diskussion zu Studie 4a erörterte Überlegung stützen, dass gute Herzwahrnehmer nicht nur behavioral adäquater ihre emotionale Belastung oder Anforderung regulieren, sondern zudem auch der Faktor einer schnelleren Beurteilung von Stimuli als emotional erregend oder neutral beim Zustandekommen kürzerer Viewing-Times eine Rolle spielen könnte.

Betrachtet man den signifikanten Hauteffekt „Emotionsinhalt“, welcher demonstrierte, dass neutrale Bilder schneller als neutrale, und emotional positive und negative Bilder signifikant langsamer als erregend beurteilt wurden, ist dies auf den ersten Blick irritierend, da davon auszugehen ist, dass emotional saliente Stimuli schneller und intensiver verarbeitet und detektiert werden als neutrale Stimuli (z.B. Bradley et al., 2001a; Lang et al., 1993). Dieser Befund kann mit größter Sicherheit auf die hier verwendete Methode der Erfassung der Bildbeurteilungszeit zurückgeführt werden. Wie erwähnt, handelte es sich nicht um ein klassisches und explizites Reaktionszeitexperiment, bei dem es auf die schnellstmögliche Beantwortung oder das schnellste Reagieren ankommt. Hier lautete die Instruktion zwar, die Aufgabe zügig zu bearbeitet, jedoch hatten die Probanden genügend Zeit auch andere Faktoren in ihre Beurteilung mit einfließen zu lassen. Zu nennen wären etwa Tendenzen der sozialen Erwünschtheit (z.B. bei den erotischen Bildern oder den Katastrophenbildern), solche Überlegungen kosten ein wenig Zeit und führen daher zu einer längeren Bildbeurteilungszeit bei emotional erregenden Bildern.

Nichtsdestotrotz zeigte der signifikante Gruppenunterschied, dass gute Herzwahrnehmer weniger Zeit wählten, um emotionale Bilder auf ihr Erregungsniveau hin zu beurteilen. In Zusammenschau mit den Ergebnissen zur „Viewing Time“ deutet dies darauf hin, dass gute Herzwahrnehmer aufgrund ihrer besseren und intensiveren Verarbeitung und Verfügbarkeit viszeraler Signale nicht nur eine elaboriertere, sondern auch schnellere Analyse interner und externer relevanter Stimuli aufweisen und sich dies in ihrer Handlungsregulation niederschlägt.

10.4. Studie 5: Kardiosensibilität und behaviorale Regulation physischer Belastung im „Fahrrad-Ergometer-Versuch“

10.3.1. Einleitung und Hypothesen

Auch das zweite Experiment zum Themenbereich Kardiosensibilität und Verhalten baut auf den in der Einführung zu den Verhaltensstudien (Kapitel 10.1.) genannten Untersuchungsergebnissen sowie den dort erörterten Schlussfolgerungen und Ableitungen auf, welche darlegen, dass die Wahrnehmung bzw. das Feedback körperlicher Signale offen beobachtbares Verhalten beeinflussen kann (z.B. Bechara et al., 1998; North & Carrol, 2001; Pennebaker & Lightner, 1980).
Die folgende zweite Verhaltensstudie wurde vornehmlich von der bereits zitierten Untersuchung von Pennebaker & Lightner (1900) angeregt, welche den Schluss nahe legte, dass die Perzeption interner, körperlicher Signale Einfluss auf die Selbst-Kontrolle körperlicher Belastung und Anstrengung nimmt. Wenig Ablenkung durch äußere Reize in der Laufumgebung, also eine gute Wahrnehmung der eigenen internen Signale, führte in der Studie dieser Autoren zu einer geringeren körperlichen Anstrengung, d.h. einem geringeren Lauftempo während des Joggens.

Zusammen mit den in der Einführung (Kapitel 10.1.) erörterten Befunden sowie den dort nochmals beschriebenen Schlussfolgerungen aus Damasios „somatic marker“ Theorie, ist demnach davon auszugehen, dass gute Herzwahrnehmer ihre adäquatere und ausgeprägtere Rückmeldung kardialer Signale intensiver zur Regulation ihrer körperlichen Anstrengung bzw. Belastbarkeit benutzen.
Gute Herzwahrnehmer sollten also aufgrund ihrer intensiveren Verarbeitung und Perzeption viszeraler Signale eine feinere Abstimmung der behavioralen Selbst-Regulation ihrer körperlichen Belastung zeigen bzw. eine vosichtigere, weniger riskante (siehe Damasio, 1999, 2000; Bechara et al., 1998) behaviorale Selbst-Kontrolle und Selbst-Regulation physischer Belastung zeigen als schlechte Herzwahrnehmer.
Um diesen behavioralen Aspekt der Selbst-Regulation körperlicher Aktivität zu erfassen wurde eine körperliche Belastungssituation gewählt, die es den Probanden erlaubte, die physische Anstrengung bzw. Belastung selbst zu kontrollieren. Hierzu wurde ein Fahrrad-Ergometer-Versuch durchgeführt. Ähnlich wie in Pennebakers & Lightners (1980) Experiment sollten die Probanden eine Strecke unter definierter zeitlicher Dauer mit selbst-gewählter Geschwindigkeit zurücklegen, um sodann als abhängige Variable die zurückgelegte Strecke (in km) zur Verfügung zu haben, die Auskunft über die selbst-

kontrollierte Geschwindigkeit, sprich somit die Kraftaufwendung oder Anstrengung in dem Versuch, zulässt.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Hypothesen:

Hypothesen:

1. ***Gute Herzwahrnehmer zeigen in einem Fahrrad-Ergometer-Versuch eine geringere körperliche Anstrengung als schlechte Herzwahrnehmer.***

Auf der Verhaltensebene wurde dies, wie oben bereits angedeutet, so operationalisiert, dass alle Probanden auf einem Fahrradergometer 15 Minuten lang kontinuierlich, jedoch mit selbstgewähltem Tempo radelten. Die zurückgelegte Strecke eines jeden Probanden war dann die abhängige Variable, und zeigte die körperliche Anstrengung an.
Auf der physiologischen Ebene wurde ebenfalls versucht, die körperliche Anstrengung zu erfassen. Dies geschah anhand des EKGs (Herzrate; HR) und der Impedanzkardiographie (IKG), welche die Erfassung von kardiodynamischen Parametern, wie z.B. des kardialen Outputs (CO) sowie weiteren Indikatoren hämodynamischer Funktionen des kardiovaskulären Systems erlaubt (z.B. Fahrenberg, 2001; Sherwood et al., 1990). Eine geringere körperliche Anstrengung, einhergehend mit einem selbstgewählten langsameren Fahren auf dem Ergometer sollte mit einer geringeren Herzrate und einem geringeren kardialen Output (CO) assoziiert sein (siehe Genaueres im Methodenteil Punkt 10.3.2.).

Die vollständigen Hypothesen lauten somit:

1.1. ***Gute Herzwahrnehmer strengen sich körperlich in einem Ergometer-Versuch weniger stark an als schlechte Herzwahrnehmer; d.h. gute Herzwahrnehmer radeln in einer vorgegebenen Zeitspanne von 15 Minuten langsamer, legen somit eine kürzere Strecke (km) zurück, als schlechte Herzwahrnehmer.***

1.2. ***Gute Herzwahrnehmer zeigen auch physiologisch in dieser Zeitspanne eine geringere Belastung; d.h. eine niedrigere Herzrate sowie einen niedrigeren kardialen Output.***

10.3.2. Methodik und experimenteller Ablauf

Versuchpersonen

Es wurden 36 (20 weiblich, 16 männlich) rechtshändige Probanden im Alter von 20 bis 44 Jahren (M = 26.4; SD = 5.8) untersucht. Die Probanden waren Studenten der LMU München, und erhielten für ihre Teilnahme an dem Experiment eine Bestätigung für Versuchspersonenstunden. Alle Teilnehmer wiesen keine kardialen Erkrankungen auf und waren zum Untersuchungszeitpunkt körperlich und psychisch ohne Befund.
Aufgrund von mangelhaftem Datenmaterial wurden 2 Probanden aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen, so dass insgesamt 34 Probanden (19 weiblich, 15 männlich) in die weitere Datenanalyse eingingen.

Experimenteller Ablauf

Bei Ankunft im Labor wurden die Teilnehmer über den Ablauf des Experiments informiert und gaben ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme. Alle Probanden wurden dann in die Untersuchungskabine geleitet.
Dort wurden sie zuerst in normaler Sommerkleidung und ohne Schuhwerk auf einer Digitalwaage gewogen um ihr Körpergewicht zu bestimmen, sowie anschließend ihre Körpergröße erfasst.
Danach wurden ihnen nicht-polarisierbare Ag/AgCl Elektroden zur Aufzeichnung des EKG für den Herzwahrnehmungstest angelegt. Dann durften sie in einem bequemen Sessel Platz nehmen und sich vor Beginn der Untersuchungen 5 Minuten entspannen und an die Laborumgebung gewöhnen.
Danach wurde der Herzwahrnehmungstest durchgeführt.
Nach Beendigung des Herzwahrnehmungstests wurden den Probanden die Elektroden zur Aufzeichnung des Impedanzkardiogramms (IKG) angelegt. Das benutze System (siehe unten) erlaubte die gleichzeitige Erhebung des EKGs. Danach wurden die Probanden gebeten, einen Fitness-Test durchzuführen, der zur Berechnung des PWC_{150}-Index diente (Beschreibung des Fitness-Tests und Berechnung des PWC_{150}-Index siehe unten). Der Fitness-Index sollte zur Kontrolle einer möglicherweise vorab vorhandenen, unterschiedlichen kardiopulmonalen Belastbarkeit dienen. Dies war notwendig, um zu kontrollieren, inwieweit mögliche Unterschiede in der körperlichen Anstrengung zwischen den Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer auf eine unterschiedliche körperliche Fitness zurückzuführen sein könnten.

Nach dem Fitness-Test durften sich die Probanden solange entspannen (30 Minuten), bis ihr Puls wieder auf Ruhewerte abgefallen war. Danach wurden Ruhe-Baseline-Werte des EKGs und IKGs für 5 Minuten erhoben.
Sodann wurden die Probanden angewiesen, 15 Minuten lang, so schnell wie sie wollten, kontinuierlich auf dem Fahrradergometer („Ergo-fit 300“) zu radeln. Als abhängige Variable diente die in dieser Zeitspanne zurückgelegte Fahrstrecke in km.
Während des Fitness-Tests als auch während des Fahrrad-Ergometer-Versuchs wurden durchgängig EKG und IKG aufgezeichnet.

Herzwahrnehmungstest

Die Durchführung des Herzwahrnehmungstests ist der Beschreibung aus Studie 1 (Kapitel 7) zu entnehmen.
Die Probanden wurden für die statische Analyse anhand ihres Herzwahrnehmungsscores in eine Gruppe guter Herzwahrnehmer und eine Gruppe schlechter Herzwahrnehmer aufgeteilt. Der maximale Score von 1 kennzeichnet eine absolut korrekte Herzschlagwahrnehmung. Probanden mit einem Herzwahrnehmungsscore größer als 0.85 wurden der Gruppe der guten (N = 14) und Probanden mit einem Score kleiner als 0.85 der Gruppe der schlechten Herzwahrnehmer (N = 20) zugewiesen.

Erhebung des EKGs und des Impedanzkardiogramms

Das EKG nach Einthoven II wurde zur Analyse des Herzwahrnehmungstests durchgeführt. Dies geschah anhand des Aufzeichnungssystems MP150, Version 3.7.2., und der mitgelieferten Software (BIOPAC Systems Inc., Santa Barbara, CA).
Bevor die Probanden den Fitness-Test und den „Ergometer-Versuch“ durchliefen, wurde eine 5-minütige impedanzkardiographische Baseline-Ruhe-Messung (HR, CO) anhand eines nonivasiven, automatisierten Impedanzkardiographie-Systems (Cardioscreen 3.1.; Medis, Ilmenau, Germany) aufgezeichnet. Während des Fitness-Tests und des eigentlichen „Fahrrad-Ergometer-Versuchs“ wurden ebenfalls die Herzrate (HR) und hämdoynamische Parameter anhand Impedanzkardiographie erhoben.
Bisherige Studien haben gezeigt, dass dieses Impedanzkardiographie-System valide und reliable Messungen hämodynamischer Prozesse erbringt (z.B. Scherhag et al., 1997; Stark et al., 1996). Zur impedanzkardiographischen Aufzeichnung wurden den Probanden zwei Elektrodenpaare (Ag/AgCl-Spotelektroden) angelegt. Die oberen Messelektroden wurden an der linken und rechten Halsseite am Nackenansatz platziert, die unteren Messelektroden wurden an der lateralen Thoraxwand in der mittleren Axillarlinie in Höhe des Xiphoids angebracht (siehe Abbildung 10.6. unter Punkt 10.3.2.1.). Der Abstand zwischen den

paarigen Elektroden betrug, wie vorgeschrieben, bei jedem Probanden 5 cm. Es wurde in der gesamten Untersuchung darauf geachtet, dass eine exakte Positionierung der Elektroden eingehalten wurde, um eine fälschliche Beeinflussung von ΔZ und dZ/dt_{max} zu vermeiden (siehe Sherwood et al., 1990)
Das Cardioscreen erlaubt über diese Ableitung auch die Erhebung des EKGs. Respiratorische und sonstige Artefakte wurden über das System automatisch anhand eines spezifischen Algorithmus eliminiert (siehe Klocke & Breuel, 2000).

Das Schlagvolumen (SV) wurde nach der Bernstein-Formel (1986) berechnet:

$$\mathbf{SV\ (ml) = V_{EPT} \times LVET \times (dz/dtmax) / Z_0}$$

V_{EPT} = Volumen des elektrisch partizipierten Gewebes (ml)
LVET = linksventrikuläre Austreibungszeit (ms)
dz/dtmax = Maximalwert der Impedanzänderung nach Öffnen der Aortenklappe (Amplitude des P-Punktes (ohm/ms)
Z_0 = Grundimpedanz (ohm)

Der kardiale Output (CO) wurde als:

CO (l/min.) = (HR x SV) / 1000, berechnet

HR = Herzrate

Diese Berechnungen erfolgten über das System Cardioscreen automatisiert, was durch die Eingabe und Verrechnung von Körpergewicht und Körpergröße der einzelnen Probanden ermöglicht war.
Eine kurze Darstellung der Methode der Impedanzkardiographie möchte ich unter Punkt 10.3.2.1 geben.

Erhebung des PWC_{150}-Index

Zur Erfassung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit wurde ein Fitness-Test durchgeführt. Hierzu radelten die Probanden auf dem Fahrrad-Ergometer auf verschiedenen Belastungsstufen (0 – 250 Watt), pro Stufe maximal 60 Sekunden lang, solange bis ihr Puls

150 Schläge/min. erreichte. Die Belastung wurde um Stufen von 25 Watt jeweils gesteigert. Daraus wurde ein Fitness-Index, der PWC_{150}-Index (Haber et al., 1978; Schandry & Bestler, 1995) folgendermaßen berechnet:

PWC_{150}-Index: (Watt bei Erreichung eines Pulses von 150 bpm) / (Körpergewicht in kg)

Anmerkung: bpm = beats per minute

10.3.2.1. Prinzipien und Methode der Impedanzkardiographie

In der vorliegenden Arbeit wird die Impedanzkardiographie als Methode zur Bestimmung hämodynamischer Parameter, v.a. des kardialen Outputs (CO) verwendet.
Das noninvasive, hämodynamische Monitoring anhand der Methode der Impedanzkardiographie stellt eine anerkannte Methode zur Erfassung des hämodynamischen Status und der ventrikulären kardialen Funktion nicht nur im klinischen Setting, sondern auch in der psychophysiologischen Forschung dar (z.B. Neumann & Waldstein, 2001; Matthews et al., 2003). Die Impedanzkardiographie wurde um 1930 entwickelt, aber erst in den späten 1960ern ausführlich bei der „National Aeronautics Space Administration“ eingesetzt, um hämodynamische, kardiale Funktionen während des Apollo-Flugs zu überwachen.

Die Impedanzkardiographie ist einzuordnen in impedanzplethysmographische Methoden, welche Volumen und Blutflussveränderungen im Körper anhand von Veränderungen des elektrischen Widerstands messen (Sherwood et al., 1990).
Physikalische Grundlage der Impedanzkardiograhie ist die Bestimmung des elektrischen Widerstands im Thorax. Der elektrische Widerstand ist bekanntlich nach dem Ohm´schen Gesetz definiert als Verhältnis zwischen der an einem elektrischen Leiter anliegenden Spannung U und dem daraus resultierenden Strom I ($R = U / I$).
Aufgrund physiologischer Gegebenheiten im Thorax wird dieser Widerstand durch einen hochfrequenten Wechselstrom bestimmt, so dass man hier von elektrischer Impedanz spricht. Die Impedanz Z setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: dem Ohmschen Widerstand R und dem frequenzabhängigen Wechselstromwiderstand X ($Z = R + X$).
Bei der Berechnung hämodynamischer Parameter aus der thorakalen Impedanz spielt der frequenzabhängige Widerstand keine erkennbare Rolle, so dass in der Impedanzkardiographie nur der Betrag der Impedanz Verwendung findet. Der Betrag der Impedanz wird nach der Formel: $|Z| = U_{max} / I_{max}$, berechnet, wobei U_{max} bzw. I_{max} die Spitzenwerte der Spannung und des daraus resultierenden Stroms sind.

Was die physiologischen Grundlagen angeht, so haben verschiedene Gewebe unterschiedliche elektrische Impedanzen. Blut besitzt dabei eine wesentlich geringere Impedanz als Muskel-, Binde- oder Fettgewebe. Das Herz selbst hat – trotz des in ihm vorhandenen Blutes und des gut durchblutenden Myokards – aufgrund des Epikards eine relativ hohe Impedanz (Sherwood et al., 1990; Fahrenberg, 2001).

Pumpt der linke Ventrikel während der Systole Blut in die Aorta, so wird ein beträchtlicher Teil des Schlagvolumens von der Aorta und ihren großen Ästen aufgenommen (sog. Windkesselfunktion der Aorta). Dadurch kommt es zu einer Abnahme der elektrischen Impedanz im Thorax. Diese Impedanzänderung beträgt etwa 0.5 % des unveränderlichen Impedanzanteils (Grundimpedanz Z_0 in ohm) und kann über Elektroden gemessen werden, die am Hals und am Thorax appliziert werden. Die durchschnittliche elektrische Impedanz im Thorax wird als Grundimpedanz Z_0 bezeichnet. Verschiedene leitende Komponenten im Körper tragen zu Z_0 bei. Luft etwa ist ein schlechter Leiter, so dass während der Inspiration die Grundimpedanz steigen wird. Einen wesentlichen Beitrag zur thorakalen Impedanz liefern auch die Lunge und die Form des Brustraums, so dass – vor allem bei tiefer Atmung – Inspiration und Exspiration deutlich im Impedanzsignal zu erkennen sind (Sherwood et al., 1990).
Da Blut und sonstige Flüssigkeiten im Thorax gute Leiter darstellen, führt eine Akkumulation von Flüssigkeit zu einem Abfall von Z_0. Eine übermäßige Ansammlung von Flüssigkeit im Thorax führt zu einem deutlichen Abfall der Grundimpedanz Z_0, so dass Z_0 medizinisch als Indikator des extra-zellulären Flüssigkeitsvolumens in Relation zur Körpermasse verwendet wird, was auf pulmonale Schädigungen wie Lungeninfiltrate oder pulmonale Ödeme schließen lässt (Buell, 1988).
Blut stellt nun die elektrisch leitfähigste Substanz im Thoraxgewebe dar. Der spezifische Widerstand des Blutes wird u.a. auch von dessen Gehalt an Erythrozyten und deren Anordnung bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten bestimmt. Deshalb beeinflussen diese Faktoren auch die Impedanzänderung während der Systole (Sherwood et al., 1990). Zudem haben Skelettsystem und Gewebezusammensetzung Einfluss auf die thorakale Impedanz.
In modernen Systemen gelingt es durch umfangreiche mathematische Routinen, das Atemsignal zu erkennen und ohne Beeinträchtigung der kardialen Komponente zu beseitigen, so dass es sich nicht störend auf die Berechnung des Schlagvolumens auswirkt. Wird nun bei jedem Herzschlag Blut in die aszendierende Aorta gepumpt, finden somit Schwankungen in der thorakalen Impedanz als Funktion der Veränderungen des Blutvolumens statt (Sherwood et al., 1990; Bernstein, 1989). Diese oszillierenden Baseline-Veränderungen der totalen thorakalen Impedanz (Z_0 in ohm) werden nunmehr als pulsatile

Abweichungen (Verminderung) der Impedanz (ΔZ) dargestellt. Dieser Kurvenverlauf wird dann durch die Bildung der ersten mathematischen Ableitung in den typischen Kurvenverlauf der IKG-Kurve transformiert (dZ/dt) (siehe auch Abbildung 10.7., siehe unten), anhand derer die wichtigen Kurvenpunkte zur Bestimmung der Systolenzeiten (Präejektionsperiode: PEP in ms, linksventrikuläre Ejektionsperiode: LVET in ms) gewonnen werden können (Sherwood et al., 1990; Fahrenberg, 2001).
Die elektromechanische Systole des Herzens umfasst das gesamte Zeitintervall vom Beginn der elektrischen Depolarisation der Ventrikel bis zur Beendigung der Ejektion des Bluts aus dem linken Ventrikel. Die elektromechanische Systole wird in zwei Zeitintervalle untergliedert: die: Präejektionsperiode (PEP) und die linksventrikuläre Ejektionsperiode (LVET).
Die PEP repräsentiert die Zeitspanne vom Beginn der elektrischen Stimulation bis zum Öffnen der Aortenklappe und zeigt die myokardiale Leistung während der isovolumetrischen Kontraktionsperiode an; reflektiert also die kritische Periode, in der die Kontraktionskraft des linken Ventrikels generiert wird (Sherwood et al., 1990). Die LVET umfasst die Zeit zwischen dem Öffnen und dem Schluss der Aortenklappe und repräsentiert die myokardiale Performanz während der Periode der ventrikulären Ejektion.
PEP hat sich in zahlreichen tier- sowie humanexperimentellen Untersuchungen, bei konstanter Lage des Körpers, als sensitiver Indikator der beta-adrenergen, efferenten Aktivität der Herzens (e.g. Sherwood et al., 1990; Schächinger et al., 2001; Neumann & Waldstein, 2001; Matthews et al., 2003) und des zentralnervös regulierten sympathischen Tonus erwiesen (e.g. Berntson et al., 1994; Cacioppo et al., 1994).

Die dz/dt-Amplitude ist nachweislich proportional zum Schlagvolumen und bei bekannter Herzrate kann daraus der kardiale Output berechnet werden (Lovallo et al., 1993; Kubicek, 1989). Das Schlagvolumen (SV) ist das Blutvolumen, das mit jedem Herzschlag aus dem linken Ventrikel ausgeworfen wird und gilt als Indikator des intravaskulären Flüssigkeitsstatus. Der kardiale Output (CO) stellt das Blutvolumen dar, das pro Minute aus dem linken Ventrikel gepumpt wird, und wird deshalb auch als Herzminutenvolumen bezeichnet.
Aus der dz/dt-Kurve können zudem weitere zahlreiche Indikatoren der myokardialen Kontraktilität und Pumpkapazität gewonnen werden: z.B. Heather Index (HI), mittlere systolische Ejektionsrate (MSER), Akzelerationsindex (AI), Ejektionsfraktion (EF) und einige andere Parameter sowie das end-diastolische Volumen als ein Indikator der kardialen Vorlast (Sherwood et al., 1990).

Bei der eigentlichen Messung der thorakalen Impedanz wird ein physiologisch unbedenklicher Strom (2.5 bis 4 mA; 70 bis 100 kHz) durch den Thorax geleitet und die daraus resultierende Spannung gemessen.

In dem hier verwendeten System „Cardioscreen“ wird die in Abbildung 10.6. dargestellte Elektrodenanordnung verwendet.

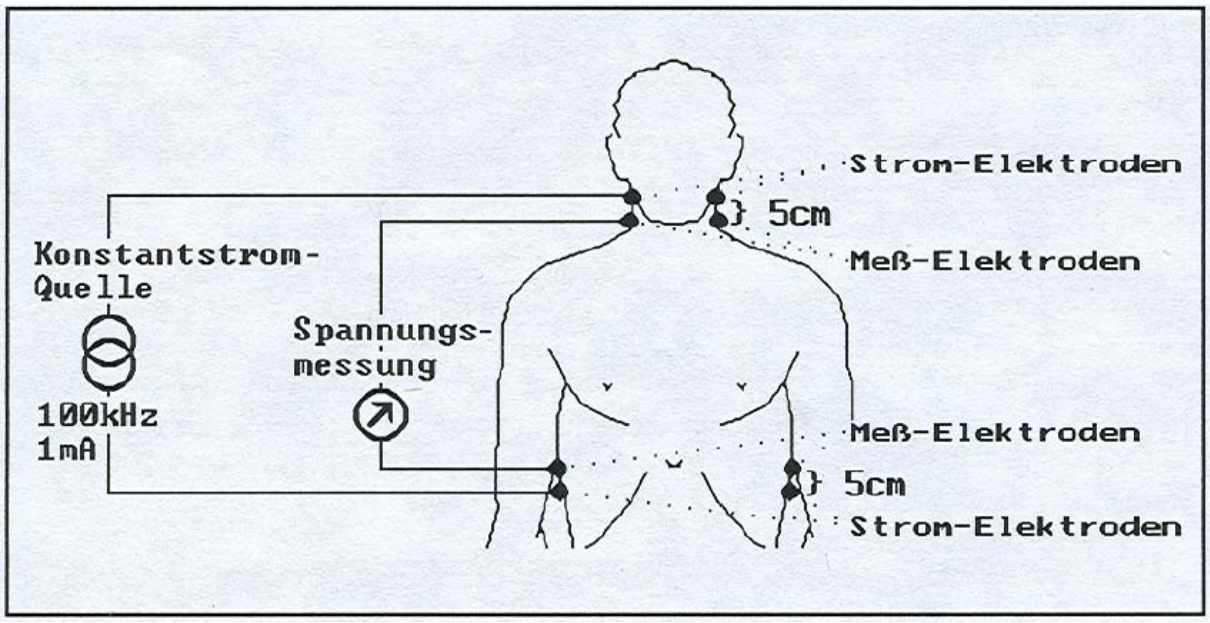
Die Elektroden sind paarweise miteinander gekoppelt, damit das zur Impedanzbestimmung verwendete elektrische Feld möglichst homogen ist.

Über die äußeren Elektrodenpaare (sog. Stromelektroden) wird in den Körper ein geringer, nicht spürbarer und physiologisch unbedenklicher Strom eingespeist. Dieser Strom verursacht eine geringe elektrische Spannung, die mit den inneren Elektrodenpaaren (sog. Mess-Elektroden) gemessen wird. Gleichzeitig kann über diese Elektroden das zur Auswertung des Impedanzsignals notwendige EKG abgeleitet werden.

Vor allem die Platzierung der Messelektroden ist für die Berechnung des Schlagvolumens von wesentlicher Bedeutung und sollte möglichst exakt eingehalten werden. Die oberen Messelektroden werden an der linken bzw. der rechten Halsseite am Nackenansatz befestigt, und die unteren Messelektroden an der lateralen Thoraxwand in der mittleren Axillarlinie in Höhe des Xiphoids.

Die Stromelektroden, welche den Messelektroden zugeordnet sind, werden im Abstand von 5 cm direkt über bzw. unterhalb derselben angebracht.

Abbildung 10.6. Elektrodenanordnung und Messprinzip der Impedanzkardiographie



(aus: Klocke & Breuel, 2000)

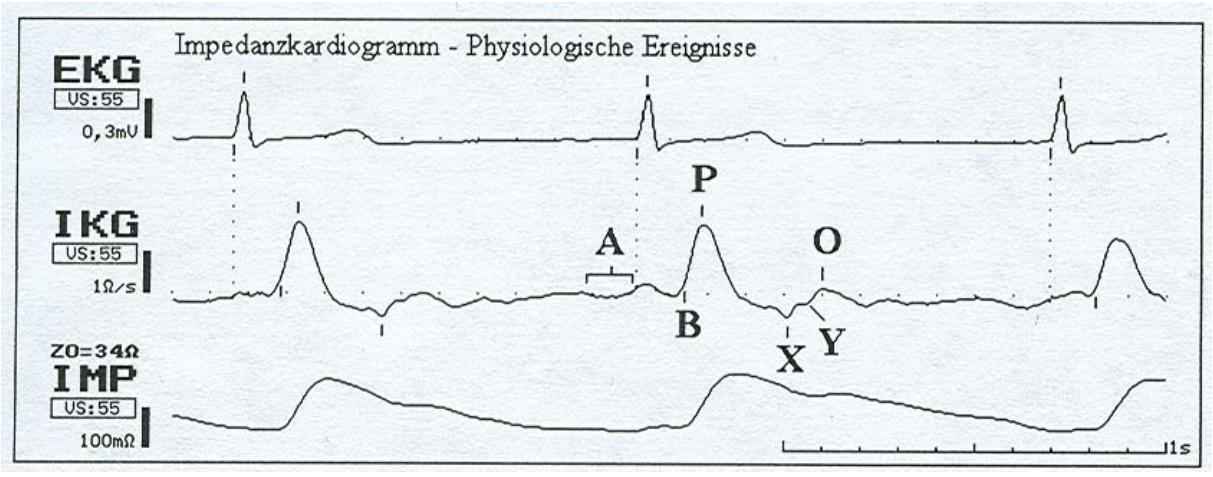
Klocke und Breuel (2000) legen nahe, dass die im Cardioscreen angewendete 4-Elektroden-Messtechnik mit paariger Elektrodenanordnung spezifische Vorteile bietet. Zum einen wird durch die paarige Anordnung der Elektroden ein annähernd homogenes elektrisches Feld erzeugt, sowie sind die Übergangsimpedanzen bei der Ankopplung der Elektroden an die Haut vernachlässigbar. Zum anderen herrschen dadurch gleichmäßig gute Ableitbedingungen auch bei Langzeituntersuchungen und es werden nur übliche EKG-Spot-Elektroden benötigt.

Klassischerweise wird das IKG zumeist mit sogenannten Bandelektroden abgeleitet, welche ganz um Hals oder Thorax gelegt werden (z.B. Fahrenberg, 2001), und zudem wird ein Phonokardiogramm mit abgeleitet. Letzteres sorgt für eine zusätzliche exakte Registration der Herztöne, welche für die Bestimmung der physiologischen Marker: Öffnen und Schluss der Aortenklappe, wichtig sind.

Im verwendeten System „Cardioscreen“ wird keine zusätzliche Bestimmung über das Phonokardiogramm durchgeführt, sondern es werden die entsprechenden Kurvenpunkte der dz/dt-Kurve mathematisch aus dem Kurvenverlauf bestimmt. Einen ausführlichen Überblick über die Problematik der Determination der Kurvenpunkte findet sich bei Fahrenberg (2001). Weitere methodische Richtlinien des IKG beschreiben Sherwood et al. (1990).

Abbildung 10.7. zeigt das abgeleitete herzschlagsynchrone Impedanzsignal und EKG sowie IKG.

Abbildung 10.7. EKG, Impedanzsignal (IMP) und IKG



(aus: Klocke & Breuel, 2000).

Durch Bildung der ersten mathematischen Ableitung des Impedanzsignals ergibt sich der als IKG (Impedanzkardiogramm) bezeichnete Kurvenverlauf mit folgenden Kurvenpunkten:

A bezeichnet die Vorhofkontraktion
B die Öffnung der Aortenklappe
P den maximalen systolischen Fluss
X den Aortenklappenschluss
Y den Pulmonalklappenschluss
O die Öffnung der Mitralklappe

Wie erwähnt, können sodann anhand der drei Kurvenpunkte B, P und X, der Grundimpedanz Z_0 sowie der Grüße, und dem Gewicht des Probanden Schlagvolumen (SV), Herzminutenvolumen (kardialer Output, CO) sowie systolische Zeitintervalle (PEP, LVET) und verschiedene weitere Parameter zur Beschreibung der Herzfunktion bestimmt werden.
Nach diesem zusammenfassenden Überblick über die wesentlichen Mechanismen der Impedanzkardiographie, möchte ich nun mit der weiteren Beschreibung der Auswertung des Ergometer-Versuchs fortfahren.

10.3.3. Datenreduktion und Analyse

Geschlecht und Alter und PWC_{150}-Index

Die Stichprobe wurde auf mögliche Unterschiede in der Verteilung des Alters und Geschlechts geprüft, um auszuschließen, dass diese Variablen einen Effekt auf unsere Ergebnisse zeitigen könnten.
Für die Testung auf unterschiedliche Geschlechtverteilung in den Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer wurde ein Chi^2-Test durchgeführt, und eventuelle Altersunterschiede wurden anhand eines t-Tests für unabhängige Stichproben geprüft.
Besonders wichtig war die Prüfung eventuell vorhandener Gruppenunterschiede in der individuellen Fitness, welche anhand des PWC_{150}-Index stattfand. Dazu wurde ebenfalls ein t-Test für unabhängige Stichproben berechnet.

Analyse der zurückgelegten Strecke im Ergometer-Belastungs-Versuch

Um die Hypothese zu testen, ob sich gute und schlechte Herzwahrnehmer in ihrer körperlichen Anstrengung bzw. der behavioralen Kontrolle im Ergometer-Belastungs-Versuch unterschieden, was zum einen anhand der Variablen „zurückgelegte Strecke“ in km operationalisiert wurde, wurde eine einfaktorielle ANOVA mit dem Zwischen-Subjekt-Faktor „Gruppe“ durchgeführt.

Um den Einfluss der körperlichen Fitness auf die „zurückgelegte Strecke“ zu kontrollieren wurde zudem eine Kovarianzanalyse mit „Gruppe“ als Zwischensubjektfaktor und „PWC_{150}-Index“ als Kovariate berechnet.
Bei Verletzungen der Sphärizitätsannahme werden unangepasste Freiheitsgrade mit Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet.
Zudem wurde der Zusammenhang zwischen „zurückgelegter Strecke“ und Herzwahrnehmungsfähigkeit anhand non-parametrischer Spearman-Brown Korrelationen (r_s) getestet.

Analyse der physiologischen Anstrengung: Herzrate und kardialer Output

Zur Prüfung der Hypothese, ob sich gute und schlechte Herzwahrnehmer während des Ergometer-Belastungs-Versuchs auch in ihrer physiologischen Anstrengung voneinander unterschieden, wurde die mittlere Herzrate (HR) und der kardiale Output (CO) in dieser Zeitspanne analysiert. Für diese Zwecke wurden Differenzwerte zwischen den individuellen Werten der Herzrate und von CO während des Ergometer-Belastungs-Versuchs und den während der 5-minütigen, in Ruhe aufgezeichneten jeweiligen Baseline-Werten gebildet.
Für die Differenzwerte der HR und von CO wurden jeweils einfaktorielle ANOVAs mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ berechnet. Um auch hier den Einfluss der körperlichen Fitness auf die „zurückgelegte Strecke“ zu kontrollieren wurde zudem eine Kovarianzanalyse mit „Gruppe“ als Zwischensubjektfaktor und „PWC_{150}-Index“ als Kovariate berechnet.
Bei Verletzungen der Sphärizitätsannahme werden unangepasste Freiheitsgrade mit Greenhouse-Geisser korrigierten p-Werten berichtet.
Der Zusammenhang zwischen Veränderungen der Herzrate, des kardialen Outputs und der Herzwahrnehmungsfähigkeit wurde anhand non-parametrischer Spearman-Brown Korrelationen (r_s) getestet.

10.3.4. Ergebnisse

Geschlecht, Alter und PWC_{150}-Index

Gute und schlechte Herzwahrnehmer unterschieden sich nicht signifikant in der Geschlechterverteilung ($Chi^2 = 0.23$, $df = 1$, $p > 0.05$) (siehe Tabelle 10.4.) und ebenfalls nicht signifikant im Alter (gute Herzwahrnehmer: $M = 26.0$, $SD = 7.1$; schlechte Herzwahrnehmer: $M = 27.2$, $SD = 7.3$; $t = - 0.91$, $df = 32$, $p > 0.05$).
Die Gruppen der guten und schlechten Herzwahrnehmer unterschieden sich auch nicht in ihrer physiologischen Fitness (PWC_{150}-Index), wie im Fitness-Test untersucht worden war

(gute Herzwahrnehmer: M = 3.19, SD = 0.52; schlechte Herzwahrnehmer: M = 3.23, SD = 0.61); t = - 0.19, df = 32, p > 0.05).

Tabelle 10.4. Häufigkeitstabelle der Geschlechterverteilung in den Gruppen guter und schlechter Herzwahrnehmer

	Männer	Frauen	Total
Gute Herzwahrnehmer	9	11	20
Schlechte Herzwahrnehmer	6	8	14
Total	15	19	34

„Zurückgelegte Strecke" im Ergometer-Belastungs-Versuch

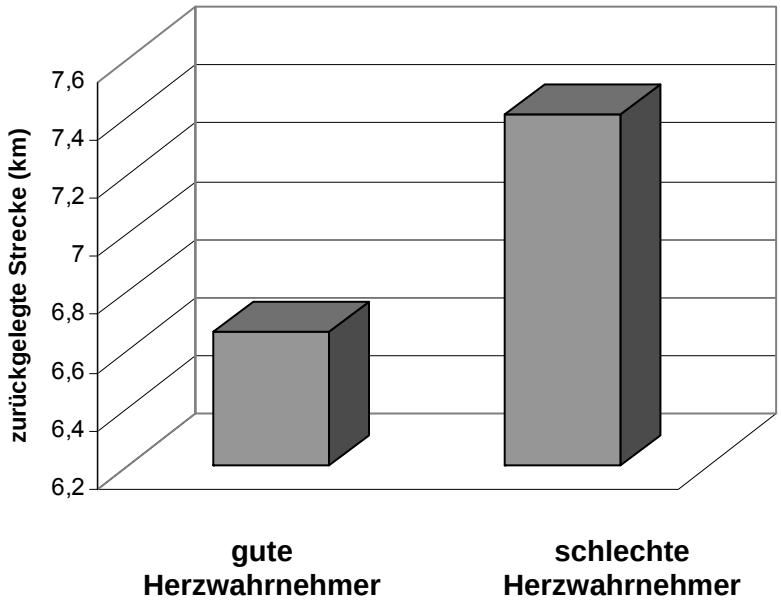
a) *Varianzanalytische Ergebnisse*

Konform zur aufgestellten Hypothese ergab die statistische Analyse der zurückgelegten Strecke, dass *gute Herzwahrnehmer eine signifikant kürzere Strecke (M = 6.66 km, SD = 0.58 km)* – ca. 10 % kürzer - in den vorgegeben 15 Minuten - in denen frei gewählt werden konnte, wie schnell sie radeln wollten - *zurücklegten als schlechte Herzwahrnehmer (M = 7.41 km, SD = 0.97 km) (F (1, 32) = 6.56, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.20)* (siehe Abbildung 10.8.).

Auch die Kovarianzanalyse mit dem Faktor „Fitness" (PWC_{150}-Index) als Kovariate ergab keine Veränderung der Ergebnisse. Es zeigte sich nach wie vor ein signifikanter Haupteffekt „Gruppe" (F (1, 31) = 6.32, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.20). Der Faktor „Fitness" hatte keinen Einfluss auf die Ergebnisse (F (1, 31) = 0.15, p > 0.05, partielles eta^2 = 0.005) und es gab keinerlei signifikante Interaktion „Gruppe x PWC_{150}-Index" (F (1, 30) = 0.004, p > 0.05, partielles eta^2 = 0.0001).

Das bedeutet, *dass unabhängig vom Fitness-Status, der die Ergebnisse absolut nicht beeinträchtigte, gute Herzwahrnehmer deutlich langsamer geradelt sind, also eine kürzere Strecke in der festgelegten Zeit von 15 Minuten zurücklegten, als schlechte Herzwahrnehmer.*

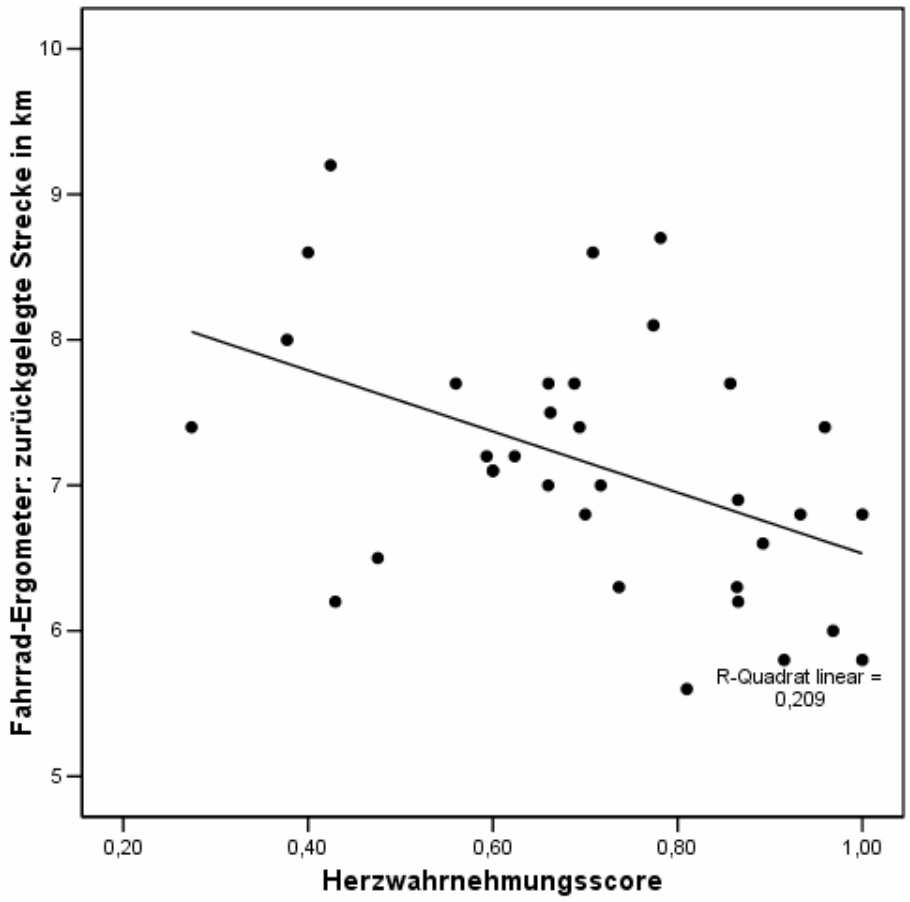
Abbildung 10.8. „Zurückgelegte Strecke“ in km im Fahrrad-Ergometer-Versuch der guten und schlechten Herzwahrnehmer



b) Korrelationsstatistik

Die Berechnung einer *Spearman-Rho Korrelation zwischen der zurückgelegten Strecke in km und dem Herzwahrnehmungsscore zeigte einen signifikant negativen Zusammenhang* (r_s *= - 0.46, p > 0.01)*, welcher in Abbildung 10.9. (nächste Seite) dargestellt ist. Dieses korrelative Ergebnis stützt somit das varianzanalytische Ergebnis der Untersuchung. Der Determinationskoeffizient (r^2 = 0.21) zeigte, dass die Herzwahrnehmungsfähigkeit bei linearem Zusammenhang 21 % der Varianz des Faktors „zurückgelegte Strecke“ erklärte.

Abbildung 10.9. Korrelativer Zusammenhang zwischen der „zurückgelegten Strecke“ (in km) im Ergometer-Belastungs-Versuch und Herzwahrnehmungsscore



Physiologische Anstrengung (Herzrate, kardialer Output)

a) Varianzanalytische Ergebnisse

Die statistische Analyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in den Differenzwerten der mittleren Herzrate (HR) und des kardialen Outputs (CO).

Gute Herzwahrnehmer (M = 38.55 bpm, SD = 17.77 bpm) zeigten eine signifikant geringere Herzratenakzeleration während des Ergometer-Belastungs-Versuchs als schlechte Herzwahrnehmer (M = 50.09 bpm, SD = 11.32 bpm) (F (1, 32) = 5.38, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.14).

Gleichermaßen zeigten die *guten Herzwahrnehmer (M = 3.35 l/min, SD = 1.38 l/min) einen signifikant geringeren Anstieg des kardialen Outputs (CO) als schlechte Herzwahrnehmer (M = 5.53 l/min, SD = 2.83 l/min) (F (1, 32) = 6.63, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.17).*

Die Berechnung von Kovarianzanalysen für die Veränderung in Herzrate und kardialem Output mit „Gruppe“ als Zwischensubjektfaktor und „PWC_{150}-Index“ als Kovariate ergab *keine Beeinflussung der Ergebnisse durch den Fitness-Status*. Die Ergebnisse der Kovarianzanalyse sind in Tabelle 10.5. dargestellt.

Tabelle 10.5. Ergebnisse der Kovarianzanalysen mit dem Zwischensubjektfaktor „Gruppe“ und der Kovariaten „PWC_{150}-Index“

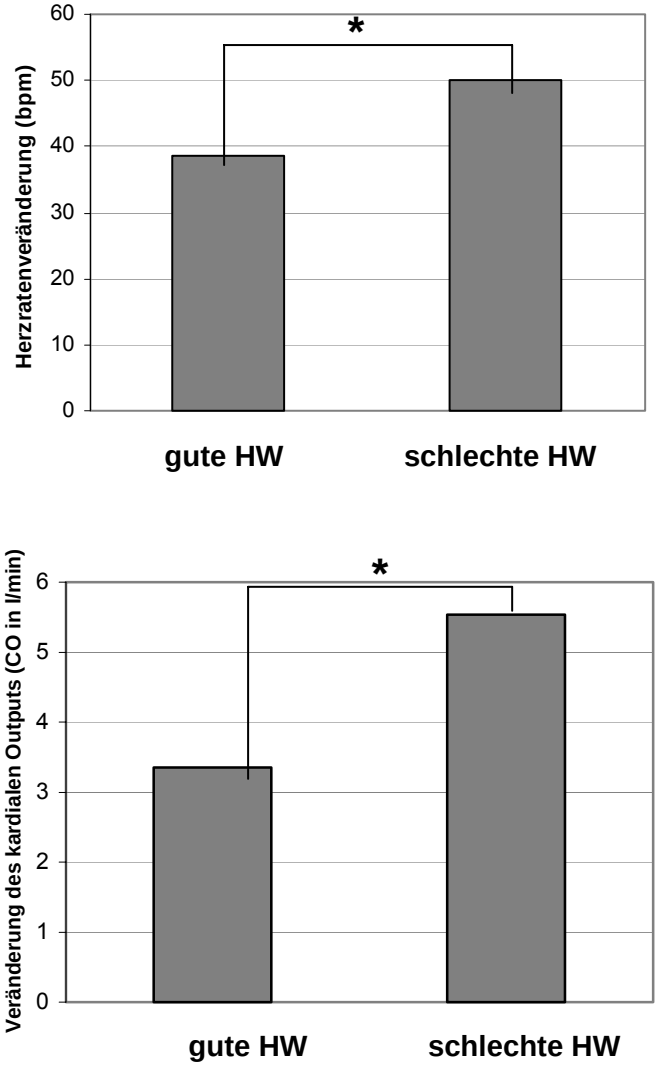
	Haupteffekt „PWC_{150}-Index“	**Haupteffekt „Gruppe“**	**Interaktionseffekt „Gruppe x PWC_{150}-Index**
HR	F (1, 31) = 0.12, p > 0.05, partielles eta^2 = 0.004	F (1, 31) = 5.17, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.15 *	F (1, 30) = 1.6, p > 0.05, partielles eta^2 = 0.05
CO	F (1, 31) = 0,22, p > 0.05, partielles eta^2 = 0.007	F (1, 31) = 6.38, p < 0.05, partielles eta^2 = 0.17 *	F (1, 30) = 0.04, p > 0.05, partielles eta^2 = 0.002

Die Ergebnisse sind in Abbildung 10.10. (nächste Seite) nochmals graphisch veranschaulicht.

Gute und schlechte Herzwahrnehmer unterschieden sich des Weiteren nicht signifikant in ihren Baseline-Ruhe-Werten von CO und HR (HR: F (1, 32) = 1.90, p > 0.05; CO: F (1, 32) = 0.93, p > 0.05; SV: (F (1.32) = 3.12, p > 0.05).

Die Befunde für die signifikanten Gruppenunterschiede in den Veränderungswerten von HR und CO unterstützen die Hypothese, dass sich gute Herzwahrnehmer in der Tat während des Ergometer-Belastungs-Versuchs physiologisch weniger stark belastet haben. Dieses Ergebnis kann ebenfalls nicht auf Gruppenunterschiede in der physiologischen Fitness zurückgeführt werden!

Abbildung 10.10. Veränderungswerte der mittleren Herzrate (HR) und des kardialen Outputs (CO) während des „Ergometer-Belastungs-Versuchs“ bei guten und schlechten Herzwahrnehmern



b) Korrelationsstatistik

Die Berechnung von Spearman-Rho Korrelationen demonstrierte einen *signifikant negativen Zusammenhang zwischen den Veränderungswerten des kardialen Outputs (r_s = -0.40, $p < 0.01$) und dem Herzwahrnehmungsscore*. Die Korrelation zwischen *Herzratenveränderungswerten und Herzwahrnehmungsscore war ebenfalls signifikant negativ (r_s = -0.30, $p < 0.05$)*. Das bedeutet, dass ein höherer Herzwahrnehmungsscore mit einem geringeren Anstieg in den genannten Parametern einherging.
Die korrelativen Befunde stützen somit wiederum die varianzanalytischen Ergebnisse.

Zudem zeigte sich, dass auch *die zurückgelegte Strecke im Ergometer-Versuch durchgängig signifikant positiv mit den Veränderungen der Herzrate ($r = 0.42$, $p < 0.01$) und des kardialen Outputs ($r = 0.50$, $p < 0.01$)* korrelierte. Dies zeigt an, dass eine weiter zurückgelegte Strecke mit höheren kardialen Werten dieser Variablen einherging. Auch dies bedeutet letztlich, dass die physiologische Anstrengung, wie sie hier anhand der physiologischen Parameter zu erfassen versucht wurde, in der Tat auch als „Anstrengung" aufgefasst werden kann, und eher kaum mit grundsätzlichen Unterschieden zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in ihrer basalen kardiovaskulären Funktionsweise zu tun hat.

10.3.5. Zusammenfassung und Diskussion

Diese zweite Studie zur Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Verhaltensregulation bestätigte die formulierte Hypothese, dass gute Herzwahrnehmer aufgrund ihrer stärkeren Verfügbarkeit und Perzeption viszeraler Signale (somatischer Marker) eine stärkere behaviorale Selbst-Kontrolle ihrer körperlichen Anstrengung und Belastung zeigten als schlechte Herzwahrnehmer. Sie strengten sich während einer Situation, in der sie frei entscheiden konnten, wie stark sie sich körperlich belasten wollten, im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern physisch signifikant weniger stark an. Auch die signifikant negativen Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und der zurückgelegten Strecke bestätigten einen bedeutsamen negativen Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und Ausmaß der körperlichen Anstrengung.

Die Ergebnisse zeigten diesen Effekt nicht nur anhand der behavioralen Daten (zurückgelegte Strecke), sondern auch in den physiologischen Daten (Herzratenveränderungen, Veränderungen im kardialen Output) deutlich an. Gute Herzwahrnehmer demonstrierten in dem Ergometer-Belastungs-Versuch einen geringeren Anstieg der Herzrate und des kardialen Outputs als schlechte Herzwahrnehmer. Auch dieses Ergebnis wird durch signifikante negative Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und Veränderungen in der Herzrate und des kardialen Outputs unterstützt. Es besteht also auch hier ein bedeutsamer negativer Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und physiologischer Anstrengung.

Der kardiale Output gemessen anhand von Impedanzkardiographie hat sich in der Literatur als reliabler und valider Indikator der körperlichen Anstrengung bei körperlicher Belastung (z.B. Ergometer) erwiesen (Crisafulli et al., 2004; Pinosi, 2004; Tordi et al., 2004). Zudem ist anhand impedanzkardiographischer Verfahren eine akkurate Messung des kardialen Outputs während körperlicher Belastung möglich und üblich (Pinosi, 2004; Tordi et al., 2004). Dabei hat sich gezeigt, dass der kardiale Output bei gesunden Personen mit zunehmendem Sauerstoffverbrauch (VO(2)) während körperlicher Belastung ansteigt (Pinosi, 2004).

Dass unsere Ergebnisse, sowohl was das Verhaltensmaß für körperliche Anstrengung, nämlich die zurückgelegte Strecke, als auch die physiologischen Indikatoren von körperlicher Anstrengung (HR, CO) nicht durch eine unterschiedlich gute körperliche Fitness (PWC_{150}-Index der Gruppen bedingt waren, zeigten die Kovarianzanalysen sowie das Ergebnis, dass sich gute und schlechte Herzwahrnehmer ex ante nicht in ihrer körperlichen Fitness (PWC_{150}-Index) unterschieden. Dies und die hohe, signifikant positive Korrelationen zwischen der zurückgelegten Strecke und den physiologische Variablen (Herzratenakzeleration, Anstieg von CO) während des Ergometer-Belastungs-Versuchs unterstützen ganz klar die Interpretation sowohl des Verhaltensmaßes als auch der physiologischen Veränderungen als körperliche Anstrengung. Eine geringere zurückgelegte Strecke, also ein langsameres Radeln, war klar assoziiert mit einer geringeren Herzratenakzeleration und einem geringeren Anstieg des kardialen Outputs.

Zusammenfassend unterstützen somit sowohl das Verhaltensmaß „zurückgelegte“ Strecke als auch die hämodynamischen Variablen die Hypothese, dass gute Herzwahrnehmer eine geringere körperliche Anstrengung zeigten als schlechte Herzwahrnehmer.
Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen und erweitern die ersten Hinweise von Pennebaker & Lightner (1980), die erstmals gezeigt haben, dass die Selbst-Wahrnehmung internaler, körperlicher Reize mit einer verstärkten Selbst-Kontrolle der körperlichen Belastung einhergehen. Darüber hinausgehend hat die vorliegende Untersuchung deutlich demonstriert, dass Personen, welche eine sehr exakte Perzeption ihrer viszeralen, kardialen Signale besitzen (gute Herzwahrnehmer) – und zudem diese Signale ja nachweislich im Gehirn (ACC, insulärer Kortex, präfrontale Kortexregionen) intensiver verarbeiten (Pollatos & Schandry, 2004a; Pollatos, Kirsch & Schandry, 2005a; Pollatos et al., 2004b) – sich bei gegebener Möglichkeit zur Selbst-Kontrolle der eigenen körperlichen Belastung weniger stark verausgaben bzw. anstrengen, also eine feinreguliertere, behaviorale Selbstregulation ihrer körperlichen Bedürfnisse während körperlicher Belastung zeigen als, schlechte Herzwahrnehmer

Williamson et al. (1999) konnten zudem nachweisen, dass v.a. der insuläre Kortex während kardiovaskulären Arousals, induziert durch körperliche Belastung aktiviert wird. Die Aktivierung des insulären Kortex war dabei abhängig von der Intensität der körperlichen Belastung. Gute Herzwahrnehmer zeigen eine deutlich intensivere Aktivierung dieser „Struktur erster Ordnung“ (Damasio, 1999, 2000) während eines Herzwahrnehmungstests (Pollatos et al., 2004b). Der insuläre Kortex spielt für die Repräsentation viszeraler Signale, wie erörtert, eine sehr wichtige Rolle und ist eine wesentliche Schaltstelle afferenter Signale aus den Viszera (Kapitel 3; 3.2.4.1.). Insula und ACC werden zudem diskutiert als wichtige

Integrationszentralen bei der Koppelung von viszeralen, körperlichen Reizen und subjektiven Gefühlen (Kapitel 3.2.4.). Als Hauptintegrationsstruktur gilt der präfrontale Kortex, der als „Struktur zweiter Ordnung“ (Damasio, 1999, 2000) die wesentliche Verbindung schafft zwischen internen körperliche Signalen, bewusstem Erleben dieser Signale, Gefühlen und Verhaltensregulation (Damasio, 1999, 2000; Kapitel 3.2.4.4., Kapitel 5.1.4.). Verhaltensregulation bedeutet vornehmlich auch die Auswahl günstiger und weniger günstiger Verhaltensalternativen, anders ausgedrückt, „lustvoller“ und „unlustvoller“ Alternativen (Damasio, 1999, 2000).
Dass die Verhaltensregulation der körperlichen Belastung, die sich in der körperlichen Anstrengung zeigt, ebenfalls diesen „Auswahlkriterien“ unterliegt, liegt nahe. Auch hier scheint es diesen Mechanismus zu geben, der abhängig von der Verfügbarkeit somatischer Marker die behaviorale Regulation bzw. die Auswahl von Verhaltensalternativen, welche eher positiv oder negativ für den Organismus sind und erlebt werden können, fein-reguliert.

Aufbauend auf den Ergebnissen und die Theorie Damasios und auch von W. James, die die Bedeutung körperlichen Feedbacks bzw. „somatischer Marker“ für Verhaltensregulation herausstellen, kann man daher davon ausgehen, dass Kardiosensibilität bzw. interozeptive Sensitivität mit einer feineren, subtileren, behavioralen Selbst-Regulation körperlicher „Bedürfnisse“ während körperlicher Belastungssituationen assoziiert ist. Genauso wie in den Studien von Bechara (z.B. Bechara, 2004; Bechara et al., 2000; Kapitel 4.4.2.) zum Entscheidungsverhalten, welche zeigten, dass somatische Marker zu weniger riskanten, adäquateren behavioralen Entscheidungen und einer im Alltag relevanten, funktionierenden Verhaltensregulation (die etwa beeinträchtigt ist bei Patienten mit Läsionen des orbitofrontalen, ventromedialen Präfrontalkortex) bedeutsam beitragen, zeigte sich hier bei Personen mit hoher Kardiosensibilität eine vorsichtigere verhaltensregulatorische Kontrolle im Rahmen von körperlicher Belastung in einer alltagsnahen Situation.

Demnach kann man somit auch schlussfolgern, dass sich gesunde Personen mit sehr geringer interozeptiver Sensitivität bzw. Kardiosensibilität in Situationen, wie Sport und körperlichen Aktivitäten, welche physische Belastung implizieren, im Alltag mehr körperlich belasten als Personen mit hoher Kardiosensibilität, da sie nicht so leicht auf einen adaptiven Mechanismus, welcher durch die verstärkte Verarbeitung von somatischen Markern gefördert wird (siehe Damasio, 1999, 2000), zurückgreifen können, der die behaviorale Adaptation körperlicher Belastung erlaubt.

Diese Befunde können darüber hinaus für Patienten mit koronarer Herzkrankheit und anderweitigen kardialen Erkrankungen und Störungen von wesentlicher Bedeutung sein.

Frühere Studien von Kollenbaum und Mitarbeitern (Kollenbaum, 1990; Kollenbaum et al., 1994a,b) haben gezeigt, dass nicht nur die meisten gesunden Personen ihre Herzrate auf jeder körperlichen Belastungsstufe deutlich unterschätzen, sondern dass Patienten mit koronarer Herzkrankheit besonders an den oberen Grenzen medizinisch tolerierbarer körperlicher Belastung ihre körperliche Belastung und ihre kardialen Signale deutlich unterschätzen. Kollenbaum et al. (1994a) betonen, dass diese Patienten daher leicht das obere Limit medizinisch zumutbarer physischer Belastung überschreiten, sich somit deutlich überanstrengen und Gefahr laufen eine kardialen Attacke herauf zu beschwören. Kollenbaum et al. (1994b) zeigten zudem, dass eine körperliche, kardiovaskuläre Überbelastung am ausgeprägtesten bei denjenigen Patienten zu verzeichnen war, welche ihre Herzrate besonders schlecht wahrnahmen und stark unterschätzten. Besonders diese Patienten seien nach Kollenbaum et al. (1994b) anfällig für eine kardiale Überbelastung und damit einhergehender kardialer Komplikationen etwa während rehabilitativer, physikalischer Postinfarkt-Therapien.

Auf Grund der vorliegenden Myokardschädigung sind Patienten mit koronarer Herzerkrankung weitaus mehr auf eine zuverlässige Wahrnehmung von Frühwarnzeichen für Überlastung angewiesen, da bereits bei geringfügigen körperlichen Belastungen eine myokardiale Ischämie auftreten kann. Umso wichtiger ist für diese Patienten damit eine zuverlässige Interozeption von Belastungssignalen.

Die Erfassung der Kardiosensibilität bzw. interozeptiven Sensitivität könnte daher ein hilfreiches Verfahren sein, um besonders jene Patienten zu identifizieren, die ein besonders hohes Risiko aufweisen, sich körperlich im Alltag oder auch in physikalischen Therapien (Ausdauertraining) nach Infarktgeschehen zu stark zu belasten und überfordern.

Daneben gibt es auch weitere Anwendungsgebiete, welche von der hier aufgezeigten Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Verhalten profitieren könnten.

Um im Bereich kardialer Erkrankungen zu bleiben, zeigen umfassende Ergebnisse, dass es bei Patienten mit „akutem Herzsyndrom“ eine ganz beträchtliche Zeitverzögerung von fast 4 Stunden zwischen dem Beginn von Brustschmerzen und dem Aufsuchen medizinischer Hilfe gibt (Rasmussen et al., 2003). Diese Zeitverzögerung wird als ganz wesentlich beeinträchtigend für die Prognose im Falle eines akuten Infarktgeschehens angesehen. Des Weiteren fassen Sheifer et al. (2001) in einem Review über unerkannten (stillen) Myokardinfarkt zusammen, dass mindestens ein Viertel aller Herzinfarkte unerkannt bzw. still ablaufen. Die Autoren betonen, dass eine beeinträchtigte Symptomwahrnehmung scheinbar stark zu diesem Nicht-Erkennen beiträgt.

Für beide Prozesse könnte somit die interozeptive Sensitivität Wesentliches beitragen.

Auch für Diabetes-Patienten, welche auf eine regelmäßige Messung des Blutzuckers und regelmäßige Insulinzufuhr angewiesen sind, spielt die frühzeitige Detektion körperlicher Signale, wie sie etwa im Rahmen von Unter- oder Überzuckerung im Blut auftreten, ein ganz enorme Rolle. Auch im Rahmen sportlicher Aktivitäten bei dieser Patientengruppe ist es wichtig, interozeptive Signale wahrzunehmen, Symptome zu differenzieren und das Verhalten an den körperlichen Zustand anzupassen. Auch für diese Patienten stellt somit Interozeption und die Selbst-Regulation körperlicher Anstrengung ein wichtiges Thema dar.

Zudem haben Schandry & Weitkunat (1990) gezeigt, dass die interozeptive Sensitivität, nämlich die Kardiosensibilität, trainert werden kann. Ein Training der Herzwahrnehmung führte nicht nur zu einer besseren Wahrnehmung kardialer Signale sondern auch zu einer Intensivierung des HEP (Schandry & Weitkunat, 1990; siehe Kapitel 4.3.).
Training der Selbst-Wahrnehmung körperlicher Signale könnte, zumindest in einigen Fällen, eine Methode sein, um Patienten und auch gesunde Personen für die Detektion körperlicher Symptome zu sensitivieren und dadurch auch die Selbst-Kontrolle körperlicher Belastung zu verbessern, um so eine körperliche Überlastung zu vermeiden.
Entsprechend aussichtsreich hat sich bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung ein Training zur Verbesserung ihrer Interozeptionsfähigkeit erwiesen (Kollenbaum, 1990).

Zusammenfassend können die Befunde aus Studie 4 und 5 so beurteilt werden, dass Kardiosensibilität eine wichtige Rolle bei der behavioralen Selbst-Regulation sowohl psychischer, emotionaler als auch physischer, körperlicher Belastung spielt.

11. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem letzten Abschnitt möchte ich die Befunde der durchgeführten Studien nochmals kurz zusammenfassen und vor allem einen Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten geben, welche an die Resultate der hier durchgeführten Untersuchungen anknüpfen könnten.
Da in jeder der besprochenen Studien eine explizite Diskussion der jeweiligen Untersuchungen vorgenommen wurde, und kritische Aspekte der einzelnen Studien an entsprechender Stelle diskutiert wurden, ist dieses abschließende Kapitel nur noch als eine zusammenfassende Schlussfolgerung aus den Studien und deren Einordnung in einen größeren Forschungszusammenhang zu sehen.

Die empirischen Studien dieser Arbeit bauten auf theoretischen Aussagen von peripheren Emotionsmodellen von W. James und A. Damasio sowie auf empirischen Befunden zur zentralnervösen Verarbeitung körperlicher, viszeraler Aktivität auf, und sind als Fortführung der Interozeptionsforschung und der Erforschung der Bedeutung interindividueller Unterschiede in der interozeptiven Sensitivität (hier: Kardiosensibilität) für Emotionsverarbeitungsprozesse und Verhaltensregulation zu verstehen.
Die hier durchgeführten experimentellen Studien sind in ***drei Themenbereiche*** zu untergliedern: Studie 1 und Studie 2 beschäftigten sich mit der Beziehung zwischen Kardiosensibilität, subjektiv emotionalem Erleben und zentralnervöser Emotionsverarbeitung anhand ereigniskorrelierter Potentiale, während Studie 3 die Verbindung zwischen Kardiosensibilität und non-emotionalen Aufmerksamkeitsprozessen in einem visuellen Oddball-Paradigma anhand des EEGs untersuchte.
Der dritte Themensektor examinierte zuletzt die Assoziation zwischen Kardiosensibilität und der Verhaltensregulation, v.a. die behaviorale Regulation der psychischen, emotionalen (Studie 4) sowie der physischen Belastung (Studie 5).

Die ersten beiden Studien (Studie 1 und 2), welche kortikale Emotionsverarbeitungsprozesse untersuchten, haben zum einen gezeigt, dass eine gute interozeptive Signalverarbeitung (Kardiosensibilität) nicht nur signifikant mit einer ausgeprägteren Intensität des emotionalen Erlebens von emotionalen Bildern, sondern auch mit einer intensiveren zentralnervösen Verarbeitung dieser Bilder sowohl in späteren, höher-geordneten Prozessierungsschritten (P300 und Slow Wave) als auch in der frühen, sensorischen Verarbeitung visueller emotionalen Bilder (EPN) einhergeht.
Wie in den Diskussionen dieser Studien erörtert wurde, verweist dies zum einen auf ein zentralnervöses Verbindungsglied bzgl. des Zusammenhangs zwischen interozeptiver

Sensitivität und emotionalem Erleben, und zum anderen auf die Relevanz von Kardiosensibilität für die sensorische, visuelle Analyse emotionaler Reize.

Zudem haben diese Studien den auch in früheren Studien beobachteten Zusammenhang zwischen Herzwahrnehmung und dem „Arousal-Aspekt“ emotionaler Prozesse und emotionalen Erlebens beobachten können (z.B. Barrett et al., 2004, Pollatos et al., 2005b; Wiens et al., 2000).

Gute Herzwahrnehmer unterschieden sich von schlechten Herzwahrnehmern sowohl das Emotionserleben als auch die zentralnervöse Verarbeitung emotionaler Reize betreffend im Arousalniveau, d.h. der *Intensität,* des Emotionserlebens und der frühen und späten Emotionsverarbeitung.

Dies passt durchaus in die theoretischen Modelle von James (1884), Schachter & Singer (1961), sowie von Damasio (z.B. 1999, 2000). Vor allem Schachter & Singer (z.B. 1961) betonten, dass ein existierendes Arousal vorausgesetzt werden muss, welches für die Genese von Emotionen (Gefühle) notwendig ist, während die Richtung des Gefühls von der Attribution vorhandener Situationsaspekte abhängt. Auch Damasio (z.B. 1999, 2000) betont in seinen Ausführungen die Relevanz des Erregungsniveaus, des physiologischen Arousals auf relevante Reize hin, welches dem Gehirn dann als somatische Marker zur Verfügung stehen kann, um Gefühle, Emotionsverarbeitung und Verhalten zu regulieren.

Zusammen mit Studie 3**,** welche *keine* Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in der P300 ausgelöst auf non-emotionale visuelle Target und Non-Target-Reize eruierte, sprechen diese Ergebnisse deutlich für die Bedeutung der emotionalen Signifikanz bzw. des emotionalen Arousals in der Beziehung von Kardiosensibilität und Emotionserleben sowie Emotionsverarbeitung.

Damasio (1999, 2000) führt zwar aus, dass prinzipiell jede Alltagssituation eine emotionale Situation ist, und immer mit dem „Körper als Bühne“ (body loop) oder zumindest den Repräsentationen des Körpers im „Kopf“ (as if body loop) erlebt wird, jedoch spielt bei seinen Ausführungen über die Bedeutung von somatischen Markern besonders der Faktor des „Arousals“ im Gehirn als auch in der Körperperipherie und zuletzt als Feedback zurück zum Gehirn eine sehr wichtige Rolle (z.B. Damasio et al., 1991; Damasio, 1994, 1999, 2000; Bechara et al., 1997, 1999).

Dies entspricht letztlich auch den Aussagen der James´schen Theorie (Kapitel 2.2.), deren Fokus das emotionale Empfinden ist. Dort wird konstatiert, dass relevante, sprich *emotional signifikante* Reize zu körperlichen Reaktionen führen, welche sodann als das emotionale Gefühl vorliegen. Emotional wenig relevante oder irrelevante bzw. nicht-signifikante Reize können keine intensiven emotionalen Zustände (siehe Damasio, 1999, 2000) und kein intensives emotionales Erleben (James, 1884) reflektieren.

Die hier vorliegenden Resultate weisen daher darauf hin, dass die Beziehung zwischen Kardiosensibilität und Prozessierungsausmaß von bzw. Aufmerksamkeitsallokation auf externe Stimuli ganz wesentlich durch den Faktor ***Emotion bzw. emotionales Arousal*** beeinflusst ist.

An die Ergebnisse von Studie 1, 2, und 3 knüpfen nunmehr eine Reihe, bereits in den Diskussionen der Studien besprochene ***Aspekte*** an, ***welche einer weiterführenden Klärung und Forschungsarbeit bedürfen:***

Zum ersten wäre es zukünftig höchst interessant (siehe v.a. die Diskussion zu Studie 2), die Aktivierung innerhalb des emotionalen-interozeptiven Netzwerks bzw. des „central autonomic network“ (CAN) bei guten und schlechten Herzwahrnehmern während der visuellen Verarbeitung emotionaler Bilder zu untersuchen. Dies böte die Möglichkeit, exaktere Aussagen über die Beteiligung wesentlicher Hirnstrukturen bei der Top-Down sowie Bottom-Up Regulation in der Emotionsverarbeitung sowie Verhaltensregulation unter Beachtung interozeptiver Prozesse machen zu können.

Auch Berntson et al. (2003) betonen dies ebenfalls in ihrem Überblicksartikel zur Bedeutung aszendierender viszeraler Regulation auf Emotions- und Verhaltensprozesse:

„It is the broader conceptualization of the multiple levels of neuroaxial processing and the reciprocally interacting top-down and bottom-up processes that will likely yield the most fruitful advances in our basic understanding of neurobehavioural systems …” (Berntson et al., 2003, p. 2180.) und: *“Consequently, an important direction for future research is the elucidation of the multiple levels of organization in affective systems, and the reciprocal interaction among these levels of function*” (Berntson et al., 2003, p. 2108).

So habe ich insbesondere in Studie 2 darauf aufmerksam gemacht, dass gerade die schnelle, frühe sensorische Verarbeitung emotionaler Reize, welche bei guten Herzwahrnehmern über dem okzipitalen Kortex intensiver geschieht als bei schlechten Herzwahrnehmern, danach verlangt, herauszufinden, welche Bedeutung Interozeption für die Plastizität und für Veränderungen bzw. funktionelle und strukturelle Reorganisationsprozesse des emotionalen Netzwerks im Gehirn besitzt. Hierfür bieten sich, wie in Studie 2 (Diskussion) ausführlich besprochen, v.a. fMRI-Verfahren sowie morphometrische Analysen des Gehirns (z.B. anhand voxel-basierter Morphometrie) an, welche zum einen über funktionelle sowie zum anderen über strukturelle Veränderungen im Emotions-Interozeptionsnetzwerk des Gehirns Aufschluss geben könnten. Von besonderem Interesse wären auch so genannte „structural“ oder „functional equation models“, welche es erlauben,

Modelle über das funktionelle Zusammenwirken verschiedener, an einer bestimmten Funktion beteiligter Hirnstrukturen zu testen.
Um über die ebenfalls in Studie 2 (Diskussion) diskutierten Lernmechanismen in der Auseinandersetzung mit interozeptiven Signalen und deren Auswirkung auf das Emotionsverarbeitungsnetzwerk im Gehirn genaueres zu erfahren, könnte auf Befunde zurückgegriffen werden, die zeigten, dass Herzwahrnehmung trainierbar ist (Schandry, 1983) und ein Training der Herzwahrnehmung nicht nur die bewusste Wahrnehmung des eigenen Herzschlags verbessert, sondern auch die Intensität der kortikalen Verarbeitung des Herzschlags, reflektiert im HEP (Schandry & Montoya, 1994), intensiviert, sowie zudem das emotionale Erleben steigert (Schandry, 1983).
Um somit genaueren Einblick in funktionelle und strukturelle Veränderungsprozesse im Gehirn in Abhängigkeit von Kardiosensibilität zu erhalten, wäre es höchst interessant die funktionelle Aktivierung und auch morphologische Aspekte des Gehirns vor und nach einem Herzwahrnehmungstrainings zu untersuchen.
Besonders Befunde von Critchley et al. (2001) haben darauf aufmerksam gemacht, dass ein Fehlen der Rückmeldung viszeraler Signale aus dem Körper (wie dies bei PAF-Patienten der Fall ist) zu Reorganisationsprozessen im Emotions-Interozeptions-Netzwerk im Gehirn (geringere Aktivierung des cingulären Kortex, sowie in visuellen Kortizes) zu führen scheint. Somit kann davon ausgegangen werden, dass ähnliche funktionelle und evtl. auch strukturelle Unterschiede im Gehirn von guten und schlechten Herzwahrnehmern, bedingt durch eine unterschiedlich ausgeprägte Kardiosensibilität über die Lebensspanne existieren, welche Einfluss nehmen auf die Intensität der Emotionsverarbeitung, besonders auch in der frühen, visuellen konzeptuellen Analyse emotionaler Stimuli, wie dies Studie 2 nahe legt.

Dieser Ansatz, nämlich die potenzielle Manipulation der, in den meisten Studien konstant vorgefundenen, unabhängigen Variable „Herzwahrnehmungsfähigkeit“, wäre zudem eine einzigartige Möglichkeit die tatsächlich *„verursachende“* Wirkung der Kardiosensibilität auf emotionale Prozesse zu untersuchen. Das Training von Herzwahrnehmungsfähigkeit böte diese Möglichkeit. Üblicherweise, so wie es auch in dieser Arbeit stattfand, erlaubt die einmalige Untersuchung der Herzwahrnehmungsfähigkeit in Verbund mit interessierenden Indikatoren, welche mit Kardiosensibilität als assoziiert vermutet werden, nicht wirklich eindeutige Aussagen über die „verursachende“ Wirkung von Kardiosensibilität auf diese Indikatoren, sondern lässt nur Aussagen über einen korrelativen Zusammenhang diesbezüglich zu. Eine Manipulation der Variable „Herzwahrnehmung“, wie sie durch ein Training der Herzwahrnehmung möglich ist, könnte diese Explanationslücke schließen, indem Ergebnisse vor und nach dem Herzwahrnehmungstraining miteinander verglichen werden können.

Zum Zweiten macht vor allem der eruierte Unterschied innerhalb der Arousal-Dimension bzw. der Intensität des Emotionserlebens als auch der Emotionsverarbeitung zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern auf eine immer wieder diskutierte Problematik aufmerksam: So wird diesbezüglich häufig der Einwand laut, dass die Beziehung zwischen der Intensität des emotionalen Erlebens und somit auch der Emotionsverarbeitung und der Ausprägung an Kardiosensibilität nicht auf die bessere Interozeptionsleistung der Kardiosensiblen, sondern auf ein ausgeprägteres, präexistierendes *Arousalniveau* der guten Herzwahrnehmer zurückzuführen sei (z.B. Katkin, 1985; Wiens et al., 2000; Wiens, 2005). Wäre dies der Fall, so wäre es nicht möglich zu konstatieren, dass das eruierte intensivere emotionale Erleben sowie die intensivere zentralnervöse Verarbeitung emotionaler Stimuli bei guten Herzwahrnehmern auf deren bessere Kardiosensibilität zurückzuführen ist, sondern auf deren intensiveres physiologische Arousal (siehe Wiens et al., 2000; Katkin, 1985). Letzteres wurde, wie in Kapitel 4.4.1. dargestellt, anhand der Erhebung peripherer, autonom-nervöser Indikatoren zu erfassen versucht, wobei die Ergebnisse sowohl die autonom-nervöse emotionale Reaktivität als auch die autonome Ruheaktivität bei guten und schlechten Herzwahrnehmern betreffend bislang sehr heterogen sind (z.B. Eichler et al., 1987; Ferguson & Katkin, 1996; Hantas et al., 1982; Katkin et al., 1982; Wiens et al., 2000; Knapp-Kline et al., 2005; Ludwick-Rosenthal & Neufeld, 1985; Schandry, 1981).

Die berichteten, sehr heterogenen, äußerst spärlichen Studien, welche konkret Unterschiede in der physiologischen Reaktivität zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern während umschriebener emotionaler Situationen untersuchten, zeigten entweder eine stärkere sympathische Aktivität (Verkürzung der PEP; intensiverer Anstieg des kardialen Outputs) bei guten Herzwahrnehmern (Eichler et al., 1987) sowie eine bessere Herzwahrnehmung während der Betrachtung emotional aversiver Filme und eine dadurch ausgelöste stärkere Herzratendezeleration (Katkin et al, 1982). Wiens et al. (2000) konnten dagegen deutlich keinerlei Unterschiede in der Herzratenreaktivität auf emotionale Bilder zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern eruieren (Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000). Letzteres wurde als Zeichen für eine unabhängig vom physiologischen Arousal bedeutsame Beeinflussung des bei guten Herzwahrnehmern existierenden intensiveren Emotionserlebens interpretiert. In der Tat müssen subjektiv erlebte Erregung, sowie auch das Ausmaß der zentralnervösen Aktivierung, und peripher-physiologisches Arousal nicht unbedingt miteinander kovariieren, was sich in der Psychophysiologie häufig zeigt (z.B. (z.B. Blascovich, 1992). Man spricht entsprechend von einem „Decoupling“, also einer Entkoppelung (siehe Wiens, Mezzacappa, Katkin, 2000) dieser Funktionen. Gerade auf diesen Faktor hat ein hochaktuelles Review *„Interoception and emotional experience“* von Wiens (2005) im Rahmen dieser Diskussion aufmerksam gemacht (siehe auch Weins et al., 2000).

Andere Studienergebnisse, welche autonom-nervöse Indikatoren als Baseline oder während eines Herzwahrnehmungstests untersuchten (Kapitel 4.4.1.), verwiesen bislang auch auf sehr heterogene Befunde bzgl. der Verbindung von Kardiosensibilität und autonomer Aktivität in diesen Situationen. Befunde reichen von einer höheren Herzrate guter Herzwahrnehmer (Ludwick-Rosenthal & Neufeld, 1985) über keine Unterschiede in der Herzrate sowie in Spontanfluktuationen der Hautleitfähigkeit zwischen den Gruppen während einer Ruhemessung (Hantas et al., 1982; Schandry, 1981) bis zu einer niedrigeren Herzrate sowie einer geringeren Herzratenvariabilität (HRV), gemessen anhand der Standardabweichung (SD) der RR-Intervalle während eines Herzwahrnehmungstests (Herzratendetektionsaufgabe: Methode konstanter Stimuli) bei guten im Vergleich zu schlechten Herzwahrnehmern (Knapp-Kline & Kline, 2005).

Verantwortlich für die Heterogenität der bislang wenigen Befunde zur peripher-physiologischen Aktivität bei guten und schlechten Herzwahrnehmern sind m.E. zu einem großen Teil methodische Aspekte: So unterscheiden sich die bisherigen Studien zum einen in der Durchführung und Verwendung unterschiedlicher Tests zur Diagnose der Herzwahrnehmungsfähigkeit, aber auch in den verwendeten Indikatoren der viszeralen, autonom-nervösen Aktivierung sowie in der Anzahl der untersuchten Probanden (siehe auch Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000).

Gerade Studien, welche die mittlere Herzrate als Indikator benutzten, zeigten sehr uneinheitliche Befunde. Die mittlere Herzrate wird bekanntlich sowohl von sympathischer als auch vagaler Aktivierung kontrolliert, so dass damit keine spezifische Aussage zu möglichen Unterschieden zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in ihrer sympathischen und/oder vagalen Aktivierung möglich ist.

Bislang existiert noch keine veröffentlichte Untersuchung, welche die physiologische Aktivierung anhand von Methoden, welche eine Schätzung sympathischer kardialer Indikatoren (v.a. pre-ejection period –PEP- des Impedanzkardiogramms) sowie parasympathischer Indikatoren (hochfrequentes Band in der Power-Spektralanalyse der Herzratenvariabilität) ermöglichen, während emotionaler Stimulation bei guten und schlechten Herzwahrnehmern untersucht hätte.

Mit Wiens et al. (2000) ist somit zu fordern, dass eine ausführlichere Untersuchung anhand repräsentativer Methoden zur Untersuchung der autonom-nervösen Aktivierung in Verbindung mit größeren Stichproben nötig ist, um definitive Aussagen zu Unterschieden in der autonom-nervösen Aktivität zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern treffen zu können:

„Nevertheless, a more representative sample of physiological measures in combination with a larger sample size would be necessary in future studies to increase confidence in the

conclusion that the relationship between visceral self-perception and emotional intensity is not confounded by visceral activity" (Wiens, Mezzacappa & Katkin, 2000, S. 425).

Um also auszuschließen, dass die hier eruierten Resultate (Studie 1, 2) eines sowohl intensiveren Erlebens von Emotion als auch einer intensiveren, elaborierteren (P300, Slow Wave) sowie frühen, sensorischen zentralnervösen Verarbeitung (EPN) emotionaler Reize bei guten Herzwahrnehmern nicht nur auf ein erhöhtes physiologisches Arousal dieser Gruppe auf emotionale Stimuli, sondern vornehmlich auf die intensivere Signaltransmission von der Peripherie zum Gehirn und die besseren Verarbeitung dieser Signale zurückzuführen sind, sind weiterführende Studien notwendig, welche anhand differenzierterer psychophysiologischer Methoden die autonom-nervöse Reaktivität während emotionaler Stimulation in Abhängigkeit von Kardiosensibilität examinieren (siehe auch Wiens et al., 2000; Wiens, 2005).
Selbst wenn sich eine erhöhte autonom-nervöse Reagibilität bei guten Herzwahrnehmern zeigen sollte, so wäre es sehr wesentlich zu wissen, ob es sich dabei um eine erhöhte sympathische oder parasympathische Aktivierung handelte, da bislang eine Beeinflussung der Herzwahrnehmungsfähigkeit vorrangig über sympathische Mechanismen (z.B. Anstieg der kardialen Kontraktilität) nachgewiesen wurde (z.B. Bestler, Schandry, Weitkunat & Alt, 1990; Schandry, Bestler & Montoya, 1993; Katkin et al., 1982, 1985; Schandry & Specht, 1981).

Die Befunde, welche aus Studie 4a vorliegen, haben bereits ganz deutlich demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer in einem affektiven „Viewing Time" Paradigma eine stärkere Herzratendezeleration auf emotionale Bilder zeigten als schlechte Herzwahrnehmer, was im Sinne einer intensiveren, vagal vermittelten Reaktion und als stärkere Aufmerksamkeitszuwendung und Orientierungsreaktion auf diese Bilder bei guten Herzwahrnehmern verstanden werden kann (z.B. auch Katkin et al., 1982). Dies spricht deutlich gegen eine stärkere sympathische Aktivierung bei guten Herzwahrnehmern!
Bislang ist jedoch nicht geklärt, welche Beziehung zwischen der autonom-nervösen Reaktivität und der zentralnervösen Reaktivität auf emotionale Bilder bei guten und schlechten Herzwahrnehmern existiert, so dass nicht entschieden werden kann, inwieweit die sich hier andeutende stärkere vagale Reaktion bei guten Herzwahrnehmern, eine stärkere Aufmerksamkeitsreaktion auf Emotionsreize signalisierend, mit der zentralnervösen Verarbeitung von Emotionsreizen konkret korreliert ist.
Zum anderen ist auch noch unklar, ob gute Herzwahrnehmer auch während der Herzwahrnehmung (im Herzwahrnehmungstest) eine ausgeprägtere Herzratendezeleration,

eine erhöhte Aufmerksamkeitsausrichtung indizierend besitzen, welche die Herzwahrnehmung wiederum erleichtert, wie dies etwa Katkin et al. (1982) vermuteten.
Gegen eine generell stärkere Aufmerksamkeitsleistung und eine intensivere Orientierungsreaktion guter Herzwahrnehmer sprechen jedoch die Ergebnisse aus Studie 3, welche demonstrierten, dass Kardiosensibilität keine Beziehung zu der in einem visuellen Oddball gemessenen selektiven Aufmerksamkeit und Orientierungsreaktion auf non-emotionale, schlichte, neutrale Reize besitzt. Gegen präexistierende Unterschiede zwischen den Gruppen in der autonomen, kardialen Aktivität sprechen zudem die Befunde aus Studie 4a, welche zeigten, dass gute Herzwahrnehmer in Ruhe keine Unterschiede in ihrer Baseline-Herzrate besitzen.

Eine bislang bereits von der Autorin der vorliegenden Arbeit durchgeführte Untersuchung der sympathischen (PEP) und parasympathischen kardialen Reaktivität (Power-Spektralanalyse der HRV) guter und schlechter Herzwahrnehmer auf emotionale Bilder, während eines mentalen Stress-Tests sowie während einer Ruhebedingung (siehe Anhang) verdeutlicht erste Ergebnisse, welche ebenfalls sehr deutlich gegen eine stärkere sympathische, emotionale sowie Ruhe-Aktivierung guter Herzwahrnehmer sprechen (Herbert & Schandry, 2004). Somit kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den in Studie 1 und 2 eruierten Resultaten nicht unbedingt um sympathische Arousal-Effekte handelt. Was die vagale Aktivität angeht, so liegen bislang noch keine vollständig berichtbaren Resultate aus dieser Untersuchung vor. Dies wird jedoch in den nächsten Wochen der Fall sein, so dass auch hier bald Aufklarung möglich sein wird.
Jedoch sind dennoch, um definitive Aussagen bzgl. des hier geschilderten Problems zu ermöglichen, weitere Studien notwendig, welche eine gleichzeitige Messung und Analyse des emotionalen Erlebens sowie der zentralnervösen Aktivierung und der autonomen Aktivität bei denselben Probanden vornehmen, so dass eine statistische Analyse des Verhältnisses dieser Variablen untereinander ermöglicht wird. Dies ist eine wesentliche Aufgabe zukünftiger Studien.

Was den ***dritten Themenbereich der Arbeit,*** die Assoziation von ***Kardiosensibilität und Verhaltensregulation*** betrifft, so haben die diskutierten Ergebnisse der *Studien 4a,b und 5* demonstriert, dass gute Herzwahrnehmer sowohl eine vorsichtigere bzw. ihren Bedürfnissen angepasstere, behaviorale Regulation sowohl psychischer, emotionaler als auch physischer Belastung besitzen als schlechte Herzwahrnehmer (siehe ausführliche Diskussionen der Studien). Dies wurde v.a. im Rahmen der „Somatic Marker“ Theorie von Damasio diskutiert, wobei unsere Ergebnisse nahe legen, dass gute Herzwahrnehmer einen feiner abgestimmten verhaltensregulatorischen Mechanismus im Hinblick auf psychische sowie

physische Belastung oder Anforderung zu haben scheinen. Gute Herzwahrnehmer scheinen somit aufgrund ihres ausgeprägteren Feedbacks und ihrer besseren Perzeption viszeraler Signale einen ausgeprägteren „Präferenzmechanismus“ zu besitzen (siehe Damasio, 1999, 2000), so dass sie für sie unvorteilhafte oder riskante Situationen (z.B. starke emotionale Erregung oder starke körperliche Belastung) eher vermeiden bzw. regulieren können und sich ihren Bedürfnissen entsprechend verhalten können. Vor allem was die bessere behaviorale Selbst-Kontrolle der physischen Belastung und Anstrengung der guten Herzwahrnehmer betrifft, wurde darauf hingewiesen, dass dies deutliche Implikationen für klinische Patientengruppen (z.B. Post-Koronarinfarkt-Patienten, Patienten mit koronarer Herzerkrankung) besitzt, welche dazu neigen ihre körperliche Belastbarkeit zu überschätzen und somit Gefahr laufen, durch körperliche Überlastung kardiale Ereignisse heraufzubeschwören (z.B. Kollenbaum, 1990, 1994b, Kollenbaum et al., 1994a).
Zudem hat v.a. Studie 4b darauf hingewiesen, dass Kardiosensibilität mit einer schnelleren Beurteilung von emotionalen Stimuli als erregend oder neutral assoziiert ist, was an Befunde von Lane et al. (1995, 1998) anknüpft, welche die Bedeutung der Interozeption für „emotional awareness“ und die Detektion interner sowie externer emotionaler Reize betonten (siehe Kapitel 5.1.2.). Zusammen mit der eruierten, signifikant stärkeren Herzratendezeleration der guten Herzwahrnehmer können die kürzeren Viewing Times (Studie 4a) sowie die kürzere affektive Beurteilungszeit der Bilder (Studie 4b) der guten Herzwahrnehmer durchaus auch als eine schnellere Detektion und Informationsextraktion emotionaler visueller Reize interpretiert werden.

Für eine generelle, schnellere Stimulusdetektion und –evaluation der guten Herzwahrnehmer sprechen auch die Ergebnisse der Studie 3, welche demonstrierten, dass gute Herzwahrnehmer eine signifikant kürzere P3-Latenz auf Target- und Non-Target-Reize in einem visuellen Oddball-Paradigma besitzen, diese non-emotionalen Stimuli jedoch nicht intensiver verarbeiten als schlechte Herzwahrnehmer.

In Zusammenschau mit den Ergebnissen von Studie1 und Studie 4b könnte dies darauf hinweisen, dass gute Herzwahrnehmer visuelle, externe Reize schneller entdecken und prozessieren und gleichzeitig besser „entscheiden“ können, inwieweit diese Stimuli von emotionaler Bedeutung sind oder nicht. Nur wenn ein Reiz emotional relevant ist, so wird er, wie Studien 1 und 2 zeigen, entsprechend auch intensiver von guten Herzwahrnehmern verarbeitet und ihm werden mehr Aufmerksamkeitsressourcen gewidmet.

Diese Zusammenhänge sollten in weiterführenden Experimenten erhellt werden. Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit emotionaler, visueller Reize in Abhängigkeit von Kardiosensibilität könnte sehr gut in einem *emotionalen* Oddball-Paradigma untersucht werden (z.B. emotionale Bilder als Target-Reize), wobei die P-300-Latenz und die

Antwortgeschwindigkeit auf die Reaktion der Bilder als Indikatoren der affektiven Informationsverarbeitungs- und Detektionsgeschwindigkeit herangezogen werden können.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse zur Verhaltensregulation erstmals die Relevanz der Kardiosensibilität für eine adäquate und adaptive behaviorale Selbst-Regulation der psychischen als auch physischen Belastung und sprechen für die Ausführungen der „Somatic Marker“ Theorie Damasios.

Interessanterweise tragen diese Studienergebnisse aus den Verhaltensstudien (Studie 4 und 5) zu einem weiteren diskutierten Aspekt innerhalb der Interozeptionsforschung bei. So wird, neben der „Arousal-Debatte“ sehr häufig ein weiteres Argument angeführt, um eruierte Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und emotionalen Prozessen zu erklären. Ein intensiveres Erleben sowie eine verstärkte Emotionsverarbeitung der guten Herzwahrnehmer könnten so durch den Faktor ***„Motivation“*** vermittelt sein (siehe auch Wiens, 2005, Wiens et al., 2000). So konnten Weitkunat & Schandry (1990) zeigen, dass eine Manipulation der Motivation (Belohnung) bei guten Herzwahrnehmern zu einer Erhöhung der HEP-Amplitude an frontalen Elektroden führte. Das Argument ist, dass die in dieser Arbeit eruierten Ergebnisse einer intensiveren frühen, sensorischen sowie höher-geordneten Emotionsverarbeitung sowie das intensivere Emotionserleben bei guten Herzwahrnehmern auch auf eine höhere Motivation der guten Herzwahrnehmer zurückzuführen sein könnte, und weniger auf deren Kardiosensibilität. Dagegen sprechen nunmehr sehr eindeutig die Befunde aus den Verhaltensstudien (Studie 4 und 5), die gezeigt haben, dass gute Herzwahrnehmer im Fahrrad-Ergometer-Versuch eine signifikant *kürzere* Strecke zurücklegten sowie im „Viewing Time“ Paradigma IAPS-Bilder signifikant *weniger lang* freiwillig betrachteten als schlechte Herzwahrnehmer. Man kann davon ausgehen, dass sich eine erhöhte Motivation eher in gegenteiligen Reaktionen, nämlich einem schnelleren Fahren auf dem Fahrrad-Ergometer (was zu einer längeren, zurückgelegten Strecke führt) sowie einem längeren freiwilligen Betrachten der Bilder hätte niederschlagen sollen. Dies war aber eindeutig nicht der Fall, so dass das Argument der unterschiedlichen „Motivation“ somit entkräftet werden kann.

In den Einführungen und den Diskussionen der Verhaltensstudien habe ich nochmals erörtert, dass die Assoziation zwischen interozeptiver Sensitivität und Verhaltensregulation vornehmlich auf hierfür relevante Hirnstrukturen, v.a. den ventromedialen Präfrontalkortex als auch den ACC zurückzuführen sein kann (siehe z.B. Bechara et al., 2000; Berntson et al., 2003; Damasio, 1999, 2000; Devinski et al., 1995; Lane et al., 1998).

Zukünftige Forschung zum Einfluss von Kardiosensibilität auf die Verhaltensregulation sollte sich vor allem mit diesen Hirnstrukturen beschäftigen, um mögliche Unterschiede in der Aktivierung in diesen Hirnstrukturen zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern zu untersuchen. Bisherige Studien haben ja bereits demonstrieren können, dass gerade der ACC als auch der Präfrontalkortex sehr wichtige Integrationsgebiete für emotionales Erleben und Viszerozeption darstellen (z.B. Critchley et al., 2004; Craig et al., 2002 Pollatos et al., 2004b), so dass es höchst interessant wäre, die handlungsbezogene Aktivierung in Verbindung mit Viszerozeption und Emotion anhand von bildgebenden Verfahren zu untersuchen.

Dies wäre ein sehr interessanter und wesentlicher Beitrag zum Verständnis der neurobehavioralen Regulation auch alltagsrelevanten Verhaltens und könnte zudem Licht auf zentralnervöse Beeinträchtigungen innerhalb der neurobehavioralen und emotionalen Hirnsysteme bei psychiatrischen Störungen werfen (Berntson et al., 2003).

Ein erster Schritt in diese Richtung könnte die Untersuchung der zentralen Aktivierung frontaler Hirnregionen, wie sie anhand des EEGs (Frequenzanalysen) möglich ist, in einer handlungsorientierten, emotionalen Situation etwa sein. Neuere Studien (z.B. Bechara et al., 1994; Rolls, 2000) haben so demonstriert, dass der orbitofrontale Kortex die Kontrolle von Verhalten, welches auf emotionalem Feedback und dessen somatischer Korrelate basiert, mediiert. Hodgson et al. (2002) haben gezeigt, dass Läsionen des orbitofrontalen Kortex zu Beeinträchtigungen in der Fähigkeit führen, Handlungen zu inhibieren, welche mit negativen Konsequenzen gekoppelt sind. Man könnte aufgrund der vorliegenden Resultate dieser Arbeit, welche u.a. gezeigt haben, dass gute Herzwahrnehmer eine vorsichtigere Handlungsregulation zeigen, davon ausgehen, dass diese zum einen eine höhere frontale Aktivierung sowie zum anderen eine stärkere Inhibition von mit aversiven Konsequenzen assoziierten Verhaltensalternativen zeigen sollten als schlechte Herzwahrnehmer.

Sicherlich ist es des Weiteren nötig, die hier erstmals eingeschlagene Richtung der Untersuchung der Verbindung Kardiosensibilität und Verhaltenskontrolle auch auf der Ebene des offen beobachtbaren Verhaltens weiter zu untersuchen. Neben den zentralenervösen Korrelaten dieser Assoziation sind weitere Studien nötig, die sich gezielt mit weiteren Aspekten der Verhaltensregulation und –kontrolle beschäftigen.

Auf der Hand liegt etwa die Untersuchung der Bedeutung von Kardiosensibilität für Entscheidungsprozesse, wie sie anhand der „Iowa Gambling Task“ (Bechara et al., 1994; Bechara et al., 2005) untersucht werden kann. Da gute Herzwahrnehmer ein intensiveres Feedback viszeraler Signale aufweisen, somit also intensivere somatische Marker zur Verfügung haben, sowie in den hier gefunden Studienergebnissen (Studien 4 und 5) eine „vorsichtigere“ Verhaltenskontrolle zeigten, sollten diese im „Iowa Task“ im Vergleich zu

schlechten Herzwahrnehmern weniger riskante Entscheidungen und Handlungsalternativen auswählen.
Weitere Verhaltensaspekte, die in Verbindung mit Kardiosensibilität untersucht werden könnten, sollten nochmals die Regulation der emotionalen Belastung genauer unter die Lupe nehmen. Von Interesse wäre etwa das Verhalten in Stress-Situationen wie Prüfungen oder freier Rede.

Zuletzt möchte ich auf einen ***weiteren relevanten Forschungsaspekt*** hinweisen:
Wie ich in Kapitel 3.3. erörtert habe, betont Craig (2004) eine Ausdehnung des Begriffs Interozeption, ähnlich wie dies Damasios Modell beinhaltet. Interozeption bedeutet demnach auch den Zustand des „wie man sich fühlt" („how you feel", Craig, 2004, S. 239). Die sukzessiv stattfindenden interozeptiven „Upgrades" körperlicher Repräsentationen sind somit direkt assoziiert mit unterschiedlichen Graden an bewussten Gefühlen und emotionalem Erleben (Craig, 2004).
Zusammen mit Craig (2004) kann man daher direkt formulieren, dass:
„individual differences in ´emotional awareness´ are predicted to be directly related to differences in the capacity for interoceptive feelings" (Craig, 2004, S. 240). Auch Damasio (1994, 1999, 2000; siehe Kapitel 2.4.) betont die Bedeutung von somatischen Markern bei der "Bewusstwerdung" seiner selbst (sowohl des Proto-Selbst als auch des Kern-Selbst) und seiner Gefühle, wobei hierfür besonders der ACC, Insula und der präfrontale Kortex eine wichtige Bedeutung haben. Wurden bislang vor allem die Verbindung zwischen interozeptiver Sensitivität und dem *Ausmaß* des emotionalen Empfindens sowie der emotionalen Verarbeitung von Stimuli untersucht, so rückt somit ganz konkret auch die Assoziation zwischen Interozeption und der ***„emotional awareness"***, dem Grad der emotionalen *Bewusstheit* seiner Gefühle, in den Vordergrund.
Vor allem die Arbeitsgruppe um Lane und Mitarbeitern (z.B. Lane et al., 1998) hat gezeigt, dass der cinguläre Kortex eine besondere Rolle bei der „emotional awareness" einnimmt. Lane et al. (1998) zeigten in einer PET-Studie, dass der regionale zerebrale Blutfluss im anterioren cingulären Kortex während des Betrachtens emotionaler Stimuli und der Erinnerung an emotionale Ereignisse mit den Werten in der „Levels of Emotional Awareness Scale" (LEAS) hochsignifikant korrelierte. Bekanntlich ist der ACC auch bei guten Herzwahrnehmern höher aktiviert wenn sie ihren Herzschlag wahrnehmen (Pollatos et al., 2004b, 2005a), so dass sich auf neuroanatomischer Ebene bereits eine Verbindung zwischen Kardiosensibilität und dem Ausmaß an „emotional awareness" herstellen lassen könnte.
Die LEAS ist ein Fragebogen, der gezielt zur Untersuchung von „emotional awareness" entwickelt wurde und in 5 Skalen die Differenzierung und Integration von kognitiven

Schemata abfragt, welche zur Verarbeitung von emotionaler Information angewendet werden (Lane et al., 1998. Je höher die Ausprägung in der LEAS, welche eine hohe „emotional awareness“ signalisiert, desto differenzierter die Fähigkeit, Emotionen bei sich und anderen wahrzunehmen und zu verarbeiten.

Somit ist es nur logisch zu schlussfolgern, dass gute Herzwahrnehmer bzw. Personen mit einer ausgeprägten interozeptiven Sensitivität, ihre eigenen Gefühle nicht nur *intensiver* sondern auch *adäquater* als solche bewusst wahrzunehmen in der Lage sind, und diese von anderen externen oder internen Signalen besser zu differenzieren imstande sind (Lane et al., 1998, 2000). Aktuelle Arbeiten zu dieser Thematik stützen eine solche Hypothese mit Nachdruck (z.B. Craig, 2004; Gündel, 2004; Lane et al., 1998, 2000; Leweke, 2004).

Die Fähigkeit, eigene Gefühle adäquat wahrzunehmen und auch ausdrücken zu können („emotional awareness“) ist eng mit dem v.a. in der klinischen Forschung geläufigen Konstrukt der ***„Alexithymie“*** assoziiert, welches anhand der „Toronto Alexithymia Scale“ (TAS) (Taylor et al., 1992) erfasst werden kann.

Craig (2004) und Lane et al. (1998, 2000) haben ganz konkret auf diese engen Verbindungen zwischen interozeptiven Prozessen, emotionaler „Bewusstheit“ („emotional awareness“) und Alexithymie aufmerksam gemacht. Bei Alexithymie handelt es sich um ein komplexes Konstrukt, was als Persönlichkeitseigenschaft konzipiert wurde, und vor allem eine Beeinträchtigung der Wahrnehmung und Identifikation von Gefühlen beschreibt (Nemiah, 1977; Kano et al., 2003; Lane et al., 2000). Dies wurde auch als „Gefühlsblindheit“ (Lane et al., 1996) bezeichnet. Alexithymie steht in engem Zusammenhang mit der Krankheitsanfälligkeit für psychosomatische Krankheiten aber auch für psychiatrische Störungen, welche mit Beeinträchtigungen in der Emotionsregulation einhergehen, wie z.B. Depression, Angststörungen, somatoforme Störungen, Essstörungen, PTSD („post traumatic stress disorder“) (z.B. Zeitlin et al., 1998; Cox et al., 1994).

Zudem liegen auch Befunde dafür vor, dass bei Personen mit hoher Alexithymie-Ausprägung eine geringere regionale Durchblutung des ACC, sowie des insulären Kortex und des orbitofrontalen Kortex vorliegt (z.B. Kano et al., 2003) und es wurde eine signifikante Korrelation zwischen Aktivierung des ACC während emotionaler Stimulation und der Ausprägung an Alexithymie (Gündel et al., 2004) nachgewiesen.

Auch hier wird eine enge Assoziation zur interozeptiven Sensitivität deutlich, da Präfrontalkortex sowie ACC und Insula eine sehr bedeutsame Rolle bei der Repräsentation rückgemeldeter körperlicher Signale sowie bei der Integration subjektiver Emotionalität und körperlicher Erregung spielen (Damasio, 1994; Critchley et al., 2001, 2004).

Was diesen interessanten Zusammenhang zwischen „emotional awareness“ bzw. „Alexithymie“ und Kardiosensibilität angeht, so existieren auch hier bereits erste, noch

unveröffentlichte Ergebnisse, welche die Verfasserin dieser Arbeit in einer weiteren Untersuchung examiniert hat (siehe Anhang). Entsprechend der ausgeführten theoretischen und empirischen Zusammenhänge wurde in dieser Studie nachgewiesen, dass gute Herzwahrnehmer in der Tat eine geringere Ausprägung an „Alexithymie-Werten“ in der TAS-26 besitzen als schlechte Herzwahrnehmer (siehe Ergebnisse Anhang). Dies bedeutet, dass es einen engen negativen Zusammenhang zwischen interozeptiver Sensitivität und dem Grad der beeinträchtigten Wahrnehmung seiner Gefühle gibt, wie dies Lane et al. (1998) und Craig (2004) als auch Damasios Modell nahe legen. Um genaueren Aufschluss über die Beteiligung der viszeralen Rückmeldung für diesen Prozess der Wahrnehmung bewusster Gefühle zu erhalten, wären Untersuchungen anhand bildgebender Verfahren von Interesse, welche die zentralnervösen Verbindungen der Aktivierung der angesprochenen Hirnstrukturen (v.a. ACC, Insula, Präfrontalkortex) für den Prozess der Wahrnehmung von Gefühlen näher beleuchten könnten.

Vor mehr als einem Jahrhundert hat W. James (1884) die Idee formuliert, dass Gefühle die perzeptuellen Konsequenzen des somato-viszeralen Feedbacks aus dem Körper sind und damit eine lange Reihe an Forschungsarbeiten angeregt, welche sich mit der Bedeutung der Rückmeldung viszeraler und körperlicher Signale bzw. „somatischer Marker“ (Damasio, 1999, 2000) für Emotionsverarbeitung und Emotionserleben beschäftigten. Erst in den letzten knapp 10 Jahren wurde exakterer Einblick in die neuroanatomischen und –physiologischen Vermittlungswege für diese Prozesse gewonnen, so dass die Forschung bzgl. viszeraler Einflüsse auf neuro-emotionale und –behaviorale Prozesse im Grunde erst richtig begonnen hat. Die in dieser Arbeit examinierten Fragestellungen sind in dieser Tradition untersucht worden, und die Ergebnisse der vorliegenden Studien sind als weiterer Beitrag zur Bedeutung des viszeralen Feedbacks bzw. der Kardiosensibilität für emotionale Prozesse zu verstehen.
Wie dieses letzte Kapitel erkennen lässt, ist die Erforschung der Verbindungen zwischen aszendierender, viszeraler, körperlicher Regulation, Perzeption dieser Signale und emotionalen und behavioralen Mechanismen, welche sowohl beim gesunden als auch beim klinischen, kranken Menschen von Relevanz sind, noch längst nicht abgeschlossen, sondern bringt neue Fragestellungen hervor, welche nach einer Antwort verlangen.

Diese Arbeit abschließend, möchte ich William James zu Wort kommen lassen, dessen Ausführungen die Studien der vorliegenden Arbeit anregten und abrunden sollen:

“Without the bodily states following on the perception, the latter would be purely cognitive in form, pale, colorless, destitute of emotional warmth (James, 1884).

“Individuality is founded in feeling; and the recesses of feeling, the darker, blinder strata of character, are the only places in the world in which we catch real fact in the making, and directly perceive how events happen, and how work is actually done (James, 1950).

12. ANHANG

Weitere Studien, welche in der Zeit der Promotion durchgeführt wurden, jedoch nicht in die Dissertation mit aufgenommen wurden:

Studie 6: *Kardiosensibilität und emotionale Bewusstheit („emotional awareness“) untersucht am Konstrukt „Alexithymie“*

(Herbert, B.M. & Schandry, R. (in preparation) Is poor cardiac awareness related to alexithymic features? On the relevance of interoceptive sensitivity for emotional awareness.)

Der Zusammenhang zwischen Kardiosensibilität und der Ausprägung an Alexithymie (erfasst anhand der TAS-26: Toronto-Alexithymia-Scale (deutsch von Kupfer, Brosig & Brähler, 2000) wurde bei 36 (20 männlich, 16 weiblich) rechtshändigen Probanden im Alter von 20 bis 44 Jahren (M = 26.4; SD = 5.8) untersucht. Die Durchführung des Herzwahrnehmungstests ergab N = 14 gute Herzwahrnehmer und N = 22 schlechte Herzwahrnehmer.

Hypothese: Gute Herzwahrnehmer zeigen eine geringere Ausprägung von Alexithymie-Werten (d.h. also eine bessere „emotional awareness“) als schlechte Herzwahrnehmer; weisen also eine bessere Wahrnehmung von Gefühlen auf.

Ergebnisse: Gute Herzwahrnehmer zeigten sowohl signifikant niedrigere Werte in der Gesamtskala der Alexithymie ($F(1, 32) = 11.69$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.27$) als auch in allen drei, die TAS konstituierenden Unterskalen: *Skala 1 („Schwierigkeiten bei der Identifikation von Gefühlen“)* ($F(1, 32) = 6.15$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.16$); *Skala 2 („Schwierigkeiten bei der Beschreibung von Gefühlen“)* ($F(1, 32) = 2.91$, $p < 0.05$, partielles $eta^2 = 0.10$); *Skala 3 („Extern orientierter Denkstil“)* ($F(1, 32) = 9.41$, $p < 0.01$, partielles $eta^2 = 0.23$), als schlechte Herzwahrnehmer.

Tabelle I. zeigt die mittleren Rohwerte für alle Skalen der TAS sowie der Gesamtskala der TAS (siehe auch Abbildung I und II).

Tabelle I. Mittlere Skalenrohwerte der TAS-26 für gute und schlechte Herzwahrnehmer

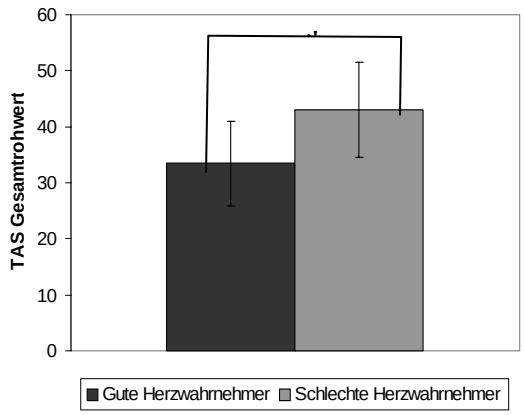
	Gute Herzwahrnehmer	Schlechte Herzwahrnehmer	P
TAS Gesamtrohwert	33.43 (7.52)	43.05 (8.43)	< 0.01 **
TAS Skala 1 „Schwierigkeiten bei Identifikation von Gefühlen“	12.07 (4.50)	15.60 (3.78)	< 0.05 *
TAS Skala 2 „Schwierigkeiten bei Beschreibung von Gefühlen“	10.50 (3.86)	13.15 (4.83)	< 0.05 *
TAS Skala 3 „Extern orientierter Denkstil“	10.85 (2.45)	14.30 (3.66)	< 0.01 **

Beachte: Standardabweichung in Klammern;

** = sehr signifikant

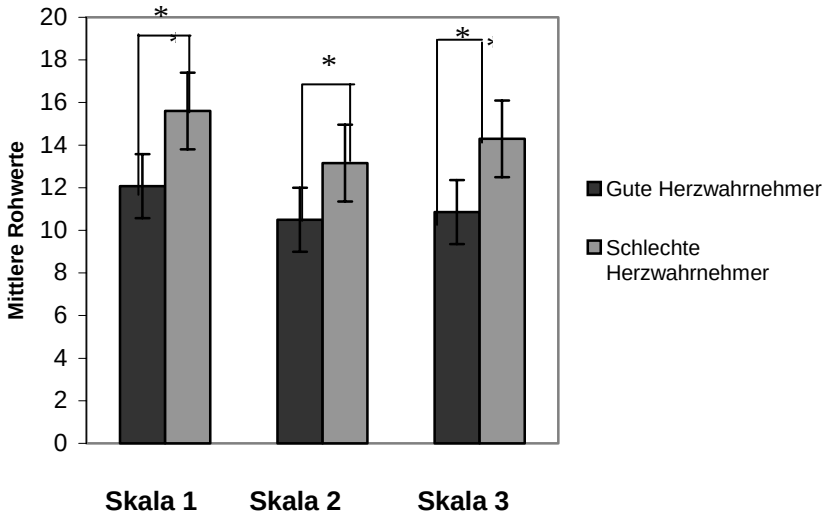
* = signifikant

Abbildung I: TAS Gesamtrohwert der guten und schlechten Herzwahrnehmer



Beachte: ** ($p < 0.01$); Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichung

Abbildung II: Darstellung der mittleren Rohwerte der drei Einzelskalen der TAS-26 für gute und schlechte Herzwahrnehmer



Beachte:

Skala 1: „Schwierigkeiten bei der Identifikation von Gefühlen“

Skala 2: „Schwierigkeiten bei der Beschreibung von Gefühlen“

Skala 3: „Extern orientierter Denkstil“

* signifikant ($p < 0.05$); ** sehr signifikant ($p < 0.01$); Fehlerbalken repräsentieren Standardabweichungen

Spearman-Rho Korrelationskoeffizienten: Signifikant negative Korrelationen zwischen Herzwahrnehmungsscore und dem TAS-Gesamtrohwert ($r_s = - 0.41$, $p < 0.05$), sowie der Skala 1 („Schwierigkeiten bei der Identifikation von Gefühlen“) ($r_s = - 0.43$, $p < 0.01$) und der Skala 3 („Extern orientierter Denkstil“) ($r = - 0.53$, $p < 0.001$).

Schlussfolgerung: Die Fähigkeit, eigene Gefühle adäquat wahrzunehmen und ausdrücken zu können ist mit niedrigen Alexithymie-Werten assoziiert. Kardiosensibilität ist den Ergebnissen zufolge deutlich mit einer besseren „emotionalen Bewusstheit“ („emotional awareness“; (z.B. Lane et al., 1990), welche sich in niedrigeren Alexithymiewerten ausdrückt, assoziiert.

Lane und Mitarbeiter (Lane et al., 2000; Lane et al., 1997) legen nahe, dass es sich bei Alexithymie um ein Defizit in der kognitiven Verarbeitung von Emotionen handelt, welches als eine Beeinträchtigung der bewussten Wahrnehmung von Gefühlen dominiert.

Craig (20004) fasst die bisherigen Befunde zum Thema Interozeption und Emotionserleben konkret so zusammen, dass interindividuelle Unterschiede in der interozeptiven Sensitivität Auswirkungen auf die Tiefe des emotionalen Erlebens und deren Komplexität besitzen und

sich in Morphologie und Funktion besonders der anterioren Insula und deren Verbindungen zum orbitofrontalen Kortex abbilden lassen.

Lane et al. (1998) haben signifikante positive Korrelation zwischen der Fähigkeit emotionale Empfindungen gut wahrnehmen zu können - gemessen anhand der „Levels of Emotional Awareness Scale“ (LEAS) von Lane et al. (1990) – welche die interozeptive emotionale Wahrnehmungsfähigkeit abbildet (Lane et al., 2000) – und der Aktivierungshöhe des anterioren, dorsalen cingulären Kortex nachgewiesen und betonen diese Strukturen für die Fähigkeit „Emotionen wahrnehmen zu können“ bzw. eine gute *„emotional awareness“* zu besitzen.

Bei Personen mit hohen Alexithymiewerten liegt eine verminderte Aktivierung des ACC sowie der Insula und des orbitofrontalen Kortex während emotionaler Stimulation vor (z.B. Gündel et al., 2004; Kano et al., 2003). Gute Herzwahrnehmer zeigen in diesen genannten Strukturen eine erhöhte Aktivierung spontan und während der Herzwahrnehmung (Pollatos et al., 2004b, 2005a). Auch diese Befunde sprechen für einen negativen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an Kardiosensibilität und Alexithymie-Tendenzen, und favorisieren den wichtigen Zusammenhang zwischen interozeptiver Sensitivität und „emotional awareness“.

Studie 7: *Kardiosensibilität und autonom-nervöse Reaktivität während emotionaler Stimulation*

(Herbert, B.M. & Schandry, R. (2004). Cardiac awareness and autonomic cardiac reactivity during emotional activation. (abstract). Journal of Psychophysiology, 18, 199-241.)

Die autonom-nervöse, sympathische Aktivität (Impedanzkardiographie: v.a. „pre-ejection period (PEP)), als auch Herzrate und kardialer Output sowie die parasympathische Aktivität (Power-Spektralanalyse der Herzratenvariabilität) wurde bei N = 36 Probanden während der Betrachtung von emotionalen Bildern sowie während eines mentalen Arithmetik-Stress-Tests untersucht.

Anliegen war die Überprüfung von möglichen Unterschieden zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern in ihrer autonom-nervösen Reaktivität (Arousal) auf emotionale Aktivierungssituationen. Die Durchführung des Herzwahrnehmungstests führte zu N = 14 guten und N = 22 schlechten Herzwahrnehmern.

Ergebnisse: Die ersten Ergebnissen liegen für die sympathische Aktivierung (IKG: PEP) sowie für kardialen Output (CO) und Herzrate (HR) vor. Die parasympathische Aktivität, welche anhand des normalisierten hochfrequenten Bands (nu HF) der FFT-Analyse der Herzratenvariabilität gemessen wurde, kann noch nicht endgültig berichtet werden. Die Durchführung von Wiederholungsmessungs-ANOVAS mit den Faktoren „Bedingung“ (3

Stufen: emotional aversive, emotional positive Bilder, mentaler Arithmetik-Test) und „Gruppe“ (gute vs. schlechte Herzwahrnehmer) für PEP, CO und HR zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern weder für die mittlere Herzrate, den kardialen Output noch für PEP in den drei Bedingungen. Die Überprüfung der Baseline-Ruhewerte der Probanden (t-Test für unabhängige Stichproben) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Tabelle II, III und IV zeigen die zusammengefassten Ergebnisse.

Tabelle II. Mittlere Werte der Herzrate (bpm) für gute und schlechte Herzwahrnehmer

HR	Gute Herzwahrnehmer	Schlechte Herzwahrnehmer	P
Baseline	76.54 (10.37)	76.69 (9.58)	n.s.
Aversive Bilder	71.34 (2.51)	73.82 (2.02)	n.s.
Positive Bilder	72.69 (2.83)	73.24 (2.29)	n.s.
Mentaler Arithmetik-Test	80.25 (3.64)	82.47 (2.94)	n.s.

n.s. = $p > 0.05$

Tabelle III. Mittlere Werte von PEP (ms) für gute und schlechte Herzwahrnehmer

PEP	Gute Herzwahrnehmer	Schlechte Herzwahrnehmer	P
Baseline	118.62 (12.20)	118.97 (20.65)	n.s.
Aversive Bilder	121.56 (4.61)	122.19 (3.68)	n.s.

Positive Bilder	121.46 (4.61)	123.09 (3.67)	n.s.
Mentaler Arithmetik-Test	110.12 (5.49)	110.39 (4.38)	n.s.

n.s. = $p > 0.05$

Tabelle IV. Mittlere Werte von CO (l/min) für gute und schlechte Herzwahrnehmer

CO	Gute Herzwahrnehmer	Schlechte Herzwahrnehmer	P
Baseline	6.70 (1.65)	6.22 (1.29)	n.s.
Aversive Bilder	6.46 (0.41)	6.09 (0.33)	n.s.
Positive Bilder	6.69 (0.41)	5.95 (0.32)	n.s.
Mentaler Arithmetik-Test	7.20 (0.44)	6.71 (0.35)	n.s.

Schlussfolgerung: Die bislang vorliegenden Resultate zur sympathischen Aktivierung (PEP) sowie zur Herzrate (HR) und dem kardialen Output (CO) weisen auf keinerlei Unterschiede zwischen guten und schlechten Herzwahrnehmern hin. Dies widerspricht den Annahmen von Katkin (1985; Ferguson & Katkin, 1995), welche Kardiosensibilität auf intensivere sympathische Aktivierung bzw. Arousal zurückführen wollten und stützt Befunde, welche keine Unterschiede in der emotionalen Reaktivität der HR sowie auch der Hautleitfähigkeit (als weiteren sympathischen Indikator) eruieren konnten (z.B. Hantas et al., 1982; Wiens et al., 2000).

Die bislang vorliegenden Resultate dieser Untersuchung stützen dagegen die Annahme, dass das intensivere emotionale Erleben, sowie die in Studie 1 und 2 eruierte intensivere zentralnervöse Verarbeitung emotionaler Reize bei guten Herzwahrnehmern nicht auf ein

erhöhtes peripher-physiologisches, sympathisches Arousal dieser Personen, sondern auf die bessere Herz-zu-Hirn Transmission sowie eine intensivere Verarbeitung der peripheren Signale im Gehirn zurückgeführt werden kann (siehe auch Wiens et al., 2000; Wiens, 2005).

Literaturverzeichnis

Adám, G. (1967). *Interoception and behaviour: An experimental study*. Budapest: Kiado.

Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion, *Current Opinion in Neurobiology,* 12, 169-177.

Adolphs, R. (2003). Amygdala. In: L. Nadel (Ed.). *Encyclopedia of cognitive science* (pp. 98-105). London, UK: Nature Publishing Group.

Adolphs, R., Damasio, H., Tranel, D., Cooper, G. & Damasio, A.R. (2000). A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping. The *Journal of Neuroscience*, 20, 2683-2690.

Alexander, J.E., Porjesz, B., Bauer, L.O., Kuperman, S., Morzoratti, S., O´Connor, S.J. et al. (1995). P300 hemispheric amplitude asymmetries from a visual oddball task. *Psychophysiology*, 32, 467-475.

Allen, G.V., Saper, C.B., Hurley, K.M. & Cechetto, D.E. (1991). Organisation of visceral and limbic connections in the insular cortex of the rat. J*ournal of Comparative Neurology*, 311, 1-16.

Allman, J.M., Hakeem, A., Erwin, J.M., Nimchinsky, E., Hof, P. (2001). The anterior cingulated cortex. The evolution of an interface between emotion and cognition. *Annals of the New York Academy of Science*, 935, 107-117.

Amaral, D.G., Price, J.L., Pitkanen, A. & Carmichael, S.T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex (pp. 1-66). In: J.P. Aggleton (Ed.). *The Amygdala*. Wiley-Liss.

Amaral, DG, & Price, JL (1984). Amygdalo-cortical projections in the monkey (Macaca fascicularis). *Journal of Comparative Neurology*, 230, 465–496.

Amdur, R.L., Larsen, R. & Liberzon, I. (2000). Emotional processing in combat-related posttraumatic stress disorder: a comparison with traumatized and normal controls. *Journal of Anxiety Disorders,* 14, 219-238.

Anderson, A.K. & Phelps, E.A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, 411, 305-309.

Anderson, S.W., Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A.R. (1999). Impairment of social and moral behavior related to early damage in human prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 2, 1032-1037.

Andresen, D.R. & Marsolek, C.J. (2005). Does a causal relation exist between the functional hemispheric asymmetries of visual processing subsystems? *Brain & Cognition*, 59, 135-144.

Angrilli, A., Palomba, D., Stegagno, L. (1994). Modulazione psicofisiologica delle emozioni indotte da stimoli visivi. *G. Ital. Psicol*. 11 (5), 833-8 56.

Arnold, W., Eysenck, H., Meili, R. (1987). *Lexikon der Psychologie*. Zweiter Band. Herder-Verlag.

Augustine, J.R. (1995). Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans. *Brain Research Reviews*, 22, 229-244.

Avon, J., Nitzar, M., Sprecher, E., Regonski, R. & Jarnitzky, D. (2004). Autonomic asymmetry in migraine: augmented parasympathetic activation in left unilateral migraneurs. *Brain,* 127, 2055-2108.

Aziz, Q., Furlong, P.L., Barlow, J., Hobson, A., Alani, S., Banciewicz, J., Ribbands, M., Harding, G.F., & Thompson, D.G. (1995). Topographic mapping of cortical potentials evoked by distension of the human proximal and distal esophagus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 96, 219-228.

Aziz, Q., Schnitzler, A., & Enck, P. (2000). Functional neuroimaging of visceral sensation. *Journal of Clinical Neurophysiology,* 17, 604-612.

Aziz, Q., Thompson, D.G., Hamdy, S., Sarkar, S., Brammer, M.J., Bullmore, E.T. et al. (2000). Cortical processing of human somatic and visceral sensation. *Journal of Neuroscience*, 20, 2657-2663.

Bailey, P., Bremer, F. (1938). A sensory cortical representation of the vagus nerve. *Journal of Neurophysiology*, 405-412.

Barbalet, J.M. (1999). William James´ theory of emotions: Filling the picture. *Journal of the theory of social behaviour*, 29, 251-266.

Barbas, H., Saha, S., Rempel-Clower, N., Gashghaei, T. (2003). Serial pathways from the primate prefrontal cortex to autonomic areas may influence emotional expression. *BMC Neuroscience,* 4, 25.

Barnett, E.M., Evans, G.D., Sun, N., Perlman, S., Cassell, M.D. (1995). Anterograde tracing of trigeminal afferent pathways from the murine tooth pulp to cortex using herpes simplex virus type 1. *Journal of Neuroscience*, 15, 2972-2984.

Bar-On, R., Tranel, D., Denburg, N.L. & Bechara, A. (2003). Exploring the neurological substrate of emotional and social intelligence. *Brain*, 126, 1790-1800.

Barrett, L.F., Quigley, K.S., Bliss-Moreau, E., Aronson, K.R. (2004). Interoceptive sensitivity and self-reports of emotional experience. *Journal of Personality and Social Psychology*, 87, 684-697.

Basar, E., Schürmann, M., Basar-Eroglu, C., Karakas, S. (1997). Alpha oscillations in brain functioning: an integrative theory. *International Journal of Psychophysiology,* 26, 5-29.

Bechara, A. (2004). The role of emotion in judgment and decision-making: Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage, *Brain and Cognition,* 55, 30-40.

Bechara, A., Damasio, A.R., Damasio, H. & Anderson, A.W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-12.

Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A.R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex,* 10, 295-307.

Bechara, A., Damasio, H. & Damasio, A.R. (2003). Role of the amygdala in decision-making. *Annals of the New York Academy of Science*, 985, 356-369.

Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A.R. & Lee, G.P. (1999). Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *The Journal of Neuroscience,* 19, 5473-5481.

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A.R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy, *Science*, 275, 1293-1295.

Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D. & Damasio, A.R. (2005). The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 159-162.

Bechara, A., Tranel, D., Wilson, J., Herberlein, A.S., Ross, M. & Damasio, A.R. (1998). Impaired decision-making in peripheral neuropathy. *Society for Neuroscience Abstracts*, 24, 1176.

Bechara, A., Tranel., D., Damasio, H. & Damasio, A.R. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcome following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 6, 215-225.

Bench, C.J., Fritch, C.D., Grasby, P.M., Friston, K.J. et al. (1993). Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia,* 31, 907-922.

Bennaroch, E.E. (1993). The central autonomic network: functional organization, dysfunction, and perspective. *Mayo Clin. Proceedings,* 68, 998-1001.

Bermond, B., Niewenhuyse, B., Fasotti, L., Schuerman, J. (1995). Spinal cord lesions, peripheral feedbck, and intensities of emotional feelings. *Cognition and Emotion*, 5, 201-220.

Bernstein, D.P. (1986). A new stroke volume equation for thoracic electric bioimpedance: Theory and rationale. *Critical Care Medicine,* 14, 904-909.

Bernstein, D.P.(1989). Noninvasive cardiac output measurement. In: Shoemaker, W.C., Ayres, S., Grenvik, A., Holbrook, P.R., Thompson, W.L., Eds. *Textbook of critical care medicine*. Toronto: Saunders, 159-185.

Berntson, G. G., Cacioppo, J. T. & Fieldstone, A. (1996). Illusions, arithmetic, and the bidirectional modulation of vagal control of the heart. *Biological Psychology,* 44, 1-17.

Berntson, G.G., Boyson, S.T., Cacioppo, J.T. (1993). Neurobehaviroal organization and the cardinal principle of evaluative bivalence. *Annals of the New York Academy of Science*. 702, 75-102.

Berntson, G.G., Sarter, M. & Cacioppo, J.T. (2003). Ascending visceral regulation of cortical affective information processing. *European Journal of Neuroscience,* 18, 2103-2109.

Berridge, K.C. (2003). Comparing the emotional brains of humans and other animals (pp. 25-51). In: Davidson, R.J., Scherer, K.R. & Goldsmith, H.H. (Eds.), *Handbook of affective sciences*, Oxford University Press.

Bestler, M., Schandry, R., Weitkunat, R. & Alt, E. (1990). Kardiodynamische Determinanten der Herzwahrnehmung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 37, 361-377.

Birbaumer, N. & Schmidt, R.F. (1991). *Biologische Psychologie.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Birbaumer, N., Veit, R., Lotze, M., Erb, M., et al. (2005). Deficient fear conditioning in psychopaths: a fMRI study. *Archives of General Psychiatry,* 62, 799-605.

Blair, R.J., Colledge, E., Mittchell, D.G. (2001a). Somatic markers and response reversal: is there orbitofrontal dysfunction in boys with psychopathic tendencies? *Journal of Abnormal Child Psychology*, 29, 499-511.

Blair, R.J., Colledge, E., Murral, L. & Mitchell, D.G. (2001b). A selective impairment in the processing of sad and fearful expressions in children with psychopathic tendencies. *Journal of Abnormal Child Psychology,* 29, 491-498.

Blanchard, R.J. & Blanchard, D.C. (1989). Attack and defense in rodents as ethoexperimental models for the study of emotion. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychology*, 13, 3-14.

Blascovich, J., Brennan, K., Tomaka, J., Kelsey, R.M., Hughes, P., Coad, M.L. & Adlin, R. (1992). Affect intensity and cardiac arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63, 164-174.

Bledowski, C., Prvulovic, D., Goebel, R., Zanella, F.E., & Linden, D.E.J. (2004). Attentional systems in target and distractor processing: a combined ERP and fMRI study. *Neuroimage*, 22, 530-540.

Bowman, C.H., Evans, C.E., Turnbull, O.H. (2005). Artificial time constraints on the Iowa Gambling Task: the effects on behavioural performance and subjective experience. Brain and Cognition, 57, 21-25.

Bradley, M. M. (2000). Emotion and motivation. In J.T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. Berntson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology*. (pp. 602-642). New York: Cambridge University Press.

Bradley, M.M. & Lang, P.J. (2000). Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*, 37, 204-215.

Bradley, M.M., Codispoti, M., Cuthbert, B.N. & Lang, P.J. (2001a). Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion,* 1, 276-298.

Bradley, M.M., Codispoti, M., Sabatinelli D. & Lang, P.J. (2001b). Emotion and motivation II: sex differences in picture processing. *Emotion*, 1, 300-319.

Bradley, M.M., Cuthbert, B.N. & Lang, P.J. (1990). Startle reflex modification: emotion or attention? *Psychophysiology*, 27 (5), 513- 522.

Bradley, M.M., Greenwald, M.K., Hamm, A.O. (1993). Affective picture processing, In: Birbaumer, N., Öhmann, A. (Eds.), *The structure of emotion.* Hogrefe and Huber, Toronto.

Bradley, M.M., Lang. P.J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatr*y, 25 (1), 49-59.

Bradley, M.M., Sabatinelli, D., Lang, P.J., Fitzsimmons, J.R., King & Desai, P. (2003). Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behavioral Neuroscience*, 117, 369-380.

Brener, J. (1977). Visceral perception (pp. 554-561). In: L. Beatty, J. & H. Legewie (Eds.). Biofeedback and Behavior. Plenum Press, New York.

Brener, J., Ring, C. & Wilmers, F. (1990). Effects of myocardial performance on the detection of heartbeats (Abstract). Psychophysiology, 27, S19.

Brener, J.M., Kluvitse, S. (1988). Heartbeat detection: Judgements on the simultaneity of external stimuli and heartbeats. *Psychophysiology,* 25, 554-561.

Buchel, C. et al. (1998). Brain systems mediating aversive conditioning: an event-related fMRI study. *Neuron*, 20, 947-957.

Buck, R. (1976). *Human motivation and emotion*. New York: Wiley.

Budai, D. & Fields, H.L. (1998). Endogenous opioid peptides acting at mu-opioid receptors in the dorsal horn contribute to midbrain modulation of spinal nocicepive neurons. *Journal of Neurophysiology,* 79, 677-687.

Buell, J. C. (1988). A practical, cost-effective, noninvasive system for cardiac output and hemodynamic analysis. *American Heart Journal,* 116(2), 657-664.

Caciopoo, J.T., Gardner, W.L. & Berntson, G.G. (1999). The affect system has parallel and integrative processing components: From follows function. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76, 839-855.

Cacioppo, J.T. & Gardner, W.L. (1999). Emotion. *Annual Review of Psychology*, 50, 191-214.

Cacioppo, J.T., Berntson, G.G., & Klein, D.J. (1992). What is an emotion? The role of somatovisceral afference, with special emphasis on somatovisceral `illusions´. *Personality and Social Psychology Review*, 14, 63-98.

Cacioppo, J.T., Crites, S.L.,Jr., Gardner, W.L. & Berntson, G.G. (1994). Bioelectrical echoes from evaluative categorizations: I. A late positive brain potential that varies as a function of trait negativity and extremity. *Journal of Personality and Social Psychology,* 67, 115-125.

Cacioppo, J.T., Klein, D.J., Berntson, G.G., Hatfield, E. (1993). The psychophysiology of emotion. In: Lewis, M., Haviland, J.M. (Eds.), *Handbook of Emotions*. The Guilford Press, New York, pp. 119-142.

Cacioppo, O., Berntson, G., Binkley, P., Quigley, K., Uchino, B., Fieldstone, A. (1994). Autonomic cardiac control. II. Noninvasive indices and basal response as revealed by autonomic blockades. *Psychophysiology*, 31, 586-598.

Cahill, L., Babinsky, R., Markowitsch, H.J. & MacGough, J.L. (1995). The amygdala and emotional memory. *Nature*, 377, 295-296.

Calder, A.J., Keane, J., Manes, F., Antoun, N., & Young, A.W. (2000). Impaired recognition and experience of disgust following brain injury. *Nature Neuroscience*, 3, 1077-1078.

Cameron, O.G. (2001). Interoception: the inside story – a model for psychosomatic processes. *Psychosomatic Medicine*, 63, 697-710.

Cameron, O.G. (2002). *Visceral sensory neuroscience: Interoception*, New York: Oxford Press.

Campbell, B.A., Wood, G. & McBride, T. 1997. Origins of orienting and defensive responses: an evolutionary perspective. In: Lang, P.J., Simons, R.F., Balaban, M.T. (Eds.), *Attention and Orienting: Sensory and Motivational Processes.* Erlbaum, Hillsdale, NJ.

Canli, T., Zuo, Z., Bruwer, J., Gabrieli, J.D. & Cahill, L. (2000). Event-related activation in the human amygdala associates with later memory for individual emotional experience. *Journal of Neuroscience*, 20, RC99, 1-5.

Cannon, W.B. (1927). The James-Lange theory of emotion: A critical examination and an alternative theory. *American Journal of Psychology*, 39, 106-124.

Cannon, W.B. (1953). *Bodily changes in pain, hunger, fear and rage*. Boston: Charles T. Branford Company.

Carrieté, L., Martin-Loeches, M., Hinijosa, J.A. & Mercado, F. (2001). Emotion and attention interaction studied through event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 1109-1128.

Casey, K.L. et al. (1994). Positron emission tomographic analysis of cerebral structures activated specifically by repetitive noxious heat stimuli. *Journal of Neurophysiology,* 71, 802-807.

Cechetto, D.F. & Saper, C.B. (1987). Evidence for a viscerotopic sensory representation in the cortex and thalamus in the rat. *Journal of Comparative Neurology,* 262, 27-45.

Center for the Study of Emotion and Attention (1999). *International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings.* Gainesville, FL: NIMH-Center for the Study of Emotion and Attention, University of Florida.

Clark, V.P., Fan, S., Hillyard, S.A. (1995). Identifivcation of early visual evoked potential generators by retinotopic and topographic analyses. *Human Brain Mapping*, 2, 170-187.

Cobos, P., Sanchez, M., Garcia, C., Nieves-Nera, M. & Vila, J. (2002). Revisiting the James versus Cannon debate on emotion: startle and autonomic modulation in patients with spinal cord injuries. *Biological Psychology*, 61, 251-269.

Cohen, R.A., Kaplan, R.F., Moser, D.J., Jenkins, M.A. & Wilson, H. (1999). Impairments of attention after cingulotomy. *Neurology*, 53, 819-824.

Courchesne, E. (1978). Changes in P3 waves with event repetition: long-term effects on scalp distribution and amplitude. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45, 754 – 766.

Courchesne, E., Courchesne, R.Y. & Hillyard, S.A. (1978). The effect of stimulus deviation on P3 waves to easily recognized stimuli. *Neuropsychologia*, 16, 189-199.

Courchesne, E., Hillyard, S.A. & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39, 131-143.

Courtney, S.M. & Ungerleider, L.G. (1997). What fMRI has tought us about human vision. *Current Opinion in Neurobiology*, 7, 554-561.

Cox, B.J., Kuch, K., Parker, J.D.A. et al. (1994). Alexithymia in somatoform disorder patients with chronic pain. Psychosomatic Research, 38, 523-527.

Craig, A.D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature Neuroscience*, 3, 655-666.

Craig, A.D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 500-505.

Craig, A.D. (2004). Human feelings: why are some more aware than others? *Trend in Cognitive Science*, 8, 239-241.

Craig, A.D., Chen, K., Bandy, D. & Retman, E.M. (2000). Thermosensory activation of insular cortex. *Nature Neuroscience,* 3, 184-190.

Crisafulli, A., Carta, C., Melis, F., Tocco, F., Frongia, F., Santaboni, U.M., Pagliaro, P., Concu, A. (2004). Haemodynamic responses following intermittent supramaximal exercise in athletes. *Experimental Physiology*, 89, 665-674.

Critchley, H.D. (2004). The human cortex responds to an interoceptive challenge, *PNAS*, 101; 6333-6334.

Critchley, H.D., Corfield, D.R., Chandler, M.P. et al. (2000a). Cerebral correlates of autonomic cardiovascular arousal: A functional neuroimaging investigation. *Journal of Physiology (London)*, 523, 259-270.

Critchley, H.D., Elliott, R., Mathias, C.J. & Dolan R.J. (2000b). Neural activity relating to generation and representation of galvanic skin conductance responses: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience,* 20, 3033-3040*.*

Critchley, H.D., Mathias, C.J. & Dolan, R.J. (2001a). Neuroanatomical basis for first- and second-order representations of bodily states. *Nature Neuroscience*, 4, 207-212.

Critchley, H.D., Mathias, C.J., Dolan, R.J. (2002). Fear-conditioning in humans: the influence of awareness and arousal on functional neuroanatomy. *Neuron,* 33, 653-663.

Critchley, H.D., Mathias, C.J., Josephs, O., O´Doherty, J., Zanini, S., Dewar, B.K., Cipolotti, L., Shallice, T. & Dolan, R.J. (2003). Human cingulate cortex in autonomic cardiovascular control: converging neuroimaging and clinical evidence. *Brain,* 126, 2139-2152.

Critchley, H.D., Melmed, R.N., Featherstone, E., Mathias, C.J., Dolan, R.J. (2001b). Brain activity during biofeedback relaxation: a functional neurimaging investigation. *Brain*, 124, 1003-1012.

Critchley, H.D., Rothstein, P., Yoko, N., O´Doherty, J., Mathias, C.J. & Dolan, R.J. (2005). Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions. *Neuroimage*, 24, 751-762.

Critchley, H.D., Wiens, S., Rothstein, P., Öhmann, A., Dolan, R.J. (2004). Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nature Neuroscience,* 7, 189-195.

Crone, E.A., Somsen, R.J., Van Beek, B., Van der Molen, W.W. (2004). Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. Psychophysiology, 41, 531-540.

Crofford, L.J. & Casey, K.L. (1999). Central modulation of pain perception. *Rheumatic Disease Clinics of North America,* 25, 1-13.

Cuthbert, B.N., Bradley, M.M. & Lang, P.J. (1996). Probing picture perception: Activation and emotion. *Psychophysiology*, 33, 103-111.

Cuthbert, B.N., Schupp, H.T., Bradley, M.M. Birbaumer, N. & Lang, P.J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological Biology*, 52, 95-111

Dale, A. & Anderson, D. (1978). Information variables in voluntary control and classical conditioning of heart rate: field dependence and heart-perception. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 79-85.

Daly, S. (1978). Behavioural correlates of social anxiety. *British Journal of Social and Clinical Psychology,* 17, 117-120.

Damasio, A., Grabowski, T., Damasio, H., Bechara, A. , Ponto, L.L., & Hichwa, R. (1998). Neural correlates of the experience of emotions. *Society for Neuroscience Abstracts*, 24, 258.

Damasio, A.R. & Damasio, H. (1994). Cortical systems for retrieval of concrete knowledge: the convergence zone framework. In: C. Koch (Ed.), *Large-scale neuronal theories of the brain,* pp. 61-74. Cambridge, MA: MIT Press.

Damasio, A.R. (1994). *Descartes´ Error: Emotion, Reason and the Human Brain.* New York: Grosset/Putnam.

Damasio, A.R. (1999). *The feeling of what happens: body, emotion and the making of consciousness.* New York:Harcourt Brace & Company.

Damasio, A.R. (2000). *Ich fühle also bin ich. Die Entschlüsselung des Bewusstseins*. München: Econ Ullstein List Verlag.

Damasio, A.R. (2004). William James and the modern neurobiology of emotion (pp. 3-14). In: D. Evans & P.Cruse (Eds.). *Emotion, evolution, and rationality*. Oxford: Oxford University Press.

Damasio, A.R., Adolphs, R. & Damasio, H. (2003). The contributions of the lesion method to the functional neuroanatomy of emotion. In: Davidson, R.J., Scherer, K.R. & Goldsmith, H.H. (Eds.), *Handbook of affective sciences,* Oxford University Press, pp. 66-92.

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

Damasio, A.R., The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 351, 1413-1420.

Damasio, A.R., Tranel, D. & Damasio, H. (1990). Individuals with sociopathic behavior caused by frontal damage fail to respond autonomically to social stimuli. *Behavioral Brain Research*, 41, 81.

Damasio, A.R., Tranel, D. & Damasio, H. (1991). Somatic markers and the guidance of behavior: theory and preliminary testing. In: H.S. Levin, H.M. Eisenberg & A.L. Benton (Eds.). *Frontal Lobe function and dysfunction,* pp. 217-229, New York: Oxford University press.

Darwin, C. (1934). *The Expression of the Emotions in Man and Animals.* London: Watts and Co.

Darwin, Ch. (2002). *The expression of the emotions in man and animals*. Oxford University Press.

Davidson, R.J. (2000). The neuroscience of affective style. In: Gazzinaga, M.S. (Ed.), *The new cognitive neurosciences,* pp. 1149-1159.

Davidson, R.J., Abercombie, H., Nitschke, J.B. & Putnam, K. (1999). Regional brain function. emotion. and disorders of emotion. *Current Opinions in Neurobiology*, 9, 228-234.

Davidson, R.J., Pizzagalli, D., Nitschke, J.B. & Kalin, N.H. (2003). Parsing the subcomponents of emotion and disorders of emotion: Perspectives from affective neuroscience, In: Davidson, R.J., Scherer, K.R. & Goldsmith, H.H. (Eds.), *Handbook of affective sciences,* Oxford University Press, pp. 8-24.

Davidson, R.J., Scherer, K.R. & Goldsmith, H.H. (2003). Handbook of affective sciences. Oxford University Press.

Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P. & Sequeira, H. (2004). Event-related P3a and P3b in response to unpredictable emotional stimuli, *Biological Psychology*, 68, 107-120.

Devinski, O., Morrell, M.J., Vogt, B.A. (1995). Contributions of anterior cingulate cortex to behavaior. *Brain*, 118, 279-306.

Dickinson, A. & Dearing, M.F. (1979). Appetitive-aversive interactions and inhibitory processes. In: Dickinson, A. & Boakes, R.A. (Eds.). *Mechanisms of learning and motivation.* Hillsdale. N.J: Lawrence Erlbaum Associates. 203-231.

Dirlich, G., Dietl, T., Vogl, L., Strian, F. (1998). Topography and morphology of heart action-related EEG potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 108, 299-305.

Donchin, E. (1981). Suprise! Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.

Dunn, B.D., Dalgleish, T. & Lawrence, A.D. (2006). The somatic marker hypothesis : a critical evaluation. Neuroscience and biobehavioral reviews, 30, 239-271.

Ehlers, A. & Breuer, P. (1996). How good are patients with panic disorders at perceiving their heartbeats? *Biological Psychology*, 42,165-182.

Ehlers, A., Breuer, P., Dohn, D. & Fiegenbaum, W. (1995). Heartbeat perception and panic disorders. Possible explanations for discrepant findings. *Behavior Research and Therapy*, 33, 69-76.

Ehlers, A., Margraf, J. & Roth, W.T. (1992). Imipramine and alprazolam effects on stress test reactivity in panic disorder. *Biological Psychiatry*, 31, 35-51.

Ehlers, A., Mayou, R., Sprigings, D.C., Birkhead, J. (2000). Psychological and perceptual factors associated with arrhythmias and benign palpitations. *Psychosomatic Medicine*, 62, 693-702.

Ehlers, A.A. (1995). A 1-year prospective study of panic attacks: clinical course and factors associated with maintainance. *Journal of Abnormal Psychology,* 104, 164-172.

Eichler, S. & Katkin, E.S. (1994). The relationship between cardiovascular reactivity and heartbeat detection. *Psychophysiology,* 229-234.

Eichler, S., Katkin, E.S., Blascovich, J.J., Kelsey, R.M. (1987). Cardiodynamic factors in heartbeat detection and the experience of emotion. *Psychophysiology,* 24 (5), 587.

Ekman, P. (1984). Expression and nature of emotion (pp. 319-243). In: *Approaches to emotion*. K. Scherer and P. Ekman (Eds.) Hillsdale. NJ. Erlbaum.

Ekman, P., Levenson, R.W., Friesen, W.V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221, 1208-1210.

Fahrenberg, J. (2001). Physiologische Grundlagen und Meßmethoden der Herz-Kreislaufaktivität. In: Rösler, F. *Enzyklopädie der Psychologie. Grundlagen und Meßmethoden der Psychophysiologie; Biologische Psychologie*, Band 4. Hogrefe, 317-483.

Falkenstein, M., Koshlykova, N.A., Kiroj, V.N., Hoormann, J. & Hohnsbein, J. (1995). Late ERP components in visual and auditory go/nogo tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 96, 36-43.

Fallen, E.L., Kamath, M.V., Tougas, G. & Upton, A. (2001). Afferent vagal modulation: Clinical studies of visceral sensory input. *Autonomic Neuroscience*, 90, 35-40.

Ferguson, M.L. & Katkin, E.S. (1996). Visceral perception, anhedonia and emotion. *Biological Psychology,* 5, 131-145.

Fernandez-Duque, D. & Posner, M.I. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology,* 23, 74-93.

Fernandez-Duque, D. & Posner, M.I. (2001). Brain imaging of attentional networks in normal and pathological states. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23, 74-93.

Fischer L., Brauns, D., Belschak, F., (2002). *Zur Messung von Emotionen in der angewandten Forschung; Beiträge zur Wirtschaftspsychologie* Bd. 4., Lorenz Fischer und Günter Wiswede (Hrsg.). Lengerich. Pabst Science Publishers.

Fitzgibbons, L. & Simons, R.F. (1990). A three-system analysis of emotional response in normal and anhedonic subjects (Abstract). *Psychophysiology*, 27, S31.

Fitzgibbons, L. & Simons, R.F. (1992). Affective response to color-slide stimuli in subjects with physical anhedonia : a three-systems analysis. *Psychophysiology*, 29, 613-620.

Foa, E. B. & Kozak, M. J. (1986). Emotional processing of fear: Exposure to corrective information. *Psychological Bulletin*, 99, 20-35.

Foa, E. B., Feske, U., Murdock, T., Kozak, M. J., & McCarthy, P. R. (1991). Processing of threat-related information in rape victims. *Journal of Abnormal Psychology*, *100*, 156-162.

Ford, J.M. (1999). Schizophrenia: the broken P300 and beyond. *Psychophysiology,* 36, 667-682.

Foster, P.S., Webster, D.G. (2001). Emotional memories: the relationship between age of memory and the corresponding psychophysiological responses. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 11-18.

Fredrikson, M., Gustav, W., Greitz, T., Eriksson, L., Stone-Elander, S., Ericson, K. & Sedvall, G. (1993). Regional cerebral blood flow during experimental phobic fear. *Psychophysiology*, 30, 126-130.

Friston, K.J., Tononi, G., Reeke, G.N., Sporns, O. & Edelman, G.M. (1994). Value-dependent selection in the brain: simulation in a synthetic neural model. *Neuroscience,* 59, 229-243.

Frith, C.D., Friston, K., Liddle, P. & Frackowiak, R.S.J. (1991). Willed action and the prefrontal cortex in man: A study with PET. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 241-246.

Furlong, P.L., Aziz, Q., Singh, K.D., Thompson, D.G., Hobson, A., Harding, G.F.A. (1998). Cortical localisation of magnetic fields evoked by esophageal distension. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 108, 234-243.

Gamboa-Esteves F.O, Tavares I., Almeida A., Batten T.F., McWilliam P.N., Lima D. (2001). Projection sites of superficial and deep spinal dorsal horn cells in the nucleus tractus solitarii of the rat. *Brain Research,* 921,195 205.

George, M.S., Sackheim, H.A., Rush, J., Marangell, L.B., et al. (2000). Vagus nerve stimulation: A new tool for brain research and therapy. *Biological Psychiatry,* 47, 287-295.

Goldstein, D., Fink, D. & Mettee, D.R. (1972). Cognition of arousal and actual arousal as determinants of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology,* 21, 41-51.

Gottfried, J.A., O´Doherty, J., Dolan, R.J. (2003). Encoding predictive reward value in human amygdala and orbitofrontal cortex. *Science,* 301, 1104-1107.

Gray, G. (1982). *Neuropsychology of Anxiety.* Oxford University Press: Oxford.

Gündel, H., López-Sala, A., Ceballos-Baumann, A.O. et al. (2004). Alexithymia correlates with the size of the right anterior cingulate. *Psychosomatic Medicine*, 66, 132-140.

Haber, P., Niederberger, M., Kummer, F. & Ferlitsch, A. (1978). Der Wert submaximaler Ergometertests für die Bestimmung der körperlichen Leistungsbreite. *Schweizerische Medizinische Wochenschrift,* 108, 652-654.

Hagemann, D., Waldstein, S., & Thayer, J. F. (2003). Central and autonomic nervous system integration in emotion. *Brain and Cognition*, 52, 79-87.

Halgren, E., Baudena, P., Clarke, J.M., Heit, G. et al. (1995). Intracerebral potentials to rare target and distractor auditory and visual stimuli. I. superior temporal plane and parietal lobe. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 94, 191-220.

Hamann, S.B. Ely, T.D., Grafton, S.T. & Kilts, C.D. (1999) Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience*, 2, 289-294.

Hamann, S.B., Ely, T.D., Hoffman, J.M. & Kilts, C.D. (2002). Ecstasy and agony: activation of the human amygdala in negative and positive emotion. *Psychological Science,* 13, 135-141.

Hamm, A.O., Cuthbert, B.N., Globisch, J. & Vaitl, D. (1997). Fear and startle reflex: Blink modulation and autonomic response patterns in animal and mutilation fearful subjects. *Psychophysiology*, 34, 97-107.

Hamm, A.O., Globisch, J., Cuthbert, B.N. & Vaitl, D. (1991). Startle reflex modulation in simple phobic and normals. *Paper presented to the Annual Meeting of the Society for Psychophysiological Research,* Chicago, IL.

Hamm, A.O., Schupp, H.T., Weike, A.I. (2003). Motivational organization of emotions: Autonomic changes, cortical responses and reflex modulation (pp.187-211). In: R.J. Davidson, K.R. Scherer & H. Hill Goldsmith (Eds.). *Handbook of Affective Sciences.* Oxford University Press.

Hanamori, T., Kunitake, T., Kato, K., Kannan, H. (1998). Responses of neurons in the insular cortex to gustatory, visceral, and nociceptive stimuli in rats. *Journal of Neurophysiology*, 79, 2535-2545.

Handforth, A., DeGiorgio, C.M., Schachter, S.C., Uthman, B.M., Naritoku, D.K., Tecoma, E.S. et al. (1998). Vagus nerve stimulation therapy for partial-onset seizures: A randomized active-control trial. *Neurology*, 51, 48-55.

Hantas, M., Katkin, E.S., Blascovich, J. (1982). Relationship between heartbeat discrimination and subjective experience of affective state (Abstract). *Psychophysiology*, 19, 563.

Harden, C.L., Pulver, M.C., Nikolov, B., Halper, J.P. & LaBar, D.R. (1999). Effect of vagus nerve stimulation on mood in adult epilepsy patients. *Neurology,* 52 (suppl 2), A238-P03122.

Harding, G.F., Thompson, D.G. (1995). Topograhic mapping of cortical potentials evoked by distension of the human proximal and distal esophagus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 96, 219-228.

Harper, R.M., Gozal, D., Bandler, R., Spriggs, D., Lee, J. & Algerm J. (1998). Regional brain activation in humans during respiratory and blood pressure challenges. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology,* 25, 483-486.

Harver, A., Katkin, E.S. & Bloch, E. (1993). Signal-detection outcomes on heartbeat and respiratory resistance detection tasks in male and female subjects. *Psychophysiology*, 30, 223-230.

Hauk, O., Keil, A., Elbert T. & Müller, M.M. (2002). Comparison of data transformation procedures to enhance topographical accuracy in time series analyses of the human EEG. *Journal of Neuroscience Methods,* 113, 111-122.

Hecht, M., Kober, H., Claus, D., Hilz, M. et al. (1999). The electrical and magnetical cerebral responses evoked by electrical stimulation of the esophagus and the location of their cerebral sources. *Clinical Neurophysiology,* 110, 1435-1444.

Heilman, K.M. & Van Den Abell, T. (1980). Right hemisphere dominance for attention: the mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention. *Neurology*, 30, 327-330.

Heims, H.C., Critchley, H.D., Dolan, R., Mathias, C.J. & Cipolotti, L. (2004). Social and motivational functioning is not critically dependent on feedback of autonomic responses: neuropsychological evidence from patients with pure autonomic failure. *Neuropsychologia*, 42, 1979-1988.

Herbert, B.M. & Schandry, R. (2004). Cardiac awareness and autonomic cardiac reactivity during emotional activation. (abstract). Journal of Psychophysiology, 18, 199-241.

Herbert, B.M., Ulbrich, P. & Schandry, R. (2004). Cardioception and behavior: Cardiac awareness may control ergometric workload in an every day situation. *Poster presented at the "46. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TEAP)" 2004 in Giessen*.

Herbert, B.M. & Schandry, R. (2005). Increased early, sensory processing of emotional stimuli in persons with good cardiac perception: An ERP study. Psychophysiology, 42, S1.

Herrmann, C.S. & Knight, R. (2001). Mechanisms of human attention: event-related potentials and oscillations, Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 25, 465-476.

Hillyard, S.A. & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of National Academy Sciences*, 95,781-787.

Hillyard, S.A., Hink, R.F., Schwent, V.L., Picton, T.W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science,* 182, 177-180.

Hobson, A.R., Aziz, Q., Furlong, P.L. & Thompson, D.G. (2000). Identification of optimal parameters for recording cortical evoked potentials by mechanical stimulation of the human esophagus. *Neurogastroenterology and Motility*, 12, 163-171.

Hodgson, T.L., Mort, D., Chamberlain, M.M., Hutton, S.B., O´Neill, K.S. & Kennard, C. (2002). Orbitofrontal cortex mediates inhibition of return. Neuropsychologia, 40, 1891-1901.

Hohmann, G.W. (1966). Some effects of spinal cord lesions on experienced emotional feelings. *Psychophysiology,* 3,

Hollerbach, S., May, A., Kamath, M., Shine, G., Uptin, A.R.M. & Tougas, G. (2001). Objective assessment of cognitive factors involved in visceral perception by using event-related cerebral evoked responses to oesophagal target stimulation in man. *Digestive Diseases and Sciences,* 46, 790-801.

Holt, L.E., Raine, A. Pa, G., Schneider, L.S., Henderson, V.W., Pollock, V.E. (1995). P300 topography in Alzheimer´s disease. *Psychophysiology*, 32, 257-265.

Hopfinger, J.B. & Mangun, G.R. (1998). Reflexive attention modulates processing of visual stimuli in human extrastriate cortex. *Psychological Science*, 9, 441-447.

Hutchison, W.D., Davis, K.D., Lozano, A.M. et al. (1999). Pain-related neurons in the human cingulated cortex, *Nature Neuroscience*, 2, 403-405.

Intraub, H. (1999). Understanding and remembering briefly glimpsed pictures: implications for visual scanning and memory. In: V. Coltheart (Ed.), *Fleeting memories: Cognition of brief visual stimul*i (pp. 47-70). Cambridge, MA: The MIT Press.

Ito, T.A. & Cacioppo, J.T. (2005). Variations on a human universal: Individual differences in positivity offset and negativity bias. *Cognition and Emotion*, 19, 1-26.

Ito, T.A., Cacioppo, J.T. & Lang, P.J. (1998). Eliciting affect using the international affective picture system: Trajectories through evaluative space. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 24, 855-879.

Iwai E, Yukie M (1987) Amygdalofugal and amygdalopetal connections with modality-specific visual cortical areas in macaques (*Macaca fuscata, M. mulatta,* and *M. fascicularis*). *Journal of Comparative Neurology*, 261, 362-387.

Izard, C.E. (1977). *Human emotions*. New York: Plenum Press.

Jaening, W. (1995). Visceral afferent neurons: Neuroanatomy and functions, organ regulations and sensation. In: D. Vaitl & R. Schandry (Eds.) *From the heart to the brain* (pp.5-34). Frankfurt am Main: Verlag Peter Lang, Europäischer Verlag der Wissenschaften.

Jaening, W. (1996). Neurobiology of visceral afferent neurons: Neuroanatomy, functions, regulations and sensations. *Biological Psychology*, 42, 29-51.

James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9, 188-205.

James, W. (1890a). *Principles of Psychology. Vol. 1*. New York: Henry Holt & Company.

James, W. (1890b). *Principles of Psychology. Vol. 2*. New York: Henry Holt & Company.

James, W. (1950). *The principles of psychology.* Vol. 1 and 2. New York: Dover Publications,

Jenike, M.A. & Pittman, R.K. (1996). A symptom provocation study of posttraumatic stress disorder using positron emission tomography and script-driven imagery. *Archives of General Psychiatry*, 53, 380-387.

Johnson, R.J. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, 23, 367-384.

Johnson-Laird, P.N. & Oatley, K. (1992). Basic emotions. rationality. and folk theory. Cognition and Emotion, 6, 201-223.

Jones, G.E. (1994). Perception of visceral sensations: a review of recent findings, methodologies, and future directions (pp. 55-191). In: J.R. Jennings, P.K. Ackles & M.G.H. Coles (Eds.), *Advances in Psychophysiology*, Vol. V, Jessica Kingsley Publishers, London.

Jones, G.E., Leonberger, T.F., Rouse, C.H., Caldwell, J.A. & Jones, K.R. (1986). Preliminary data exploring the presence of an evoked potential associated with cardiac visceral activity (Abstract). *Psychophysiology*, 23, 445.

Junghöfer, M., Bradley, M.M., Elbert, T.R., Lang, P.J. (2001). Fleeting images: A new look at early emotion discrimination. *Psychophysiology*, 38, 175-178.

Junghöfer, M., Perlstein, W.M., Russmann, T., May, J.C., Cuthbert, B.N., Bradley, M.M. & Lang, P.J. (1999). Arousal sensitive slow wave in high-density EEG. *Psychophysiology*, 36, S64.

Junghöfer, M., Sabatinelli, D., Bradley, M.M., Schupp, H.T., Elbert, T.R. & Lang, P.J. (2006). Fleeting images: rapid affect discrimination in visual cortex. *Neuroreport*, 17, 225-229.

Kamath, M.V., Hollerbach, S., Bajwa, A., Fallen, E.L., Upton, A.R.M. & Tougas, G. (1998). *Cardiovascular Research*, 40, 591-599.

Kano, M., Fukudo, S, Gyoba, J., Kamachi, M., Tagawa, M., Mochizuki, H., Itoh, M., Hingo, M. & Yanai, K. (2003). Specific brain processing of facial expressions in people with alexithymia: an H2 150-PET study. *Brain*, 126, 1474-1484.

Karnath, H.O. & Their, P. (2003). *Neuropsychologie. B*erlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Katkin, E. S. (1985). Blood, sweat, and tears: Individual differences in autonomic self-perception. *Psychophysiology*, 22, 125-137.

Katkin, E., Cestaro, V.L. & Weitkunat, R. (1991). Individual differences in cortical evoked potentials as a function of heartbeat detection ability. *International Journal of Neuroscience*, 61, 269-276.

Katkin, E.S. (1985). Blood, sweat, and tears: Individual differences in autonomic self-perception. *Psychophysiology*, 22, 125-137.

Katkin, E.S., Blascovich, J., Reed, S.D., Adamec, J., Jones, J. & Taublieb, A. (1992). The effect of psychologically induced arousal on accuracy of heartbeat self-perception (Abstract). *Psychophysiology*, 19, 568.

Katkin, E.S., Morell, M.A., Goldband, S., Bernstein, G.L. & Wise, J.A. (1982). Individual differences in heartbeat discrimination. *Psychophysiology*, 19, 160-166.

Katkin, E.S., Wiens, S. & Öhman, A. (2001). Nonconscious fear conditioning, visceral perception, and the development of gut feelings. *Psychological Science*, 12, 366-370.

Keil, A., Bradley, M.M., Hauk, O., Rockstroh, B., Elbert, E. & Lang, P.J. (2002). Large-scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology*, 39, 641-649.

Keil, A., Müller, M.M., Gruber, T., Stolarova, M., Wienbruch, C. & Elbert, T. (2001). Effects of emotional arousal in the cerebral hemispheres: A study of oscillatory brain activity and event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 112, 2057-2068.

Kerns, J.G., Cohen, J.D., MacDonald, A.W., Cho, R.Y., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303, 1023-1026.

Kiehl, K.A, Hare, R.D., Liddle, P.F., & McDonald, J.J. (1999). Reduced P300 response in criminal psychopaths during a visual oddball task. *Biological Psychology*, 45, 1498-1507.

King, A.B., Medon, R.S., Hachinski, V., Cechetto, D.F. (1999). Human forebrain activation by visceral stimuli. *Journal of Comparative Neurology*, 413, 572-582.

Kirinio, E., Belger, A., Goldman-Rakic, P., McCarthy, G. (2000). Prefrontal activation evoked by infrequent target and novel stimuli in a visual target detection task: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 20, 6612-6618.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Rohm, D., Pollhuber, D., & Stadler, W. (2000). Simultaneous desynchronization and synchronization of different alpha responses in the human electroencephalograph: a neglected paradox? *Neuroscience Letters.* 284, 97-100.

Klocke, K. & Breuel, L. (2000). *Hämodynamisches Management*, Tagungsband der 1. Nationalen Konferenz in Ilmeanu, 19.10.1996, International Hemodynamic Society. ISLE Verlag Ilmenau.

Klorman, R. (1991). Cognitive event-related potentials in attention deficit disorder. *Journal of Learning Disabilities,* 24, 130-140.

Klorman, R., Weissbert, R.P & Wiesenfeld, A.R. (1977). Individual differences in fear and autonomic reactions to affective stimulation. *Psychophysiology*, 14, 45-51.

Knapp, K.A. & Brener, J. (1998). Mechanoreceptors responsible for transducing heartbeat sensations. *Psychophysiology*, 35, S51.

Knapp-Kline, K. & Kline, J.P. (2005). Heart rate, heart rate variability, and heartbeat detection with the method of constant stimuli. *Biological Psychology,* 69, 387-396.

Knight, R.T. (1984) Decreased response to novel stimuli after prefrontal lesions in man, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59, 9-20.

Knight, R.T., Hillyard, S.A., Woods, D.L., Neville, H.J. (1980). The effects of frontal and temporo-parietal lesions on the auditory evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 50, 112-126.

Kohlman, C.W. (1993). Strategies in blood pressure estimation: the role of vigilance, cognitive avoidance and gender. In: H.W. Krone (Ed.). *Attention and Avoidance*. Toronto: Hogrefe and Huber, pp. 213-235.

Kok, A. (1997). Event-related-potential (ERP) reflections of mental resources: a review and synthesis. *Biological Psychology*, 45, 19-56.

Kollenbaum, V.E. (1990). *Interozeption kardiovaskulärer Belastung bei Koronarpatienten.*Frankfurt: Lang.

Kollenbaum, V.E. (1994b). A clinical method fort he assessment of interoception of cardiovascular strain in CHD patients. *Journal of Psychophysiology,* 8, 121-130.

Kollenbaum, V.E., Dahme, B., Kirchner, G., Katenkamp, B., Wagner, C. (1994a). Self-estimation of cardiovascular load in healthy young people. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 1, 78-97.

Konorski, J. (1967). *Integrative activity of the brain: An interdisciplinary approach*. Chicago: University of Chicago Press.

Kosson, D.S. & Newman, J.P. (1986). Psychopathy and the allocation of attentional capacity in a divided-attention situation, *Journal of Abnormal Psychology,* 95, 257-263.

Kubicek, W.G. (1989) On the source of peak first time derivative (dZ/dt) during impedance cardiography, *Ann Biomed Eng,* 17, 459-462.

Kupfer, J., Brosig, B., Brähler, E. (2000). *TAS-26. Toronto-Alexithymie-Skala*. Deutsche Version. Göttingen: Hogrefe .

LaBar, K.S., Gitelman, D.R., Parrish, T.B., Nobre, A.C. & Mesulam, M.M. (2001). Hunger selectively modulates corticolimbic activation to food stimuli in humans. *Behavioral Neuroscience*, 115, 493-500.

Lacey, J.L. & Lacey, B.C. (1970). Some autonomic-central nervous relationships. In: Black. P. (Ed.) *Physiological Correlates of Emotion.* New York. London. Academic Press.

Lane, R.D. & Schwartz, G.E. (1987). Levels of emotional awareness: A cognitive-developmental theory and its application to psychopathology. *American Journal of Psychiatry,* 144, 133-143.

Lane, R.D., Chua, P.M. & Dolan, R.J. (1999). Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia,* 37, 989-997.

Lane, R.D., Fink, G.R., Chau, P.M. & Dolan, R.J. (1997). Neural activation during selective attention to subjective emotional responses. *Neuroreport,* 8, 3969-3972.

Lane, R.D., Kevley, L.S., DuBois, M.A., Shamasundra, P. & Schwartz, G.E. (1995). Levels of emotional awareness and the degree of right hemispheric dominance in the perception of facial emotion. *Neuropsychologia*, 33, 525-528.

Lane, R.D., Reiman, E.M., Ahern, G.L. & Schwartz, G.E. (1997). Neuroanatomical correlates of happiness, sadness, and disgust. *American Journal of Psychiatry*, 154, 926-933.

Lane, R.D., Reiman, E.M., Axelrod, B., Yun, L.S., Holmes, A. & Schwartz, G.E. (1998). Neural correlates of levels of emotional awareness. Evidence of an interaction between emotion and attention in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 525-535.

Lane, R.D., Reiman, E.M., Bradley, M.M., Lang, P.J., Ahern, G.L., et al., (1997). Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia*, 35, 1437-1444.

Lane, R.D., Sechrest, L., Riedel, R., Shapiro, D.E., Kaszniak, A. (2000). Pervasive emotion recognition deficit common to alexithymia and the repressive coping style. *Psychosomatic Medicine,* 62, 492-501.

Lane, R.D., Quinlan, D.W., Schwartz, G.E., Walker, P.A. & Zeitlin, B. (1990). Levels of emotional awareness scale: a cognitive-developmental measure of emotion. *Journal of Personality Assessment*, 55, 124-134.

Lang, P. J. (1980). Behavioral treatment and bio-behavioral assessment: Computer applications. In J. B. Sidowski. J. H. Johnson. & E. A Williams (Eds.). *Technology in Mental Health Care Delivery Systems* (pp. 119-137). Norwood. NJ: Ablex.

Lang, P.J., Bradley, M.M. Cuthbert, B.N. (1990). Emotion, attention, and the startle reflex. Psychological Review, 97 (3), 377-395.

Lang, P.J., Bradley, M.M. & Cuthbert, B.N. (1992). A motivational analysis of emotion: Reflex-cortex connections. *Psychological Science*, 3, 44-49.

Lang, P.J., Bradley, M.M. & Cuthbert, B.N. (1997). Motivated attention: Affect, activation, and action. In: Lang, P.J., Simons, R.F. & Balaban, M.T. (Eds.). *Attention and orienting: Sensory and motivational processes* (S. 97-135). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

Lang, P.J., Bradley, M.M. & Cuthbert, B.N. (1998). Emotion, motivation, and anxiety: Brain mechanisms and psychophysiology. *Biological Psychology*, 44, 1248-1263.

Lang, P.J., Bradley, M.M. & Cuthbert, B.N. (1999). I*nternational Affective Picture System (IAPS): Instruction Manual and Affective Ratings. Technical Report A-4.* The Center for Research in Psychophysiology. University of Florida.

Lang, P.J., Greenwald, M.K., Bradley, M.M. & Hamm, A.O. (1993). Looking at pictures: affective, facial, visceral and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30, 185-198.

Lang, P.J., Greenwald, M.K., Bradley, M.M. & Hamm. A.O. (1993). Looking at pictures: affective. facial. visceral and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30, 185-198.

Lange, C. (1887). *Über Gemüthsbewegungen.* Leipzig: Verlag Theodor Thomas.

Laux, L., Glanzmann, P., Schaffner, P. & Spielberger, C.D. (1981). *State-Trait-Angstinventar: Theoretische Grundlagen und Handanweisung*, Beltz, Weinheim.

Lazarus, R.S. (1991). Cognition and motivation in emotion. *American Psychologist*, 46, 352-367.

Le Doux, J. (1996). *The emotional brain. The mysterious underpinnings of emotional life*. Simon & Schuster. New York.

LeDoux, J. (1998). *Das Netz der Gefühle. Wie Emotionen entstehen*. München: Hanser.

LeDoux, J.E. (1994). Emotion, memory systems and the brain. *Scientific American*, 270, 32-

LeDoux, J.E. (1995). Emotions: Clues from the brain. *Annual Review of Psychology,* 46, 209-235.

LeDoux, J.E. (1996). *The Emotional brain. The mysterious underpinnings of emotional life.* New York: Simon & Schuster.

LeDoux, J.E., Cichetti, P., Xagoraris, A., & Romanski, L.M. (1990). The lateral amygdaloid nucleus: Sensory interface of the amygdale in fear conditioning. *Journal of Neuroscienc*e, 10, 1062-1069.

Leopold, C. & Schandry, R. (2001), The heartbeat-evoked brain potential in patients suffering from diabetic neuropathy and in healthy control persons. *Clinical Neurophysiology*, 112, 674-682.

Levenson, R.W., Ekman, P., Friesen, W.V. (1990). Voluntary facial action generates emotion-specific autonomic nervous system activity. *Psychophysiology*, 27, 363-384.

Leventhal, H. (1974). Emotions: A basic problem for social psychology. In: Nemeth, C. (Ed.). *Social psychology: Classic and contemporary integrations.* Chicago: Rand McNally.

Leweke, F. (2004). Alexithymia. Emotional stimulation and neuronal activity in fMRI. Journal of Psychosomatic Research, 56, 581-673.

Liebhart, E.H. (1974). Attributionstherapie. Beeinflussung herzneurotischer Beschwerden durch Externalisierung kausaler Zuschreibungen. *Zeitschrift für Klinische Psychologie*, 3, 71-94.

Liotti, M., Brannan, S., Egan, G., Shade, R. Et al. (2001). Brain responses associated with consciousness of breathlessness (air hunger). *Proceedings of the National Academy of Science, USA,* 98, 2035-2040.

Lovallo, W.R., Pincomb, G.A., Sung, B.H., Wilson, M.F. (1993). Impedance cardiography used to assess patterns of cardiovascular response to behavioral stressors. *Biological Psychology*, 36, 97-105

Lubar, J.F., Gross, D.M., Shively, M.S., Mann, C.A. (1990). Differences between normal, learning disabled and gifted children based upon an auditory evoked potential task. Journal of *Psychophysiology*, 4, 249-260.

Luck, S.J., Heinze, H.J., Mangun, G.R., Hillyard, S.A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. ii. Functional dissociation of P1 and N1 components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75, 528-542.

Ludwick-Rosenthal, R. & Neufeld, R,W. (1965). Heart beat interoception: a study of individual differences. *International Journal of Psychophysiology*, 3, 57-65.

Mack, H., Kaiser, J. & Birbaumer, N. (2000). Motion and emotion: Emotional processing in quadriplegic patients and athletes. *Psychophysiology*, 37, S65.

Maia, T.V. & McClelland, J.L. (2004). A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: what participants really know in the Iowa gambling task. Proceedings of the National Academy for Science USA, 101, 16075-16080.

Mandler, G. (1975). *Mind and emotio*n. New York: Wiley.

Matthews, K.A., Salomon, K., Brady, S.S., Allen, M.T. (2003) Cardiovascular reactivity to stress predicts future blood pressure in adolescence, *Psychosomatic Medicine*, 65, 410-415.

McCarthy, G., Luby, M., Gore, J., Goldman-Rakic, P. (1997). Infrequent events transiently activate human prefrontal and parietal cortex as measured by functional MRI. *Journal of Neurophysiology,* 77, 1630-1640.

McCormick, D.A. & Balin, T. (1994). Sensory gating mechanism of the thalamus. Current Opinion in *Neurobiology*, 4, 550-556.

McFarland, R.A. (1975). Heart rate perception and heart rate control. *Psychophysiology*, 12, 402-405.

McGaugh, J.L., & Cahill, L. (2003). Emotion and memory: central and peripheral contributions. In: Davidson, R.J., Scherer, K.R. & Goldsmith, H.H., *Handbook of affective sciences,* (pp. 93-116), Oxford University Press.

McNally, R.J., Riemann, B.C. & Kim, E. (1990). Selective processing of threat cues in panic disorder. *Behavioral Research and Therapy*, 28, 407-412.

Mehrabian, A. & Russell, J.A. (1974). *An approach to environmental psychology*. Cambridge. MA: MIT Press.

Miller, E.K. & Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Reviews of Neuroscience,* 24, 167-202.

Miltner, W., Matjak, M., Braun, C. & Diekman, H. (1994). Emotional qualities of odors and their influence on the startle reflex in humans. *Psychophysiology,* 31, 107-110.

Mini, A., Palomba, D., Angrilli, A. & Bravi, S. (1996). Emotional information processing and visual evoked brain potentials. P*erceptual and Motor Skills*, 83, 143-152.

Miyawaki, E., Perlmutter, J.S., Troster, A.I. et al. (2000). The behavioral complications of pallidal stimulation : A case report. *Brain & Cognition*, 42. 4187-434

Mogg, K. & Bradley, B.P. (2002). Selective orienting of attention to masked threat faces in social anxiety. *Behaviour Research and Therapy,* 40, 1403-1414.

Mogg, K., Philippot, P. & Bradley, B.P. (2004) Selective attention to angry faces in clinical social phobia. *Journal of Abnormal Psychology*, 113 (1), 160-165.

Montoya, P. & Schandry, R. (1994). Emotional experience and heartbeat perception in patients with spinal cord injury and control subjects. *Journal of Psychophysiology*, 8, 289-296.

Montoya, P., Schandry, R., Müller, A. (1993). Heartbeat evoked potentials (HEP): topography and influence of cardiac awareness and focus of attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 88, 163-172.

Moratti, S., Keil, A. & Stolarova, M. (2003). Motivated attention in emotional picture processing is reflected by activity modulation in cortical attention networks. *Neuroimage*, 21, 954-964.

Morris, J.S., Friston, K.J. & Dolan, R.J. (1998). Experience-dependent modulation of tonotopic neural responses in human auditory cortex. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 265, 649-657.

Morris, J.S., Friston, K.J., Büchel, C., Frith, C.D., Young, A.W., Calder, A.J. & Dolan, R.J. (1998). A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain*, 121, 47-57.

Morris, J.S., Friston, K.J., Dolan, R.J. (1997). Neural responses to salient visual stimuli. *Proceedings of Royal Society of London, B Biological Sciences*, 264, 769-775.

Mussgay, L., Klinkenberg, N. & Rueddel, H. (1999). Heart beat perception in patients with depressive, somatoform, and personality disorders. *Journal of Psychophysiology,* 13, 27-36.

Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral Brain Science*, 13, 201-288.

Nemiah, J.C. (1977). Alexithymia. Theoretical considerations. Psychotherapy and Psychosomatics, 28, 199-206.

Neumann, S.A., Waldstein S.R. (2001) Similar patterns of cardiovascular response during emotional activation as a function of affective valence and arousal and gender, *Journal of Psychosomatic Research*, 50, 245-253.

Newen, A. & Vogeley, K. (2001). *Selbst und Gehirn*. Paderborn: mentis Verlag GmbH.

Nisebett, R.E. & Schachter, S. (1966). Cognitive manipulation of pain. *Journal of Experimental Social Psychology,* 2, 227-236.

North, N.T. & Carroll, R.E. (2001). Decision making in patients with spinal cord damage: afferent feedback and the somatic marker hypothesis. *Neuropsychologia*, 39, 521-524.

O´Brien, W.H., Reid, G.J. & Jones, K.R. (1998). Differences in heartbeat awareness among males with higher and lower levels of systolic blood pressure. *International Journal of Psychophysiology*, 29, 53-63.

O´Doherty, J.P., Deichmann, R., Critchley, H.D., Dolan, R.J. (2002). Neural responses during anticipation of a primary taste reward. *Neuron*, 33, 815-826.

Obrist, P.(1981). *Cardiovascular psychophysiology*. New York. Plenum.

Öhman, A. & Soares, J.J.F. (1994). „Unconscious anxiety“: Phobic responses to masked stimuli, J*ournal of Abnormal Psychology,* 103, 231-240.

Öhman, A. & Soares, J.J.F. (1998). Emotional conditioning to masked stimuli: Expectancies for aversive outcomes following non-recognized fear-relevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General,* 127, 69-82.

Öhman, A., Flykt, A. & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass, *Journal of Experimental Psychology: general*, 130, 466-478.

Opitz, B. (2003). ERP and fMRI correlates of target and novelty processing. In: J. Polich (Ed.), *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings*. Kluwer Academic Press, Boston, 2003, pp. 117-132.

Opitz, B., Mecklinger, A., von Cramon, D.Y. (1999). Combining electrophysiological and hemodynamic measures of the auditory oddball. *Psychophysiology*, 36, 142-147.

Osgood, C.E., Suci, G.J. & Tannenbaum. P.H. (1957). *The measurement of meaning*. University of Illinois Press. Urbana III.

Palomba, D., Angrilli, A. & Mini, A. (1997). Visual evoked potentials, heart rate responses and memory to emotional pictorial stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 27, 55-67.

Palomba, D., Sarlo, M., Angrilli, A., Mini, A. & Stegagno, L. (2000). Cardiac responses associated with affective processing of unpleasant film stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 36, 45-57.

Palomba, D., Stegagno, L. (1993). Physiology, perceived emotion and memory: responding to film sequences. In: Birbaumer, N., Öhmann, A. (Eds.), *The structure of emotion*, Hogrefe and Huber, Toronto.

Panksepp, J. (1998). *Affective Neuroscience: The foundations of human and animal emotions.* New York: Oxford University Press.

Pauli, P., Dengler, W., Wiedemann, G., Montoya, P., Flor, H., Birbaumer, N., Buchkremer, G. (1997). Behavioral and neurophysiological evidence for altered processing of anciety-related words in panic disorder. *Journal of Abnormal Psychology,* 106, 213-220.

Pauli, P., Hartl, L., Marquart, C., Stalmann, H. & Strian, F. (1991). Heartbeat and arrhythmia perception in diabetic autonomic neuropathy. *Psychological Medicine*, 21, 413-421.

Pauli, P., Marquart, C., Hartl, L., Nutzinger, D.O., Hölzl, R. & Strian, F. (1991). Anxiety induced by cardiac perceptions in patients with panic attacks: A field study. *Behaviour Research and Therapy*, 29, 137-145

Pennebakeer, J.W., & Lightner, J.M. (1980). Competition of internal and external information in an exercise setting. J*ournal of Personality and Social Psychology*, 39, 165-174.

Pennebaker, J.W. *The psychology of physical symptoms*. Berlin: Springer; 1982.

Pennebaker, J.W. (1981). Stimulus characteristics influencing estimation of heart rate. *Psychophysiology*, 18, 540-548.

Pennebaker, J.W. (1995). Beyond laboratory-based cardiac perception: Ecological interoception. In: Vaitl, D. & Schandry, R. (Eds.). *From the Heart to the Brain.* Peter Lang, Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main.

Pennebaker, J.W., Gonder-Frederick, L.A., Cox, D.J. & Hoover, C.W. (1985). General versus specific viceral perception and the regulation of behavior. In: E.S. Katkin & S.B. Manuck (Eds.). *Advances in behavioral medicine* (pp. 165-198). Greenwich, CT: JAI Press.

Pessoa, L., Kastner, S., & Ungerleider. L.G (2002). Attentional control of the processing of neutral and emotional stimuli. *Cognitive Brain Research,* 15, 31-45.

Pfefferbaum, A., & Ford, J.M. (1988). ERPs to stimuli requiring response production and inhibition: effects of age, probability and visual noise. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiolog*y, 71, 55-63.

Pfefferbaum, A., Ford, J., Weller, B.J., Kopell, B.S. (1985). ERPs to response production and inhibition. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 423-434.

Phan, K.L., Wager, T., Taylor, S.F. & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-anaylsis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16, 331-348.

Phelps, E.A., O´Connor, K.J., Gatenby, J.C., Gore, J.C., Grillon, C. & Davis, M. (2001). Activation of the left amygdale to a cognitive representation of fear. *Nature Neuroscienc*e, 4, 437-441.

Picton, T. W. & Hillyard, S.A. (1974). Human auditory evoked potentials, II. Effects of attention, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 36, 191-199.

Pinel, J.P.J. (2005). *Biopsychology*. Allyn & Bacon: US.

Pinosi, P.T. (2004). Measurement of exercise cardiac output by thoracic impedance in healthy children. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 425-430.

Plutchik, R. (1962). The Emotions: Facts, theories, and a new model. New York: Random House.

Plutchik, R. (1970). Emotions, evolution, and adaptive processes. In: Arnold, M.B. (Ed.). *Feelings and emotions.* New York: Academic Press.

Plutchik, R. (1980). *Emotion: A psychoevolutionary synthesis*. New York. Harper & Row.

Polich, J. & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology,* 41, 103-146.

Polich, J. & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology*, 41, 103-146.

Pollatos O, Schandry R. (2004a) Accuracy of heartbeat perception is reflected in the amplitude of the heartbeat-evoked brain potential. *Psychophysiology*, 41,476-82.

Pollatos O, Auer DP, Schandry R, Kaufmann C. (2004b). *Autonomic awareness: neural activity during the perception of cardiovascular arousal.* In: 10th Annual Meeting of the Organization for Human Brain mapping, Budapest, Hungary; 2004. p. TU285.

Pollatos O, Kirsch W. Schandry, R. (2005a) Brain structures involved in interoceptive awareness and cardioafferent signal processing: A dipole source localisation study. *Human Brain Mapping*, 26, 54-64.

Pollatos, O., Kirsch, W. & Schandry, R. (2005b). On the relationship between interoceptive awareness, emotional experience and brain processes. *Cognitive Brain Research*, 23, 948-962.

Porges, S.W. (1992). Autonomic regulation and attention. In: B.A. Campbell, H. Hayne, R. Richardson (Eds.). *Attention and information processing in infants and adults. Perspectives from human and animal research* (pp. 201-223). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ

Porges, S.W. (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a social nervous system. International *Journal Psychophysiology*. 42, 123-146.

Porubska, K., Veit, R., Preissl, H., Tschritter, O., Häring, H.U., Fritsche, A. & Birbaumer, N. (2005). Subjective hunger feeling modulates cortical brain activity: A fMRI study. *Psychophysiology*, 42, S30.

Posner, M. I. (1996). Converging cognitive and neuroscience approaches to attention. *International Journal of Psychophysiology,* 31, 33-40.

Posner, M.I. & Petersen, S.E. (1990). The attention system in the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.

Potter, M.C. (1999). Understanding sentences and scenes: The role of conceptual short-term memory. In: V. Coltheart (Ed.), *Fleeting memories: Cognition of brief visual stimul*i (pp. 13-46). Cambridge, MA: The MIT Press.

Price, D.D. (2000). Psychological and neural mechanisms of the affective dimension of pain, *Science*, 288, 1769-1772.

Prichard, W.S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89, 506-540.

Rasmussen, C.H., Munck, A., Kragstrup, J., Haghfelt, T. (2003). Patient delay from onset of chest pain suggesting acute coronary syndrome to hospital admission. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 37,183-186.

Rau, H., Pauli, P., Brody, S., Elbert, T. & Birbaumer, N. (1993). Baroreceptor stimulation alters cortical activity. *Psychophysiology*, 30, 322-325.

Reiman, E.M. (1997). The application of positron emission tomography to the study of normal and pathological emotion, *Journal of Clinical Psychiatry*, 58 (Suppl.), 4-12.

Reiman, E.M., Lane, R.D., Ahern, G.L. & Schwartz, G.E. (1997). Neuroanatomical correlates of internally and externally generated human emotion. *American Journal of Psychiatry,* 154, 918-925.

Reisenzein, R. (1983). The Schachter theory of emotion: Two decades later. *Psychological Bulletin,* 94, 239-264.

Richards, J.E, & Casey, B.J. 1992. Development of sustained visual attention in the human infant (pp. 30-60). In: Campbell, B.A., Hayne, H., Richardson, R. (Eds.), *Attention and Information Processing in Infants and adults: Perspectives from Human and Animal Research.* Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.

Riordan, H., Squires, N.K., Brenner, J. (1990). Cardio-cortical potentials: electrophysical evidence for visceral perception. *Psychophysiology*, 27, 559.

Ritter, W. & Ruchkin, D.S. (1992). A review of event-related potential components discovered in the context of studying P3. In: D. Friedman & G.E. Bruder (Eds.), *Psychophysiology and experimental psychopathology: A tribute to Samuel Sutton* (pp.1-32). Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 658. New York Academy of Sciences.

Ritter, W. & Vaughn, H.G. (1969), Averaged evoked responses in vigilance and discrimination: a reassessment. *Science*, 164, 326-328.

Roberts, R.J., Weerts, T.C. (1982). Cardiovascular responding during anger and fear imagery. *Psychology Report*, 50, 219-230.

Robinson, R.G. (1995). Mapping brain activity associated with emotion. *American Journal of Psychiatry, 152*, 327-329.

Russel, J.A. & Mehrabian, A. (1977). Evidence for a three-factor theory of emotion. *Journal of Research in Personality*, 11, 273-294.

Rolls, E.T. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. Cerebral Cortex, 10, 284-294.

Sabatinelli, D., Bradley, M.M., Fitzsimmons, J. & Lang, P.J. (2005). Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance. *Neuroimage*, 24, 1265-1270.

Saper, C.B. (1982). Convergence of autonomic and limbic connection in the insular cortex of the rat. *Journal of Comparative Neurology*, 210, 163-173.

Saper, C.B. (2002). The central autonomic nervous system: Conscious visceral perception and autonomic pattern generation. *Annual Review of Neuroscience,* 25, 433-469.

Sarkar, S., Hobson, A.R., Furlong, P.L., Woolf, C.J., Thompson, D.G. & Aziz, Q. (2001). Central neural mechanisms mediating human visceral hypersensitivity. *American Journal of Gastrointestinal Liver Physiology,* 218, 1196-1202.

Sato, A. (1997). Neural mechanisms if autonomic responses elicited by somatic sensory stimulation. *Neurosci. Behav. Physiol.*, 27, 610-621.

Sato, W., Kochiyama, T., Yoshikawa, S. & Matsumura, M. (2001). Emotional expression boosts early visual processing of the face: ERP recording and its decomposition by independent component analysis. *Neuroreport*, 12, 709-714.

Schächinger, H., Weinbacher, M., Kiss, A., et al. (2001) Cardiovascular indices of peripheral and central sympathetic activation, *Psychosomatic Medicine*, 63, 788-796.
Schachter, S. & Singer, J.E. (1962). Cognitive, social and physiological determinants of emotional state. *Psychological Review,* 69, 379-399.

Schachter, S. (1964). The interaction of cognitive and physiological determinants of emotional state. In: Berkowitz, L. (Ed.). *Advances in experimental and social psychology* (pp. 49-80). New York: Academic Press.

Schandry, R., Weitkunat, R. (1990). Enhancement of heartbeat-related brain potentials through cardiac awareness training. *International Journal of Neuroscience*, 53, 3-53.

Schandry, R. & Bestler, M. (1995). The association between parameters of cardiovascular function and heartbeat perception. In: D. Vaitl & R. Schandry (Eds.) *From the heart to the brain: The psychophysiology of circulation – brain interaction.* Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH, Europäischer Verlag der Wissenschaften.

Schandry, R. & Montoya, P. (1994). Interindividual differences in cardiac awareness and their relation to cardiac function. *Psychophysiology,* 31: S86.

Schandry, R. & Montoya, P. (1996). Event-related brain potentials and the processing of cardiac activity. *Biological Psychology*, 42, 75-85.

Schandry, R. & Specht, G. (1981). The influence of psychological and physical stress on the perception of heartbeats (Abstract). *Psychophysiology,* 18, 154.

Schandry, R. (1981). Heart beat perception and emotional experience. *Psychophysiology*, 18, 483-488.

Schandry, R. (1983). On the relation between the improvement of cardiac perception and the increase of emotional experience. Psychophysiology, 20, 468-469.

Schandry, R. (2003a) *Biologische Psychologie,* Beltz PVU, Weinheim, Basel, Berlin.

Schandry, R. (2003b) Vom Herz zum Hirn. *Deutsche Medizinische Wochenschrift,* 128, 2707-2711.

Schandry, R., Bestler, M. & Montoya, P. (1993). On the relation between cardiodynamics and heartbeat perception. *Psychophysiology,* 30, 467-474.

Schandry, R., Sparrer, B., Weitkunat, R. (1986). From the heart to the brain: A study of heartbeat contingent potentials. *International Journal of Neuroscience,* 30, 261-275.

Scherhag, A.W, Pfleger, S., de Mey, C., Schreckenberger, A.B., Staedt, U., Heene, D.L. (1997). Continuous measurement of hemodynamic alterations during pharmacologic cardiovascular stress using automated impedance cardiography. *Journal of Clinical Pharmacology*, 37:21S– 8S.

Schmidt, R.F. (1987). *Grundriß der Neurophysiologie.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Schnitzler, A., Ploner, M., Schmitz, F., Freund, H.J. (1999). Parallel activation in primary and secondary somatosensory cortices in human pain processing. *Journal of Neurophysiology*, 81, 3100-3104.

Schulkin, J., Thompson, B.L. & Rosen, J.B. (2003). Demytholiziging the emotions. Adaptation, cognition and visceral representation of emotions in the nervous system. *Brain and Cognition*, 52, 15-23.

Schupp H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I. & Hamm, A.O. (2004b). The selective processing of briefly presented affective pictures: An ERP analysis. *Psychophysiology*, 41, 441-449.

Schupp, H.T., Cuthbert, B.N., Bradley, M.M., Cacioppo, J.T., Ito, T. & Lang, P.J. (2000). Affective picture processing: The late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology,* 37, 257-261.

Schupp, H.T., Cuthbert, B.N., Bradley, M.M., Hillman, C.H., Hamm, A.O. & Lang, P.J. (2004). Brain processes in emotional perception: motivated attention. *Cognition & Attention*, 18, 593-611.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I. & Hamm, A.O. (2003a). Emotional facilitation of sensory processing in the visual cortex. *Psychological Science*, 14, 7-13.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I. & Hamm, A.O. (2003b). Attention and emotion: an ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 14, 1107-1110.

Schupp, H.T., Öhman, A., Junghöfer, M., Weike, A.I., Stockburger, J. & Hamm, A.O. (2004a). The facilitated processing of threatening faces: An ERP analysis. *Emotion*, 4, 189-200.

Schupp, H.T., Stockburger, J., Weike, A., Mohrmann, H. & Hamm, A.O. (1999). Emotion and attention: High density ERP recordings during picture processing. *Psychophysiology,* 36, S104.

Schwartz, G.E., Weinberger, D.A., Singer, J.A. (1981). Cardiovascular differentation of happiness, sadness, anger, and fear following imagery and exercise, *Psychosomatic Medicine*, 43, 343-364.

Sheifer, S.E., Manolio, T.A., Gersh, B.J. (2001). Unrecognized myocardial infarction. *Annals of Internal Medicine,* 135, 801-811.

Sherrington, C.S. (1900). *The Text-book of physiology*. E.A. Schäfer (Ed.) (pp. 920-1001). Pentland, Edinburgh, UK.

Sherwood, A., Allen, M.T., Fahrenberg, J., Kelsey, T., Lovallo, W. & Doornen, L.J.P. van (1990). Methodological guidelines for impedance cardiography. *Psychophysiology*, 27, 1-23.

Shiv, B., Loewenstein, G., Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A.R. (2005). Investment behavior and the negative side of emotion. *Psychological Science,* 16, 435-439.

Singer, T., Seymour, B., O´Doherty, J., Kaube, H., Dolan, R.J. & Fritch, C.D. (2004). Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain. *Science,* 302, 290-299.

Sinha, R., Lovallo, W.R., Parsons, O.A. (1992). Cardiovascular differentation of emotions. *Psychosomatic Medicine,* 54, 422-435.

Skinner, J.E. & Yingling, C.D. (1977). Central gating mechanisms that regulate event-related potentials and behaviour. In: J.E. Desmedt (Ed.), *Attention, voluntary contraction and event-related cerebral potentials*. Progress in Clinical Neurophysiology, Vol. 1. Karger, Basel, 30-69.

Skinner, J.E. (1988). Brain involvement in cardiovascular disorders*.* In: Elbert, T., Langosch, W., Steptoe, A. & Vaitl, D., *Behavioural Medicine in cardiovascular disorders*. John Wiley & Sons Ltd. (pp. 229-251).

Somers, D.C., Dale, A.M., Seiffert, A.E., Tootell, R.B.H. (1999). Functional MRI reveals spatially specific attentional modulation in human primary visual cortex, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 1663-1668.

Spyer, K.M. (1.999). Central nervous control of the cardiovascular system. In: C.J. Mathias, R. Bannister et al. *Autonomic failure: a textbook of clinical disorders of the autonomic nervous system*, Ed.4. pp. 45-55. Oxford, UK: Oxford UP.

Stark, H.J., Schultz, K., Krieger, E., Korn, V., Petro, W. (1996). Nichtinvasive Ermittlung des Herzzeitvolumens mit der Impedanzkardiographie: Hohe Korrelationen mit der invasiven Fickschen Methode (Non-invasive registration of cardiac output by impedance cardiography: high correlations with the invasive Fick method), *Atemwegs- und Lungenkrankheiten,* 22:73 – 5.

Stockburger, J. Schaer, T., Schupp, H.T. & Hamm, A.O. (2004). Effects of deprivation on the processing of visual food cues (Abstract). *Journal of Psychophysiology*, 18, 218.

Stockburger, J., Schmälzle, R., & Schupp, H. (2005). Verändert Hunger die kortikale Verarbeitung von Essensbildern? [Abstract]. In K. Lange, K.-H. Bäuml, M. Mark Greenlee, M. Hammerl & A. Zimmer (Eds.), *Experimentelle Psychologie: Beiträge zur 47. Tagung experimentell arbeitender Psychologen* (pp. 199). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Sutton, S., Braren, M. & Zubin, J. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.

Tachibana, H., Toda, K. & Sugita, N. (1992). Event-related potentials in patients with multiple lacunar infarcts. *Gerontology*, 38, 322-329.

Tallon-Baudry, C. & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends in Cognitive Science,* 3, 151-162.

Taylor, G.J., Bagby, R.M. & Parker, J.D.A. (1992). The revised Toronto Alexithymia Scale: some reliability, validity, and normative data. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 57, 34-41.

Teves, D., Videen, T.O., Cryer, P.E. & Powers, W.J. (2004). Activation of human medial prefrontal cortex during autonomic responses to hypoglycemia. *Proceedings of the National Academy of Science. USA*, 101, 6217-6221.

Tolin, D.F., Lohr, J.M., Lee, T.C. & Sawchuk, C.N. (1999). Visual avoidance in specific phobia. *Behaviour Research and Therapy,* 37, 63-70.

Tomkins, S.S. (1962). Affect, imagery, consciousness. New York. Springer.

Tordi, N., Mourot, L., Matusheski, B., Hughson, R.L. (2004). Measurements of cardiac output during constant exercise: comparison of the two non-invasive techniques. *International Journal of Sports Medicine*, 25,145-149.

Tranel, D. (1994). „Acquired sociopathy": the development of sociopathic behavior following focal brain damage. In: D.C. Fowles, P. Sutker & S.H. Goodman. *Progress in experimental personality and psychopathology research, 17.* (pp. 285-311), New York: Springer.

Tranel, D. (2000). Electrodermal activity in cognitive neuroscience: neuroanatomical and neuropsychological correlates. In: R.D. Lane & L. Nadel (Eds.). *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 192-224). New York: Oxford University Press.

Tranel, D., Damasio, H. & Damasio, A.R. (1995). Double dissociation between overt and covert face recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 425-432.

Ulich, D. (1995). *Das Gefüh*l. 3. Aufl. Weinheim: Beltz.

Valins, S. (1966). Cognitive effects of false heart-rate feedback. *Journal of Personality and Social Psychology*, 4, 400-408.

Verleger, R. (1988). Event-related potentials amd cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral Brain Sciences*, 11, 343-427.

Vodusek, D.B. (1990). Pudental SEP and bulbocavernosus reflex in women. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 77, 134-136.

Vogt, B.A., Finch, D.M., Olson, C.R. (1992), Functional heterogeneity in cingulate cortex: The anterior executive and posterior evaluative regions. *Cerebral Cortex,* 2, 435-443.

Vrana, S.R. (1993). The psychophysiology of disgust: differentiating negative emotional contexts with facial EMG. *Psychophysiology*, 30, 279-286.

Vuilleumier, P., Armony, J.L., Driver, J., & Dolan, R.J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain. An event-related fMRI study, *Neuron*, 30, 829-841.

W., Steptoe, A. & Vaitl, D., Behavioural Medicine in cardiovascular disorders. John Wiley & Sons Ltd.
Waldstein, S.R., Kop, W.J., Schmidt, L.A. et al. (2000). Frontal electrocortical and cardiovascular reactivity during happiness and anger. *Biological Psychology*, 5, 3-23.

Waldstein, S.R., Manuck, S.B., Ryan, C.M., Muldoon, M.F. (1991). Neuropsychological correlates of hypertension: review and methodological considerations. *Psychological Bulletin,* 110, 451-468.

Wang, L., Kuroiwa, Y & Kamitani, T. (1999). Visual event-related potential changes at two different tasks in nondemented Parkinson´s disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 164, 139-147.

Watts, F.N., McKenna, F.P., Sharrock, R., & Trezise, L. (1986). Colour naming of phobia-related words. *British Journal of Psychology*, 77, 97-108

Weisz, J., Balasz, L. & Adam, G. (1988). The influence of self-focused attention on heartbeat perception. *Psychophysiology,* 25, 193-199.

Weitkunat, R. & Schandry, R. (1990). Motivation and heartbeat evoked potentials. Journal of *Psychophysiology*, 4, 33-40.

Weitkunat, R. (1987). *Psychologische und elektrokortikale Korrelate kardiozeptiver Prozesse*. Dissertation. München: Minerva-Publikation.

Wells, A. & Papageorgiou, C. (2001). Social phobic interoception: effects of bodily information on anxiety, beliefs and self-processing. *Behaviour Research and Therapy*, 39, 1-11.

Whalen, O.J. (1998). Fear, vigilance, and ambiguity: Initial neuroimaging studies of the human amygdala. *Curr. Dr. Psychol. Sci*., 7, 177-188.

Whalen, P.J., Rauch, S.L., Etcoff, N.L., McInerney, S.C., Lee, M.B. & Jenike, M.A. (2001). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdale activity without explicit knowledge. *Journal of Neuroscience,* 18, 411-418.

Whitehead, W.E. & Drescher, V.M. (1980). Perception of gastric contractions and self-control of gastric motility. *Psychophysiology*, 17, 552-558.

Whitehead, W.E., Drechser, V.M., Heiman, P. & Blackwell, B. (1977). Relation of heart rate control to heartbeat perception. *Biofeedback and Self-Regulation*, 2, 371-392.

Wiens, S. (2005). Interoception in emotional experience. *Current Opinion in Neurology,* 18, 442-447.

Wiens, S., Mezzacappa, E.S., Katkin, E.S. (2000). Heartbeat detection and the experience of emotion. *Cognition and Emotion*, 1, 417-427.

Wieser, M.J., Mühlberger, A., Alpers, G.W., Macht, M., Ellgring, H. & Pauli, P. (2006). Emotion processing in Parkinson´s disease: Dissociation between early neuronal processing and explicit ratings. *Clinical Neurophysiology,* 117, 94-201.

Wilcott, R.C. (1981). Medial and orbital cortex and the suppression of behavior in the rat. *Physiology and Behavior,* 27, 237-241, 1981.

Willem Van der Doers, A.J., Antony, M.M., Ehlers, A. & Barsky, A.J. (2000). Heartbeat perception in panic disorder: a reanalysis. *Behavioral Research and Therapy*, 38, 47-62.

Williamson, J.W., McColl, R., Mathews, D., Ginsburg, M. & Mitchell, J.H. (1999). Activation of the insular cortex is affected by the intensity of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87, 1213-1219.

Williamson, J.W., McColl, R., Mathews, D., Mitchell, J.H., Raven, P.B., Morgan, W.P. (2002). Brain activation by central command during actual and impaired handgrip under hypnosis. *Journal of Applied Physiology,* 92, 1317-1324.

Woldorff, M.G., Gallen, C.C., Hampson, S.A., Hillyard, S.A., et al. (1993).Modulation of early sensory processing in human auditory cortex during auditory selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90, 8722-8726.

Zabara, J. (1985). Peripheral control of hypersynchronous discharge in epilepsy. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,* 61, S162.

Zagon, A. (2001). Does the vagus nerve mediate the sixth sense? *Trends in Neuroscience*, 24, 671-673.

Zajonc, R.B. (1980). Feeling and thinking. Preferences need no inferences. *American Psychologist*, 35, 2, 151-175.

Zeitlin, S.B., Lane, R.D., O´Leary, D.S. & Schrift, M.J. (1989). Interhemispheric transfer deficit and alexithymia. American Journal of Psychiatry, 146, 1434-1439.

Zoellner, L.A. & Craske, M.G. (1999). Interoceptive accuracy and panic. *Behavioral Research and Therapy,* 37, 1141-1158.

Zschocke, S. (2002). *Klinische Elektroenzephalographie.* Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York.

Curriculum Vitae

Persönliche Daten:

Name:	Beate Maria Herbert
Geboren:	25. Dezember 1966 in Augsburg

Ausbildungsdaten:

1987	Abitur am Wernher-von-Braun-Gymnasium Friedberg
1989	Diplom-Vorprüfung im Diplom-Studiengang Psychologie an der Katholischen Universität Eichstätt
1989	Praktikum in der Psychiatrischen Klinik des Klinikums Ingolstadt
1992	Praktikum im Psychologischen Dienst des Arbeitsamts Augsburg
1993	Praktikum im MPI für Psychiatrie München
2000	Diplom-Prüfung an der Katholischen Universität Eichstätt Thema der Diplomarbeit: „Plötzlicher Herztod: Stress, autonome Aktivität und autonome Hemisphärenasymmetrien“
WS 2003/04 – WS 2005/6	Promotion Hauptfach Psychologie an der LMU München Nebenfach: Psychiatrie Abgabe der Dissertation: 24. März 2006

Berufliche Daten:

2001 – 2003	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Zentrum für Neuropsychologische Forschung der Universität Trier: Leitung des Arbeitsbereichs „Autonom-nervöse Funktionsdiagnostik und Psychophysiologie“
2003 – 2005	Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl Biologische Psychologie des Departments Psychologie der LMU München
2006	Wissenschaftliche Mitarbeiterin des HWZ der LMU München – Klinik Höhenried