

Aus dem Institut für Präventivmedizin
Direktorin (k): Frau Prof. Dr. med. habil. Regina Stoll

Multiparametrische Ermittlung der Beanspruchung bei gezielter emotionaler und mentaler Belastung

Inauguraldissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der Universitätsmedizin Rostock



vorgelegt von
Juliane Rüchel

Rostock, März 2013

urn:nbn:de:gbv:28-diss2014-0121-8

1. Gutachter:

Prof. Dr. med. habil. Regina Stoll - Universitätsmedizin Rostock, Institut für Präventivmedizin

2. Gutachter:

Prof. Dr. Peter Kropp - Universitätsmedizin Rostock, Zentrum für Nervenheilkunde, Institut für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie,

3. Gutachter:

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. David Groneberg - Fachbereich Medizin der Goethe-Universität Frankfurt am Main, Zentrum für Gesundheitswissenschaften, Institut für Arbeits- Sozial- u. Umweltmedizin

Datum der Einreichung: 28.03.2013

Datum der Verteidigung: 15.01.2014

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Verwendete Maßeinheiten.....	VII

1 Einleitung 1

1.1 Gesundheitsgefährdung durch psychische Belastung am Arbeitsplatz.....	1
1.2 Beurteilung der Belastung am Arbeitsplatz	2
1.3 Ziel der Untersuchung.....	2

2 Wissenschaftliche Grundlagen 3

2.1 Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept.....	4
2.2 Reaktionsstufen der Beanspruchung.....	5
2.3 Komponenten psychischer Beanspruchung	7
2.3.1 Emotionale Beanspruchung.....	7
2.3.2 Mentale Beanspruchung.....	8
2.4 Komplexe physiologische Reaktionssysteme des Menschen	9
2.5 Reaktionen einzelner physiologischer Parameter auf psychische Belastung	10
2.5.1 Elektrodermale Aktivität.....	11
2.5.2 Aktivität des Musculus corrugator supercilii	13
2.5.3 Kardiale Aktivität	14
2.5.4 Atmung	16
2.5.5 Frontalhirn-Aktivität.....	18
2.6 Persönlichkeitsfaktoren	20
2.6.1 Psychologische Persönlichkeitstypen – Extraversion und Emotionalität	20
2.6.2 Somatische Persönlichkeitstypen – Hautleitfähigkeit als Merkmal sympathischer Reagibilität.....	22
2.6.3 Exkurs: Andere somatische Persönlichkeitstypen	22
2.7 Ausgewählte Methoden zum Auslösen und zum Erfassen psychischer Beanspruchung	23
2.7.1 Das International Affective Picture System (IAPS).....	24
2.7.2 Das Self-Assessment Manikin (SAM).....	25
2.7.3 Rechentest und Reaktionstest.....	26
2.7.4 Der NASA-Task Load Index (NASA-TLX)	27

3 Methodik und Durchführung der Untersuchung 28

3.1 Untersuchungspersonen	29
3.2 Verfahrenstechniken, Messgeräte und Versuchsumgebung	29
3.3 Ablauf der experimentellen Untersuchung	31

3.4 Auswahl und Präsentation der emotionsauslösenden Bilder	33
3.5 Datenverarbeitung	35
3.5.1 Datenaufzeichnung	35
3.5.2 Datenübernahme, Datenreduktion und Datenbereinigung	36
3.5.3 Baseline-Korrektur	38
3.5.4 Codierung des Self-Assessment Manikin (SAM)	38
3.5.5 Codierung des NASA-Task Load Index (NASA-TLX)	38
3.5.6 Codierung der psychologischen Persönlichkeitstypen	39
3.5.7 Codierung der somatischen Persönlichkeitstypen	40
3.6 Statistische Methoden	40
3.7 Ablauf der Auswertung	41
 4 Auswertung	 43
 4.1 Untersuchungspersonen	 43
4.2 Auswertung von SAM und NASA-TLX	44
4.2.1 Vergleich der normativen und subjektiven SAM-Bewertung der verwendeten Bilder ...	44
4.2.2 Analyse der Bewertungen von NASA-TLX und SAM während der Bildpräsentationen	45
4.2.3 Analyse der Bewertungen von NASA-TLX und SAM während Rechentest und Reaktionstest	48
4.2.4 Zusammenhänge von NASA-TLX und SAM mit den physiologischen Parametern während Rechentest und Reaktionstest	49
4.3 Elektrodermale Aktivität	50
4.3.1 Elektrodermale Aktivität während der Bildpräsentationen	50
4.3.2 Elektrodermale Aktivität während mentaler Belastung	52
4.3.3 Elektrodermale Aktivität in Ruhe	53
4.4 Aktivität des M. corrugator supercilii	54
4.4.1 Korrugator-Aktivität während der Bildpräsentationen	54
4.4.2 Korrugator-Aktivität während mentaler Belastung	55
4.4.3 Korrugator-Aktivität in Ruhe	57
4.5 Kardiale Aktivität	57
4.5.1 Kardiale Aktivität während der Bildpräsentationen	57
4.5.2 Kardiale Aktivität während mentaler Belastung	60
4.5.3 Kardiale Aktivität in Ruhe	61
4.6 Atmungsaktivität	61
4.6.1 Atmungsaktivität während der Bildpräsentationen	61
4.6.2 Atmungsaktivität während mentaler Belastung	62
4.6.3 Atmungsaktivität in Ruhe	65
4.7 Frontalhirn-Aktivität	66
4.7.1 Frontalhirn-Aktivität während der Bildpräsentation	66
4.7.2 Frontalhirn-Aktivität während mentaler Belastung	66
4.7.3 Frontalhirn-Aktivität in Ruhe	67
4.8 Auswertung der Persönlichkeitsfaktoren	68
4.8.1 Psychologische Persönlichkeitstypen Emotionalität und Extraversion	68
4.8.2 Somatische Persönlichkeitstypen (Sympathische Responder)	69

5	<u>Diskussion.....</u>	<u>70</u>
5.1	Methodendiskussion der einzelnen Untersuchungsverfahren	71
5.1.1	Stichprobe.....	71
5.1.2	Versuchsaufbau und -umgebung.....	71
5.1.3	Der NASA-Task Load Index	72
5.1.4	Das Self-Assessment Manikin	73
5.1.5	Das International Affective Picture System.....	73
5.1.6	Rechentest und Reaktionstest.....	74
5.2	Ergebnisdiskussion des Verhaltens der physiologischen Parameter während psychischer Belastung	74
5.2.1	Elektrodermale Aktivität.....	75
5.2.2	Aktivität des M. corrugator supercilii	77
5.2.3	Kardiale Aktivität	79
5.2.4	Atmungsaktivität	82
5.2.5	Frontalhirn-Aktivität.....	84
5.3	Einfluss von Persönlichkeitsfaktoren.....	85
5.3.1	Extraversion und Emotionalität	85
5.3.2	Responder-Typen (Sympathische Reagibilität)	86
5.4	Integration der Ergebnisse in die bestehenden Modelle von Belastung und Beanspruchung	87
5.4.1	Aktives und Passives Coping	88
5.4.2	Aufmerksamkeit und Konzentration	88
5.5	Schlussfolgerung: Prädiktiver Wert physiologischer Parameter	90
5.6	Praktische Relevanz der Messung physiologischer Parameter in Gesundheitsschutz und Leistungsoptimierung	93
5.6.1	Prädiktion der gesundheitlichen Gefährdung.....	94
5.6.2	Leistungsoptimierung und Arbeitsschutz	96
6	<u>Zusammenfassung</u>	<u>97</u>
7	<u>Literaturverzeichnis.....</u>	<u>i</u>
8	<u>Anhang</u>	<u>vi</u>
	<u>Thesen.....</u>	<u>viii</u>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veranschaulichung der Beziehungen zwischen Belastung und Beanspruchung unter Einfluss der individuellen Voraussetzungen eines Menschen	4
Abbildung 2: Drei Beispielverläufe der Hautleitfähigkeit	12
Abbildung 3: Beispielbilder für positive, neutrale und negative Valenzen	24
Abbildung 4: Dreidimensionales Self-Assessment Manikin SAM..	25
Abbildung 5: Bildschirmpräsentation des Rechentests	26
Abbildung 6: Bildschirmpräsentation des Reaktionstests	27
Abbildung 7: Darstellung der zur Verfügung stehenden Bilder des IAPS und davon ausgewählte Bilder	34
Abbildung 8: Geschlechtsspezifische Verteilung von Alter und Bildungsgrad	44
Abbildung 9: Verhalten von ΔSCL bei zunehmender Erregung	50
Abbildung 10: Verteilung der intraindividuellen Korrelationen zwischen ΔSCL und Erregung	51
Abbildung 11: Verhalten von ΔSCL im Verlauf des Rechentests, des Reaktionstests und der Ruheperiode	53
Abbildung 12: Verhalten von $\Delta Corr$ bei zunehmender Negativität	54
Abbildung 13: Verteilung der intraindividuellen Korrelationen zwischen $\Delta Corr$ und Valenz	55
Abbildung 14: Verhalten von $\Delta Corr$ im Verlauf des Rechentests, des Reaktionstests und der Ruheperiode	56
Abbildung 15: Verhalten von ΔHR bei zunehmender Erregung	58
Abbildung 16: Verteilung der intraindividuellen Korrelationen von ΔHR mit Erregung	58
Abbildung 17: Verhalten von ΔHR bei den Valenzstufen negativ, neutral und positiv	59
Abbildung 18: Verhalten von ΔHR im Verlauf des Rechentests, des Reaktionstests und der Ruheperiode	60
Abbildung 19: Verhalten von ΔARR , ΔBRR sowie ΔAR_Amp im Verlauf des Rechentests	63
Abbildung 20: Verhalten von ΔARR und ΔBRR im Verlauf des Reaktionstests	63
Abbildung 21: Verhalten von ΔAR_Amp und ΔBR_Amp im Verlauf des Reaktionstests	64
Abbildung 22: Verhalten von ΔARR , ΔBRR sowie ΔAR_Amp während der Ruhephase	65
Abbildung 23: Verhalten von ΔHEG im Verlauf des Rechentests, des Reaktionstests und der Ruheperiode	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vereinfachte Darstellung der Beziehung zwischen Belastung und Beanspruchung	5
Tabelle 2: Überblick über die angewandten Methoden und Messgrößen	24
Tabelle 3: Dimensionen des NASA-TLX	28
Tabelle 4: Ablauf der experimentellen Untersuchung.....	32
Tabelle 5: Darstellung der systematischen Auswertung je Untersuchungsabschnitt und je physiologischem Parameter	42
Tabelle 6: Per NASA-TLX ermittelte Beanspruchungswerte in Prozent während der Einzelbilder Teil 1 und Teil 2 sowie der Bildserien	45
Tabelle 7: Beanspruchungswerte der Bildserien während der verschiedenen Erregungsstufen sowie Korrelationen der Beanspruchungswerte mit der Erregung.....	46
Tabelle 8: Beanspruchungswerte der Bildserien während der verschiedenen Valenzstufen sowie Korrelationen der Beanspruchungswerte mit der Valenz	47
Tabelle 9: Per NASA-TLX ermittelte Beanspruchungswerte von Rechentest und Reaktionstest	48
Tabelle 10: Geschlechtsspezifische Darstellung der Atemparameter während der Bildpräsentationen	62
Tabelle 11: Geschlechtsspezifische Darstellung der Atemparameter während des Rechentests	62
Tabelle 12: Geschlechtsspezifische Darstellung der Atemparameter während des Reaktionstests	64
Tabelle 13: Anzahl der Personen in den Klassen der Persönlichkeitsdimensionen	68

Abkürzungsverzeichnis

ARR	<i>abdominal respiration rate</i> (Frequenz der Bauchatmung)
AR_Amp	<i>abdominal respiration amplitude</i> (Amplitude der Bauchatmung)
AAmp	AR_Amp betreffend
BRR	<i>breast respiration rate</i> (Frequenz der Brustatmung)
BR_Amp	<i>breast respiration amplitude</i> (Amplitude der Brustatmung)
BAmp	BR_Amp betreffend
Corr	Musculus corrugator supercilii / M. corrugator / Korrugator
Δ	Delta = Veränderungen des physiologischen Parameters im Vergleich zur Baseline (Vgl. Abschnitt 3.5.3)
EB	Einzelbilder
EDA	elektrodermale Aktivität
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyogramm
HEG	Hemoencephalographie; der Nahinfrarotspektroskopie entsprechend
HR	Herzrate, <i>heart rate</i> (Herzfrequenz)
min	Minute
n	Stichprobenzahl
NASA-TLX	National Aeronautics and Space Agency – Task Load Index
p	Signifikanz
PET	Positron-Emissions-Tomografie
r	Pearson-Korrelation
ReT	Rechentest
RkT	Reaktionstest
s	Standardabweichung
SCL	<i>skin conductance level</i> (Hautleitfähigkeitsniveau)
Upn	Untersuchungsperson(en)
WTS	Wiener Testsystem
$\bar{x}$	Mittelwert

Verwendete Maßeinheiten

bpm	beat per minute (Schläge pro Minute)
msec	Millisekunde
min	Minute
min ⁻¹	pro Minute
mV	Millivolt
μS	Mikrosiemens
nm	Nanometer
sec	Sekunde

1 EINLEITUNG

Die psychische Belastung in der Arbeitswelt hat in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen. Faktoren wie Zeitdruck, Kommunikation und Kooperation spielen eine wesentliche Rolle wie auch die Verlagerung von körperlicher Belastung zu zunehmender psychischer Belastung. Insbesondere auf Grund der weit verbreiteten Informationstechnologie und der umfangreichen Beschäftigung im Dienstleistungssektor erfolgte eine Zunahme bzw. Neuschaffung von psychisch belastenden Arbeitsstellen. Ein typisches Beispiel ist die Einrichtung von Call-Centern mit ihren psychischen Belastungen der Kommunikation, der computergestützten Informationsverarbeitung und des Leistungsdrucks (1).

1.1 Gesundheitsgefährdung durch psychische Belastung am Arbeitsplatz

Der Gesundheitszustand der Arbeitnehmer wird durch die psychische Beanspruchung am Arbeitsplatz sowohl auf psychischer als auch auf organischer Ebene maßgeblich beeinflusst (2) (3) (4). Unter Einwirkung von negativ beanspruchenden Faktoren können psychische Erkrankungen und Verhaltensstörungen wie Depressivität, Burnout, erhöhter Nikotin-, Alkohol- oder Tablettenkonsum und Essstörungen entstehen. Obwohl der gesamte Krankenstand im Jahre 2009 um 0,6 % unter dem des Jahres 1999 lag, haben sich in diesem Zeitraum die krankheitsbedingten Fehltage durch psychische Erkrankungen um 66,1 % erhöht (5). Andere negative psychische Folgen psychischer Belastung sind Leistungseinschränkungen wie verminderte Konzentrationsfähigkeit, Leistungsabfall oder Fehlhandlungen. Weiterhin sind es negative Auswirkungen in sozialen Beziehungen wie Streit, Ungeduld oder Isolierung innerhalb und außerhalb des Arbeitsplatzes (6).

Neben der genannten psychischen Beeinträchtigung kann negative psychische Beanspruchung auch zu organischen gesundheitlichen Problemen führen (2) (3) (4). Eine in Stresssituationen wiederkehrend oder langfristig erhöhte sympathikotone Reaktion des Organismus führt langfristig zu einer verminderten vegetativen Reagibilität und zu einer Verminderung der Aktivität des Parasympathikus. Daraus resultieren funktionelle Beschwerden und Funktionseinschränkungen der Organe und eine verminderte Fähigkeit zur Regeneration (7). Durch psychische Belastung beeinflusste organische Erkrankungen sind z.B. Bluthochdruck (3), Diabetes mellitus und Adipositas. Hinzu kommen dysfunktionelle Beschwerden wie Migräne und Verdauungsstörungen (6) sowie Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems mit Lumbalgien, Kopfschmerzen oder Schulter-Nacken-Beschwerden (8) (9). Genaue Zahlen von zu Arbeitsunfähigkeit führenden psychisch bedingten organischen Erkrankungen werden nicht angegeben, da diese zu einem großen Teil nicht als solche erkannt werden (10).

Neben der persönlichen psychischen und körperlichen Einschränkung der Betroffenen sind negative Folgen psychischer Belastung in der Wirtschaft wie im Gesundheitssystem ein erheblicher Kostenfaktor (11). Eine Zunahme an Störfällen während der Arbeitsprozesse, Qualitätsverluste, Produktivitätsabfall, Unfälle, Frühverrentungen oder Arbeits- und Berufsunfähigkeit haben einen ungünstigen Einfluss auf die Ökonomie (6).

1.2 Beurteilung der Belastung am Arbeitsplatz

Das Arbeitsschutzgesetz verlangt in Paragraph 5 von den Arbeitgebern, durch „eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind“ (1). Zweck ist die Verbesserung der Arbeitsplatzgestaltung zum Schutze des Betroffenen. Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis der Arbeitsbedingungen. Dazu muss eine Ermittlung von negativ beeinträchtigenden oder gefährdenden Belastungen am Arbeitsplatz erfolgen (3) (4).

Eine zusätzliche Aufdeckung und Förderung derjenigen Arbeitsbedingungen, welche einen positiven Einfluss auf die Beanspruchung der Betroffenen haben, führt zu einer beanspruchungsoptimalen Arbeitsplatzgestaltung (4). Positive Auswirkungen von Belastung sind z.B. eine verbesserte Konzentration und Aufmerksamkeit oder ein erhöhtes Lernvermögen. Dies ist nicht nur von Interesse für die Arbeitnehmer, welche auf diese Weise eine Steigerung des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit erfahren. Auch wirtschaftspolitisch ist diese Seite von Interesse, da durch eine gezielte Beeinflussung positiver Faktoren eine Steigerung der Produktivität und eine Verminderung von Störfällen erzielt wird (1) (4) (6).

Wie konkret eine Ermittlung der Arbeitsplatzbelastung / -beanspruchung erfolgen soll, ist gesetzlich nicht vorgeschrieben (1) (4). Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin stellt verschiedene Methoden zur Verfügung, um objektivierbare Belastungsfaktoren und subjektives Beanspruchungserleben zu erfassen. Die Untersuchung erfolgt mit Hilfe von Beobachtungen, Checklisten oder Fragebögen. Unter diesen kann durch den geschulten Arbeitsschutzbeauftragten arbeitsplatzspezifisch ein geeignetes Verfahren ausgewählt werden. Physiologische Verfahren werden auf Grund ihrer hohen Komplexität nicht angewendet (1) (4) (12).

1.3 Ziel der Untersuchung

Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag zur Erweiterung der bisher üblichen Verfahren der Ermittlung der psychischen Arbeitsbelastung bzw. -beanspruchung leisten. Neben der Untersuchung der psychischen Beanspruchung auf der subjektiven Ebene mittels Fragebögen

bzw. auf der objektiven Ebene mit Hilfe von Beobachtungen oder Checklisten (1) (4) (12) soll in betrieblichen Situationen auch eine Untersuchung auf der physisch-physiologischen Ebene erfolgen können, um Beanspruchung direkt abzuleiten. Das Ziel ist daher die Schaffung einer Grundlage für die Integration physiologischer Parameter in eine Beanspruchungsbeurteilung des Arbeitsplatzes. Hierzu wird eine empirische Untersuchung durchgeführt, um die Eignung und Aussagekraft von physiologischen Parametern und den zu Grunde liegenden Messverfahren wissenschaftlich zu untersuchen.

Das Feld der Untersuchung beschränkt sich per Aufgabenstellung auf die mittels *Biograph Infiniti*-Gerät¹ erhobene elektrodermale, kardiale, respiratorische, zentrale und mimische Aktivität. Als Untersuchungsverfahren ist das International Affective Picture System zur Auslösung emotionaler Beanspruchung, die Arbeitsleistungsreihe und der Determinationstest zur Auslösung mentaler Beanspruchung², der NASA-Task Load Index zur Erhebung der subjektiv wahrgenommenen Beanspruchung und das Self-Assessment Manikin zur Einstufung der empfundenen Emotionen sowie das Freiburger Persönlichkeitsinventar zur Feststellung der Persönlichkeitsmerkmale Emotionalität und Extraversion vorgegeben. Die Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung lauten wie folgt:

- A) Wie verhalten sich die physiologischen Parameter und wie ist das subjektive Beanspruchungsempfinden während gezielter emotionaler und während gezielter mentaler Belastung? Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede bestehen? Bestehen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Konzentrations- und Aufmerksamkeitsbelastungen?
- B) Kann den physiologischen Parametern ein prädiktiver Wert für die Art und das Ausmaß der Belastung / Beanspruchung zugeschrieben werden?
- C) Welche Persönlichkeitsfaktoren beeinflussen die subjektive Wahrnehmung und die physiologischen Reaktionen?

2 WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

In den folgenden Abschnitten wird eine Darstellung der dieser Arbeit zugrundeliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse und Konzepte vorgenommen.

¹ Biograph Infiniti der Firma Thought Technology Ltd. (SA 7900 Version 4.0.1, © 2003-2008).

² Arbeitsleistungsreihe und Determinationstest werden aus Gründen der besseren Verständlichkeit in der vorliegenden Arbeit als Rechentest bzw. Reaktionstest bezeichnet. Detaillierte Ausführungen zu beiden Tests sind Abschnitt 2.7.3 zu entnehmen.

2.1 Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Nach der DIN EN ISO 10075 wird psychische **Belastung** verstanden als „die Gesamtheit der erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und auf ihn psychisch einwirken“. Psychische **Beanspruchung** wird definiert als „die individuelle, zeitlich unmittelbare und nicht langfristige Auswirkung der psychischen Belastung im Menschen in Abhängigkeit von seinen individuellen Voraussetzungen und seinem Zustand“ (13). Belastung und Beanspruchung können positive oder negative Ausprägungen annehmen (4). Die Definition von Belastung und Beanspruchung ist der maßgebliche Inhalt des von Rohmert und Rutenfranz entwickelten Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes, welches sich sowohl auf den körperlichen als auch auf den psychischen Aspekt von Arbeit bezieht (14) (15). Die für die Arbeits- und Präventivmedizin wesentlichen Aussagen dieses Konzeptes sind, dass:

- A) unterschiedliche Belastung bei demselben Menschen zu unterschiedlicher Beanspruchung führt (Vgl. Abbildung 1, links);
- B) gleiche Belastung bei unterschiedlichen Menschen zu unterschiedlicher Beanspruchung führt (Vgl. Abbildung 1, rechts) und
- C) gleiche Belastung bei demselben Menschen (zu verschiedenen Zeiten) eine unterschiedliche Beanspruchung hervorrufen kann.



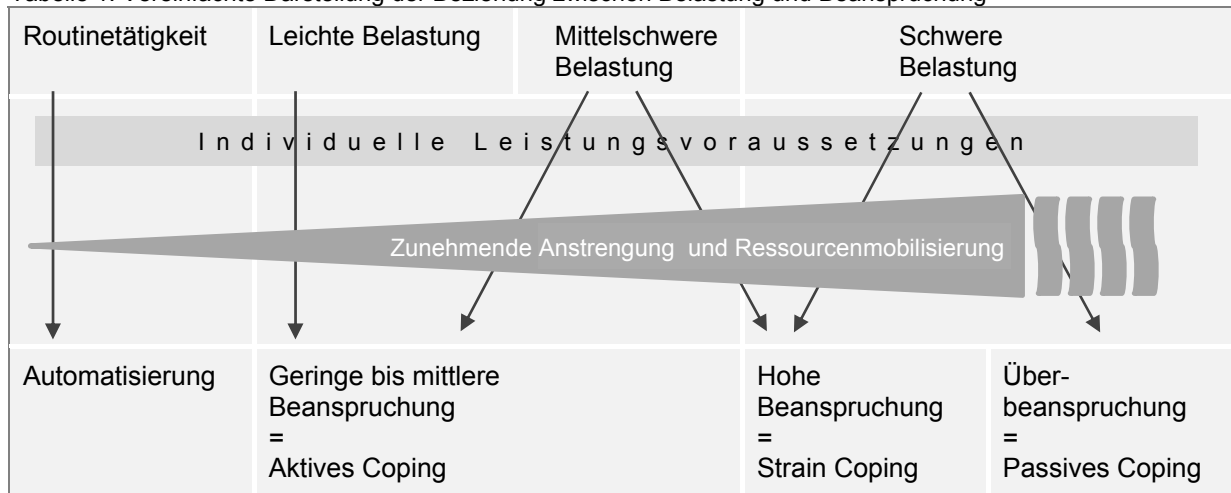
Abbildung 1: Veranschaulichung der Beziehungen zwischen Belastung und Beanspruchung unter Einfluss der individuellen Voraussetzungen eines Menschen

Grundlage für diese unterschiedlichen Auswirkungen sind die individuellen Voraussetzungen eines Menschen, seine Konstitution und Kondition sowie der Gesundheitszustand. Ziel und Sinn des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes ist die Erkenntnis der Notwendigkeit einer menschenfreundlichen Gestaltung des Arbeitsplatzes (Prävention) und die Maximierung bzw. Optimierung der Leistung (Ökonomie), im Ganzen folglich Ergonomie (4).

2.2 Reaktionsstufen der Beanspruchung

Psychische Beanspruchung ist gemäß dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept bei gleicher Belastung individuell unterschiedlich ausgeprägt und wird unterschiedlich wahrgenommen. Die dabei erlebte Anstrengung geht mit einer Mobilisierung von Ressourcen eines Individuums zur Aufrechterhaltung der Leistungsstabilität einher (16). Als Ressourcen können die Wachheit des Individuums als allgemeine zentrale Aktiviertheit, sein Gesundheitszustand, aber auch physiologische Parameter wie die Durchblutung des Gehirns oder die Herzfrequenzveränderung angesehen werden (6) (16) (17). Zunehmende Belastung führt in der Regel zu einer Zunahme der Beanspruchung und somit zu einer zunehmenden Mobilisierung von Ressourcen. Die Stufen von Beanspruchung werden im Folgenden am Beispiel des Autofahrens erläutert und sind als Überblick in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vereinfachte Darstellung der Beziehung zwischen Belastung und Beanspruchung



Bei **Routinetätigkeiten** ist die Beanspruchung mit einer geringen bis fehlenden Anstrengung und zunehmender Automatisierung verbunden. Beispielsweise wird bei routinierten Autofahrten keine erhöhte Wachheit oder Aufmerksamkeit benötigt, die notwendigen Handlungen wie das Schalten der Gänge sind zu einem Automatismus geworden. Während **Nicht-Routinetätigkeiten** bei leichten und mittleren Anforderungen in herausfordernden Situationen (engl. *challenge*) ist eine vermehrte Anstrengung mit einem Mehrverbrauch von Ressourcen die Folge. Das Autofahren bei hohem Verkehrsaufkommen bedarf einer vermehrten Wachheit und Aufmerksamkeit des Fahrers. Bis zu gewissen Reservegrenzen mit geringfügiger Anpassung des Systems wird diese erhöhte Anstrengung als aktive Stressbewältigung oder auch als **aktives Coping** bezeichnet (18) (19). In einer solchen Situation kommt es zu einer erhöhten Sympathikusaktivität mit Ausschüttung von Katecholaminen (16). Werden die Grenzen der moderaten Anpassung (aktives Coping) überschritten, kommt es mit einer stark erhöhten Anstrengung und überproportionalen

Anpassung des Systems zum **Strain Coping** (16). Diese Situationen gehen mit einer deutlichen Erhöhung der energetischen Kosten einher (17). Es kommt zu einer hochgradigen Sympathikusaktivierung mit zusätzlicher Ausschüttung von Katecholaminen und Kortisol verbunden mit weiteren verstärkten Anpassungsmechanismen wie z.B. Steigerung der Herz- und Atemfrequenz (16) (17). Von den betroffenen Personen werden subjektiv unangenehme Gefühle wie Angst und Bedrohung wahrgenommen. Umgangssprachlich werden diese Situationen als *Stress* bezeichnet (16) (20).³ Hierzu kommt es beispielsweise bei hohem Verkehrsaufkommen mit zusätzlich unübersichtlichen Straßenverhältnissen. Neben einer erhöhten Wachheit und Aufmerksamkeit als Anpassungsmechanismus sind beispielsweise Schweißausbrüche oder lautes Schimpfen ein Zeichen der überproportionalen Anpassung des Systems.

Bei einer weiteren Steigerung der Beanspruchung kommt es durch Überlastung zum Zusammenbruch der physiologischen Anpassungsmechanismen. Es erfolgt eine passive Stressbewältigung bzw. ein **passives Coping**. Der Betroffene verharrt weitgehend passiv in einer entsprechenden Situation; die Leistungsstabilität ist aufgehoben. Es besteht eine erhöhte Ausschüttung von Katecholaminen, die Sympathikusaktivität ist hoch und wird von einer ansteigenden Parasympathikusaktivität überlagert (16) (18) (19). Betroffene geben ein Gefühl der Hilflosigkeit an. Passives Coping tritt auch in solchen Situationen auf, in denen keine Möglichkeit zum aktiven Eingreifen besteht wie es z.B. in Gefängnissituationen der Fall ist. Am Beispiel des Autofahrens kann ein Unfall zu einer solchen Situation des passiven Coping führen. Der Betroffene sitzt regungslos da und ist nicht in der Lage, die notwendigen Dinge zu tun (16) (21).

Im mittleren Beanspruchungsbereich der herausfordernden Belastungssituationen ohne Unter- oder Überforderung wird ein proportionales Verhältnis der körperlichen Reaktionen mit der Belastung / Beanspruchung angenommen. Kurz- und mittelfristige Anpassungsmechanismen in diesen Situationen bleiben in der Regel ohne gesundheitlich negative Auswirkungen, vielmehr profitiert der Betroffene von einer solchen Situation u.a. durch erhöhte Wachsamkeit, gesteigertes Lernvermögen und verbesserte Lesitungsfähigkeit (6) (20). Langfristig bestehende Situationen des aktiven Coping auf hohem Niveau, Situationen des passiven Coping während Überforderung aber auch Unterforderung können zu gesundheitlichen Problemen führen. Hierzu gehören Herz-Kreislauf-Erkrankungen, funktionelle Störungen des Verdauungsapparates, Kopfschmerzen oder psychische Erkrankungen (6).

³ Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA versteht ‚Stress‘ als eine unspezifische Reaktion auf Anforderungen und Belastungen, die eine Störung des dynamischen Gleichgewichts des Organismus bewirkt. (1) (6). Das im Deutschen gebrauchte Wort *Stress* ist nicht mit dem englischen Wort *stress* gleichzusetzen ist. Die englischen Worte *stress* / *stressor* können übersetzt werden mit *Belastung* oder *Anforderung*. Das deutsche Wort *Stress* meint im eigentlichen Sinne eine Stressreaktion (engl. *strain*) bzw. eine negative Beanspruchungsfolge (engl. *distress*) (10).

2.3 Komponenten psychischer Beanspruchung

Bei der psychischen Beanspruchung, welche durch eine an den Betroffenen gestellte Anforderung ausgelöst wird, können zwei verschiedene Formen unterschieden werden: die **emotionale** und die **mentale** Beanspruchung (22). Bei der emotionalen Beanspruchung steht als Wirkung der Affekt im Vordergrund der Betrachtung. Die mentale Beanspruchung umfasst alle psychophysiologischen Wirkungen, die von affektfreier, rein kognitiver Informationsverarbeitung ausgehen (23). Die Betrachtung einer rein emotionalen oder rein mentalen Beanspruchung ist dennoch nicht möglich (24) (25): „Beim Prozess der Informationsverarbeitung handelt es sich eigentlich immer um ein Zusammenwirken kognitiver und emotionaler Prozesse. Emotionale (und motivationale) Faktoren sind selbst bei den abstraktesten Formen intellektueller Leistungen beteiligt.“ (25 S. 242) Die Auswahl geeigneter Verfahren zum Auslösen und zum Erfassen von emotionaler bzw. mentaler Beanspruchung, wie sie in der vorliegenden Untersuchung erfolgt ist, ermöglicht jedoch eine weitgehend spezifische Betrachtung beider Komponenten psychischer Beanspruchung.

2.3.1 Emotionale Beanspruchung

Emotionen sind nicht nur subjektiv erlebte Zustände. „Emotionen sind Reaktionsmuster auf positiv verstärkende oder aversive körperexterne oder -interne Reize, die drei Komponenten umfassen: physiologische Erregung, subjektives Gefühl und motorischer Ausdruck („emotional reaction triad“).“ (26 S. 64) Trotz dieser beispielhaft aufgeführten Abgrenzung des Begriffes Emotion durch Buddeberg besteht in der Wissenschaft bisher keine Übereinstimmung über die genaue Definition von Emotionen und deren Entstehung (27) (28). Scherer (29) erwähnt neben dieser Reaktionstriade der Emotionen (engl. *emotional reaction triad*) zusätzlich die einer Emotion innewohnende Handlungstendenz und eine kognitive Komponente.

Emotionen dienen dem Schutz und der Aufrechterhaltung des Lebens. Der Körper wird entsprechend einer Situation und der damit erlebten Emotion durch physiologische Reaktionen in Handlungsbereitschaft versetzt. Über mimische Reaktionen wird dem Gegenüber mitgeteilt, in welchem emotionalen handlungsbereiten Status sich eine Person gerade befindet (30) (31) (32). Emotionen sind dysfunktional, wenn sie gesundheits-, persönlichkeits- und produktivitätsmindernd sind (4). In der vorliegenden Arbeit wird dem subjektiven Erleben von Emotion ein dreidimensionaler Ansatz zu Grunde gelegt. Unterschieden werden die Dimensionen

- Valenz** (angenehm – unangenehm),
- Erregung** (beruhigend – erregend) und
- Dominanz** (souverän – unterlegen).

Die Ebene der Valenz erstreckt sich zwischen als angenehm und unangenehm bezeichneten Emotionen. Ihr werden Begriffe wie positiv und negativ, zufrieden und unzufrieden, glücklich und traurig oder hoffnungsvoll und verzweifelt zugeordnet. Die Ebene der Erregung erstreckt sich zwischen Zuständen, welche mit Begriffen wie ruhig und erregt, träge und rasend, schläfrig und hellwach oder entspannt und stimuliert assoziiert werden. Die Ebene Dominanz erstreckt sich zwischen den Begriffen submissiv und dominant, kontrolliert und kontrollierend, geführt und autonom oder versorgt sein und in der Hand haben (27). Dieser dreidimensionale Ansatz hat sich in der Emotionsforschung als ein potentes Modell herausgestellt, die fundamentalen Dimensionen affektiven Erlebens sinnvoll zu klassifizieren (33) (34) (35).

Im Laufe der Jahre zeigte sich, dass die Dimensionen Valenz und Erregung eine hohe Aussagekraft besitzen und sich verhältnismäßig gut in psychophysiologischen Reaktionen widerspiegeln. Die Dimension Dominanz hingegen besitzt eine starke Kovariabilität mit dem Faktor Valenz, woraus sich eine nur geringe psychophysiologische Verwertbarkeit ergibt (17) (27). Die Schwierigkeit der Dimension Dominanz erklärt sich aus der zu großen Statik der Untersuchungsmethoden. Durch die fehlende Notwendigkeit zur Handlung bleibt eine emotionale Reaktion auf der Ebene der Dominanz nur rudimentär (17). In einigen Arbeiten wird daher das Dominanzempfinden nicht mehr erfasst (36) (32) (37). Danuser (17) fand allerdings einen möglichen Zusammenhang der Atmung mit der Dominanz unabhängig von der Valenz. Aus diesem Grunde wird das Dominanzempfinden in der vorliegenden Arbeit in ausgewählten Abschnitten berücksichtigt.

2.3.2 Mentale Beanspruchung

Mentale Belastung beinhaltet alle Einflüsse, welche eine kognitive Informationsverarbeitung auslösen. Das Rechnen von Additionsaufgaben führt beispielsweise zu der Informationsverarbeitung zweier Zahlen. Während dieses mentalen Prozesses wird das Individuum in seiner diesbezüglichen Leistungsfähigkeit beansprucht. Rechenaufgaben mit einstelligen Zahlen führen in der Regel zu geringerer Beanspruchung als Rechenaufgaben mit zwei- oder mehrstelligen Zahlen.

Mentale Beanspruchung ist nicht emotionsfrei. Besonders in Überlastungs- oder Unterforderungssituationen kann es zu emotionalen Reaktionen wie Frustration, Ärger, Langeweile oder Hilflosigkeit kommen. Bei einer Belastung im mittleren Bereich wird davon ausgegangen, dass nur geringe emotionale Anteile ohne wesentliche Relevanz vorliegen (16) (17).

In der Literatur werden verschiedene Formen mentaler Beanspruchung unterschieden. Dabei werden die Begriffe Konzentration und Aufmerksamkeit gebraucht.⁴ Dem Begriff der Konzentration wird die Komponente der Informationsverarbeitung zugeordnet. Im Vordergrund steht dabei die Fokussierung auf interne Prozesse (interner Fokus) wie Entscheidungsfindung oder das Hervorrufen intern gespeicherter Daten, und ist mit vergleichsweise hohen Kontrollanforderungen verbunden (22) (38). Mit dem Begriff der Aufmerksamkeit werden die perzeptiven Anteile verbunden, externe Objekte werden fokussiert (externer Fokus). Es erfolgt „[...] die Selektion von unmittelbar wahrgenommenen, relevanten externen Reizen/Ereignissen.“ (39 S. 60) Aufmerksamkeit ist häufig mit darauffolgenden motorischen Handlungen verknüpft (22) (38). Eine weitere Eingliederung in die bestehenden Modelle von Konzentration und Aufmerksamkeit wird hier nicht vorgenommen, da diese zur Untersuchung der Zielstellung eine untergeordnete Rolle spielen. Der in der vorliegenden Untersuchung verwendete Rechentest wird als Konzentrationsaufgabe mit internem Fokus betrachtet. Der Reaktionstest entspricht einer Aufmerksamkeits-gewichteten Tätigkeit mit externem Fokus (40) (41) (42) (43).

2.4 Komplexe physiologische Reaktionssysteme des Menschen

Um den Menschen entsprechend einer Situation in Handlungsbereitschaft zu versetzen, besitzt der Körper das vegetative Nervensystem mit den Anteilen des Parasympathikus und des Sympathikus. Es dient der unwillkürlichen automatischen Anpassung und Regulation der Organfunktionen entsprechend der situations- und handlungsspezifischen Anforderungen (36) (44). Hierzu gehört die Modifikation der Funktionen von beispielsweise Atmung, Herzschlag, Verdauung, Stoffwechsel, Blutgefäßen, Schweißdrüsen oder Sexualorganen. Das vegetative Nervensystem wird überwiegend zentral reguliert (45).

Im Gehirn können zwei motivationale Systeme unterschieden werden, welche das vegetative Nervensystem beeinflussen – das appetitive und das defensiv-aversive System. Das **appetitive System** dominiert in lebensfreundlichen Situationen die der allgemeinen Existenz, der Erholung und der Fortpflanzung dienen. Es ist verbunden mit dem **Parasympathikus**. Die Basishandlungen dieses Systems sind Nahrungsaufnahme, Kopulation, Fürsorge und Regeneration. Demgegenüber wird das **defensiv-aversive System** in leistungsorientierten, lebensfeindlichen oder bedrohlichen Situationen aktiviert. Es ist verbunden mit dem **Sympathikus**. Die Basishandlungen sind Rückzug, Flucht oder Angriff (36). Beide Anteile des

⁴ In einigen Arbeiten werden die Begriffe Konzentration und Aufmerksamkeit nicht unterschieden. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass im englischen Sprachgebrauch das Wort ‚attention‘ für beide Begriffe verwendet wird und das Wort ‚concentration‘ in diesem Zusammenhang keine Verbreitung findet (38).

motivationalen Systems und ihre entsprechenden Effektoren im vegetativen Nervensystem arbeiten antagonistisch, es gibt fließende Übergänge in der Aktiviertheit beider Anteile (45) (44) (46). Bezüglich der Emotionsforschung und der Messung von emotionaler Beanspruchung beschreibt die Dimension Valenz, welches dieser motivationalen Systeme aktiviert wird. Die Dimension Erregung beschreibt, in welchem Ausmaß das entsprechende System aktiviert wird (31).

Körperliche Expressivität ist neben dem vegetativen Nervensystem ein weiterer Bestandteil der physiologischen Reaktionssysteme des Menschen. Sie resultiert nicht nur aus den Handlungen, mit ihrer Hilfe wird zusätzlich dem Gegenüber ohne Sprache bewusst und unbewusst mitgeteilt, in welchem Status sich eine Person gerade befindet. Eine entspannte Körperhaltung zeigt eine appetitive Situation an. Die Muskulatur ist gelockert und in der Lage, sich zu regenerieren. Drohgebärden widerspiegeln eine Aktivierung des defensiv-aversiven Systems. Die Muskulatur ist angespannt und handlungsbereit, Regeneration wird zugunsten von Aktion unterdrückt. Von besonderer Wichtigkeit in der körperlichen Expressivität sind die mimischen Reaktionen. Sie finden besonders im Runzeln der Augenbrauen oder in einem Lächeln Ausdruck (29) (32).

2.5 Reaktionen einzelner physiologischer Parameter auf psychische Belastung

In der psychophysiologischen Forschung finden verschiedene physiologische Parameter zur Untersuchung von psychischen Einflüssen auf körperliche Reaktionen Anwendung. Auf Ebene der kardiovaskulären Aktivität sind es beispielsweise Messungen der Herzfrequenz, der Herzfrequenzvariabilität, der T-Wellen-Veränderungen im Elektrokardiogramm, des Blutdrucks oder der Pulswellengeschwindigkeit. Auf Ebene der elektrodermalen Aktivität werden unter anderem die Hautleitfähigkeit, der Hautwiderstand oder Hautfeuchtemessungen erhoben. Messungen der elektrischen Muskelaktivität an mimischen oder Skelettmuskeln oder die verschiedenen Komponenten von Atmung mit Atemfrequenz, Atemamplitude, Inspirations- und Expirationsvolumen oder -zeit sind weitere Parameter. Nicht zuletzt finden die Erhebung von Augenbewegungen, Pupillenreaktionen oder des Lidschlags Anwendung. Alle diese Parameter widerspiegeln zum einen die peripheren physiologischen Reaktionen, welche durch das vegetative Nervensystem modifiziert werden, zum zweiten die mimisch-expressiven Reaktionen und zum dritten zentral beeinflusste periphere Reaktionen (47).

Bedingt durch die Aufgabenstellung und die zur Verfügung stehende Messtechnik werden in der vorliegenden Arbeit folgende physiologische Parameter im Zusammenhang mit psychischer Beanspruchung untersucht:

1. **Elektrodermale Aktivität,**
2. **Aktivität des Musculus corrugator,**
3. **Herzfrequenz,**
4. **Atemaktivität** mit Atemfrequenz und -amplitude von Bauch- und Brustatmung sowie
5. **Frontalhirn-Aktivität.**

Diese Parameter können mit einfachen Messverfahren ohne wesentliche Beeinträchtigung der Untersuchungspersonen erhoben werden. In dieser Hinsicht wären sie gut geeignet, um in der betrieblichen Praxis Anwendung zu finden. Gleichzeitig besitzen sie eine hohe Aussagekraft und Relevanz. Eine genaue Erläuterung der Parameter, ihrer Bedeutung und der messtechnischen Verfahren erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten.

2.5.1 Elektrodermale Aktivität

Die menschliche Haut besitzt drei Arten von Drüsen: Duft-, Talg- und Schweißdrüsen. Die für die messbare elektrodermale Aktivität wichtigen ekkrinen Schweißdrüsen sind auf dem gesamten Körper verteilt. Sie sezernieren elektrolythaltiges Wasser. Ihre Hauptaufgabe ist die Regulation des Temperatur-, Wasser- und Elektrolythaushaltes. Ausgerechnet auf den Arealen ihrer größten Dichte, den Handflächen und Fußsohlen, ist diese Aufgabe jedoch deutlich untergeordnet. Es konnte gezeigt werden, dass die Aktivität der palmaren und plantaren Schweißdrüsen überwiegend in psychologische Abläufe involviert ist (48) (49) (50). Die Steuerung der Schweißdrüsen erfolgt über den Sympathikus mittels Acetylcholin⁵. Sie unterliegt aber nicht ausschließlich dem Sympathikus sondern erfolgt zusätzlich durch übergeordnete zentrale Zentren (47) (51) (52).

Mechanismen der Entstehung von messbarer elektrodermalen Aktivität

Die Sekretion von elektrolythaltigem Schweiß in der Haut wird größtenteils für die Entstehung messbarer elektrodermalen Aktivität verantwortlich gemacht (49) (51) (53). Andere Ansätze werden kontrovers diskutiert und werden hier nicht näher beschrieben (47). Eine intradermal unterschiedlich hohe Füllung der Schweißdrüsengänge mit Schweiß ohne Änderung der Hautfeuchte führt zu unterschiedlichen Hautleitwerten. Je höher die Schweißdrüsengänge mit

⁵ Acetylcholin ist eigentlich ein postganglionärer Transmitter des parasympathischen Nervensystems. Der postganglionäre Botenstoff des sympathischen Nervensystems ist ansonsten Noradrenalin (45).

Schweiß gefüllt sind, desto höher ist die Hautleitfähigkeit. Je weniger Schweiß sich in den Drüsengängen befindet, desto geringer ist die Hautleitfähigkeit (49) (51).

Zur Registrierung der Hautleitwerte wird das Ohm'sche Gesetz $R = U / I$ angewendet. Es besagt, dass der Widerstand (R) der Quotient aus Spannung (U) und Stromstärke (I) ist. Zur Ermittlung des **Hautwiderstandes** wird die Stromstärke experimentell konstant gehalten wobei die Änderungen der Spannung registriert werden. Diese stehen direkt mit dem Hautwiderstand (SR; *skin resistance*) im Verhältnis. Die Einheit des Hautwiderstandes ist *Ohm*. Die **Hautleitfähigkeit** wird anhand einer konstanten Spannung und variabler Stromstärke ermittelt. Die Änderungen der Stromstärke stehen in direktem Zusammenhang mit der Hautleitfähigkeit (SC; *skin conductance*), dem Kehrwert des Widerstandes (49) (51) (47). Die Einheit der Hautleitfähigkeit ist *Mikrosiemens* μS .⁶ Die Hautleitfähigkeit zeigt in der Regel eine größere Aussagekraft als der Hautwiderstand (54).

Anwendung in der psychophysiologischen Forschung

Zur Beschreibung der elektrodermalen Aktivität (EDA) werden phasische und tonische Reaktionen unterschieden. Phasische Reaktionen sind kurzzeitige Änderungen der EDA mit einer Dauer von ca. 4 Sekunden. Tonische Reaktionen bezeichnen das Niveau der Hautleitwerte. Beide Parameter spiegeln die Reaktionen auf einen Stimulus mit einer Latenz von 1-3 Sekunden wider. Sie treten aber auch spontan auf. Im Verhalten der EDA gibt es deutliche interindividuelle Unterschiede. Abbildung 2 zeigt beispielhaft das Verhalten der Hautleitfähigkeit von drei verschiedenen

Probanden über einen Zeitraum von 90 Sekunden. Innerhalb der ersten 30 Sekunden wurde kein Reiz dargeboten. Darauf folgte eine Serie von vier neutralen akustischen Reizen, welche an den Vertikalen (Reiz 1 bis Reiz 4) zu erkennen sind. Der obere Graph des Hautleitfähigkeitsverlaufs zeigt mit zahlreichen

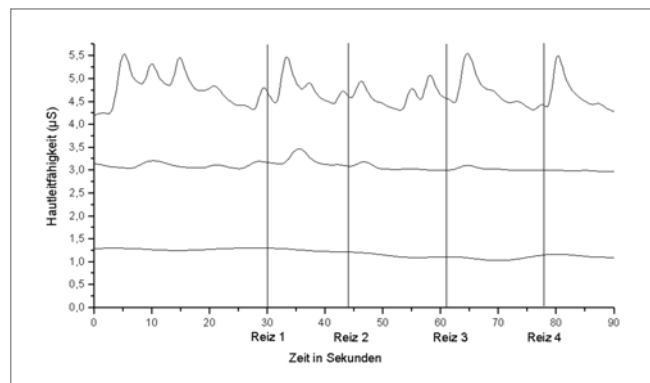


Abbildung 2: Drei Beispielverläufe der Hautleitfähigkeit (52)

phasischen Reaktionen auf einem hohen Hautleitfähigkeitsniveau den typischen Verlauf der EDA eines Responders. Die mittlere Kurve zeigt eine geringere Anzahl an phasischen Reaktionen auf mittlerem Niveau. Der untere Graph zeigt mit fehlenden Reaktionen auf einem niedrigen Niveau das typische elektrodermale Verhalten eines Non-Responders (Vgl. Abschnitt 2.6 *Persönlichkeitsfaktoren*).

⁶ Mikrosiemens ist der Kehrwert des Widerstandes ($1 \mu S = 1 / \text{Ohm} = 1 \text{ mho}$).

In verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen wurde ein Anstieg der EDA bei vor allem negativ getönter Erregung, Frustration, Konzentration und Aufmerksamkeit festgestellt. Ein Abfall der EDA zeigte sich in Ruhephasen (49) (51) (55). Geschlechtsspezifische Tendenzen wurden von Lang et al. (35) berichtet. Männer zeigten hier einen deutlicheren Zusammenhang mit Erregung als Frauen. Venables & Mitchell (56) wie auch Codispoti et al. (57) konnten hingegen keine eindeutigen Geschlechtsunterschiede finden.

Bedeutung für die vorliegende Arbeit

Die EDA bildet die Aktivität des peripheren sympathischen Nervensystems und die Aktivität zentraler Prozesse ab (47) (52). Sie kann als Indikator einer allgemeinen zentralen Aktiviertheit gewertet werden (17). Die EDA gilt als ein verhältnismäßig sicherer Parameter. Ein Anstieg wird in emotional erregenden Situationen und bei mentaler Beanspruchung berichtet (49) (51) (55). In den Arbeiten wird ein relativ einheitliches Bild der elektrodermalen Reaktionen auf Belastung dargestellt. Lediglich geschlechtsspezifische Unterschiede werden uneinheitlich beschrieben (35) (56) (57).

2.5.2 Aktivität des Musculus corrugator supercilii

Die mimische Muskulatur ist von wesentlichem Interesse in der psychophysiologischen Forschung. Ihre Steuerung erfolgt von zentral über Motoneurone des vorderen Rückenmarkhornes. Auch umgekehrt hat die Muskelaktivität selbst einen Einfluss auf das Gehirn (49) (58).

Mechanismen der Entstehung von Muskelpotentialen

Im Rahmen der Muskelarbeit kommt es zu messbaren Ionenströmen zwischen Extra- und Intrazellularraum. Mittels Elektroden können die extrazellulären Potenzialänderungen gemessen und in einem Elektromyogramm (EMG) dargestellt werden. In der psychophysiologischen Forschung erfolgen die Ableitungen mittels Haut- oder Nadelelektroden an der Skelettmuskulatur. Messungen an der Hautoberfläche erfassen größere Muskelgebiete. Ableitungen mittels Nadelelektroden aus dem inneren des Muskels stellen spezifischere Regionen dar (49).⁷ Dabei beschreibt die Amplitude die Anzahl der im Muskel aktivierten Muskelfasern, den sogenannten motorischen Einheiten. Die Frequenz beschreibt die Häufigkeit der Potenzialänderungen. Sind viele benachbarte motorische Einheiten aktiv, wird auf Grund der nicht synchronen elektrischen Aktivität eine erhöhte Frequenz gemessen (50). In der vorliegenden Arbeit werden die Aktivitäten der mimischen

⁷ Andreassi (49) berichtet z.B. von Messungen bei denen eine Nadelelektrode in Triggerpunkte des Musculus trapezius eingeführt wurde. Es fanden sich in diesen Punkten während Stresssituationen höhere Aktivitäten als in anderen (Nicht-Trigger-)Gebieten des Muskels.

Muskulatur mittels Hautelektroden aufgezeichnet. Von wesentlichem Interesse ist hierbei die Amplitude der muskulären Aktivität.

Anwendung in der psychophysiologischen Forschung

Der Musculus corrugator supercilii (M. corrugator; Korrugator) und der Musculus zygomaticus (M. zygomaticus; Zygomatikus) sind in der psychophysiologischen Forschung von besonderer Bedeutung. Vereinfacht dargestellt, zeigt sich bei Betrachtung des Gesichts eines frohen, angenehm berührten Menschen im Heben der Mundwinkel (Lächeln) eine hohe Aktivität des M. zygomaticus. Bei Betrachtung eines unglücklichen, traurigen oder unangenehm berührten Menschen zeigt sich mit dem Runzeln der Augenbrauen eine hohe Aktivität des M. corrugator. In gemäßigten emotionalen Situationen sind diese Muskeln in gewissem Maße Gegenspieler: Beim Lächeln mit hoher Zygomatikus-Aktivität erfolgt eine Entspannung des M. corrugator. Beim Runzeln der Augenbrauen mit hoher Korrugator-Aktivität erfolgt eine Entspannung des M. zygomaticus. In Extremsituationen wie starkem Ekel kommt es durch Grimassieren zu hohen Aktivitäten beider Muskeln (48) (49) (47) (59) (60) (61) (62).

In der vorliegenden Untersuchung werden die EMG-Aktivitäten der M. corrugator supercilii-Region untersucht. Der Korrugator, schon von Darwin als ‚Indikator einer Störung‘ bezeichnet, widerspiegelt die Negativität einer Emotion (62). In vorangegangenen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass je negativer eine Emotion ist, die Korrugator-Aktivität umso höher ist und umgekehrt (35) (62). Auch bei mentaler oder physischer Anstrengung kam es zu vermehrter Korrugator-Aktivität (63) (64) (65) (66) (67). Frustration spiegelte sich ebenfalls in einer erhöhten Korrugator-Aktivität wider (63). Geschlechtsspezifische Tendenzen wurden nur in wenigen dieser Arbeiten untersucht. Dabei wurden zum Teil inkonsistente Ergebnisse berichtet. Bei Lang et al. (35) zeigten Frauen höhere Korrugator-Aktivitäten als Männer; Codispoti et al. (57) fanden keine Geschlechtsunterschiede.

Bedeutung für die vorliegende Arbeit

Der Korrugator bildet einen Teil der mimischen Aktivität ab. Er gehört zu den mimischen Muskeln mit der stärksten Aussagekraft. Seine Reaktionen auf Belastung werden in der Literatur relativ einheitlich beschrieben. Ein Anstieg der Korrugator-Aktivität wird bei negativen Emotionen und bei mentaler Beanspruchung erwartet (35) (62) (63) (64) (65) (66) (67).

2.5.3 Kardiale Aktivität

Das Herz als zentrales Organ des menschlichen Körpers dient dem Bluttransport zur Versorgung der Organe und Gewebe des Körpers mit Sauerstoff, Nähr- und Botenstoffen sowie dem Abtransport von Kohlenstoffdioxid und Abfallstoffen zur Ausscheidung. Es unterliegt verschiedenen Steuermechanismen, welche einerseits durch Regelkreisläufe

innerhalb des Herzens, andererseits durch extrakardiale Abläufe bestimmt sind. Innerhalb des Herzens dient der Sinusknoten als Schrittmacher der Herzfrequenz mit etwa 120 Schlägen pro Minute. Der Nervus vagus als sein Gegenspieler inhibiert dessen Arbeit und senkt die Herzfrequenz auf einen Ruhepuls von etwa 72 Schlägen pro Minute. Neben der vagalen parasympathischen Kontrolle unterliegt das Herz auch der sympathischen Kontrolle des autonomen Nervensystems und hormonellen Einflüssen durch extra- und intrakardiale Hormone (19) (49) (68) (69).

Bei einem Herzgesunden variiert die Herzaktivität ständig. Dies ist zum einen begründet in der Anpassung der Herztätigkeit an körperliche Anforderungen, die mit Aktivierung des Parasympathikus und des Sympathikus einhergehen. Zum anderen erfolgt eine Anpassung an die mechanische Belastung des Herzens durch Variation der Vor- und Nachlast mit einem unterschiedlichen Füllungsdruck der Venen und Arterien während unterschiedlicher Körperhaltungen und Aktivitäten (49) (68) (69).

Anwendung in der psychophysiologischen Forschung

In der psychophysiologischen Forschung gab es in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Ansätze zur Messung und Interpretation der Herztätigkeit (49) (69) (70). Für die Messungen der Herzfrequenz (HR; *heart rate*) werden die RR-Intervalle⁸ des Elektrokardiogramms bestimmt. Ruhe führte zur Abnahme der HR (35) (71). Erregung und mentale Beanspruchung führte bei Piloten zu einer Zunahme der HR (19). Backs (19) berichtete von HR-Anstiegen bei mentaler Belastung und in aktiven Coping-Situationen, von fehlendem Anstieg in passiven Coping-Situationen. Andere Autoren (6) (17) schrieben von einer Erhöhung der HR mit zunehmender allgemeiner zentraler Aktiviertheit wie sie in herausfordernden Belastungssituationen (aktivem Coping) auftritt.

Die mittlere HR wurde beim Betrachten von Bildern als niedriger bei negativen Bildern beschrieben im Vergleich zu positiven Bildern (35) (55) (72). Neben diesen verschiedenen hohen Mittelwerten der HR wurden bei Betrachtung von emotional wirkenden Bildern eine initiale Dezeleration und darauf folgende Akzeleration der HR beschrieben. Die Ausmaße der De- und Akzeleration unterschieden sich in Abhängigkeit der Valenz: negative Emotionen zeigten eine starke initiale HR-Dezeleration und einen darauffolgenden geringen Anstieg, positive Bilder zeigten initial eine geringere Dezeleration und darauffolgend einen stärkeren Anstieg (31). In einer anderen Arbeit wurde eine stärkere initiale Dezeleration bei positiven *und* negativen Bildern im Vergleich zu neutralen Bildern beschrieben (73).

Herzfrequenzanstieg und -abfall hängen stark vom auslösenden Verfahren ab. Besonders die Möglichkeit zum Eingreifen in eine Situation scheint hier von Einfluss zu sein. In nicht

⁸ Ein RR-Intervall bezeichnet den Abstand zweier R-Zacken des Elektrokardiogramms.

beeinflussbaren Situationen bleibt ein HR-Anstieg in der Regel aus. „Die Herzrate bildet daher nicht so sehr eine basale sympathikotone Erregungsbereitschaft ab, sondern fungiert eher im Sinne eines spezifischen taktischen Reaktionsmusters, welches vorwiegend durch die Anforderungen der Aufgabe bestimmt ist“ (27 S. 154).

Bedeutung für die vorliegende Arbeit

Die Herzfrequenz unterliegt maßgeblich der Kontrolle durch das vegetative Nervensystem und spiegelt dessen Aktivität wider. Sie wird wie die Hautleitfähigkeit als Indikator einer allgemeinen zentralen Aktiviertheit gewertet (17). Die Reaktionen der HR werden in der Literatur abhängig vom auslösenden Verfahren unterschiedlich berichtet. Ein Anstieg erfolgte beispielsweise in Situationen mit der Möglichkeit zum Eingreifen (6) (17) (19). Ein Abfall wurde in Situationen gemessen, in denen ein Eingreifen nicht möglich war (35) (55) (72). Eine einheitliche Meinung hierzu wird in der Literatur nicht dargestellt. Möglicherweise liegt dies auch an den verschiedenen Emotions- oder Beanspruchungsmodellen, die in den Arbeiten Verwendung finden.

Die HR wird in der vorliegenden Untersuchung erhoben, um in Zusammenschau mit der Literatur eine Einordnung in die oben aufgeführten, praktisch relevanten Modelle von dreidimensionaler Emotionalität und Coping vorzunehmen. Dies erfolgt im Zusammenhang mit den anderen erhobenen physiologischen Parametern. Bei der Betrachtung von Bildern wird ein initialer HR-Abfall erwartet. Bei negativen Bildern wird eine im Mittel niedrigere HR erwartet als bei positiven Bildern. Ein HR-Anstieg wird während mentaler Belastung erwartet.

2.5.4 Atmung

Die Atmung dient dem menschlichen Körper zur Aufnahme von Sauerstoff und zur Abgabe von Kohlenstoffdioxid. Die unbewusste Regulation der Atmung erfolgt über rhythmisch tätige Neuronen in der Medulla oblongata und über eine tonische Aktivierung aus der Formatio reticularis. Modifiziert wird diese zentrale Steuerung über zahlreiche Afferenzen z.B. von arteriellen Chemorezeptoren, aus Skelettmuskeln und Gelenken, von Lungen- und Atemwegsrezeptoren, von Schmerzrezeptoren oder von Informationen aus hypothalamischen Schaltzentren der Temperaturregulation. Des Weiteren erfolgt eine Regulation durch emotional beeinflusste thalamische Strukturen. Neben dieser unbewussten Atemregulation kann die Atmung unter Umgehung des medullären Rhythmusgenerators auch willkürlich beeinflusst werden (17) (74) (75).

Die Intensität der Atmung (Atemfrequenz und -tiefe) wie auch die Art und Weise der Atmung (Bauch- oder Brustatmung) haben einen Einfluss nicht nur auf die Aufnahme und Abgabe der Atemgase sondern zusätzlich auf zahlreiche andere Funktionen des menschlichen Körpers. Zum Beispiel wird die Herz- und Gehirnaktivität maßgeblich von der Atmung, besonders von

der Bauchatmung beeinflusst. Langsame und tiefe Atmung führt zu Reduktion der Herzfrequenz und von dort via Nervus vagus zu einer Reduktion bzw. Beeinflussung der elektrischen Potentiale des Gehirns (76). Andererseits können respiratorische Afferenzen auch direkt die Neuronen im Vorderhirn aktivieren (17) (75).

Anwendung in der psychophysiologischen Forschung

Die Atmung war im vergangenen Jahrhundert wiederholt Gegenstand der psychophysiologischen Forschung. Es wurden sowohl mentale als auch emotionale Einflüsse auf die Atmung untersucht (17) (75). In einem ausführlichen Review stellen Boiten et al. (77) die Reaktionen der Atemparameter bei psychischer Belastung dar. Sie unterteilen in vier wesentliche Reaktionsformen: schnelle und tiefe Atmung, schnelle und flache Atmung, langsame und tiefe Atmung und langsame und flache Atmung. Schnelle und tiefe Atmung zeigte sich bei ungerichteter diffuser Erregung, es bestand eine erhöhte ungerichtete Handlungsbereitschaft. Schnelle und flache Atmung zeigte sich bei unterdrückter Handlungsbereitschaft, in Spannungszuständen, während längerer Aufmerksamkeit, in leistungsfordernden oder stressigen Situationen. Langsame und tiefe Atmung widerspiegelte Zustände entspannter Ruhe. Langsame und flache Atmung wurde ebenfalls während Entspannung vorgefunden, aber auch bei passiven Zuständen von Kummer oder ruhiger Freude in Situationen des Rückzugs von der Umwelt und der Passivität. Die Atemfrequenz widerspiegelt folglich die innere Erregung einer Person, die Atemtiefe zeigt den Grad der zentralen Inhibition.

Zahlreiche andere Arbeiten betrachten lediglich einzelne Aspekte von Atmung. Bei der Untersuchung des Einflusses von Emotionen auf die Atemparameter zeigte sich für zunehmende Erregung eine Zunahme der Atemfrequenz (75) (77); Ekel provozierte längere Atempausen (78); in Ruhe stellte sich langsames Atmen ein (75). Es wurden aber auch inkongruente Reaktionen der Atmung berichtet (77). Bei mentaler Belastung wie dem Ausführen arithmetischer Aufgaben konnte eine flache Atmung mit unwesentlicher Zunahme der Atemfrequenz gefunden werden (17). Eine gesteigerte Aufgabenschwierigkeit führte zu einer Zunahme der Atemfrequenz und -amplitude (17) (71) (79). Andere Arbeiten dokumentieren einen fehlenden Zusammenhang der mentalen Beanspruchung und der Atmung (80).

Neben Atemfrequenz und Atemtiefe wurde oft auch die thorako-abdominale Balance der Atmung untersucht. Boiten et al. (77) bewerten die Veränderungen dieses Gleichgewichts auf der Ebene der Valenz und auf der Ebene der inhibitorischen Kontrolle. Eine betonte thorakale Atmung wurde Zuständen von negativen Affekten, Angespanntheit, Ängstlichkeit und Inhibition zugeordnet. Eine betonte abdominale Atmung hingegen wurde Zuständen von positiven Empfindungen, Entspannung und fehlender Inhibition zugeordnet. Dem entgegen fanden

Gomez et al. (55) eine Verlagerung der Atmung vom Bauch zur Brust mit zunehmender Positivität einer Emotion.

Bedeutung für die vorliegende Arbeit

In der vorliegenden Arbeit werden die Atemfrequenz und die Atemamplitude sowohl von Bauch- als auch Brustatmung untersucht. Boiten et al. (77) schreiben diesen Parametern eine gute Aussagekraft zu. Da die peripher beeinflussenden Afferenzen der Atmung in der vorliegenden Untersuchung relativ konstant sind, weil keine wesentliche Änderung der körperlichen Aktivität erfolgt, werden die Veränderungen der Atemparameter vor allem mit zentralen Prozessen in Verbindung gebracht. Die Herzfrequenz steht in Zusammenhang mit der allgemeinen zentralen Aktiviertheit. Beide Parameter können sich wechselseitig beeinflussen (17).

Bei Betrachtung emotional wirkender Bilder wird mit zunehmender Erregung, entsprechend der relativ einheitlichen Aussagen der Literatur (75) (77), eine Zunahme der Atemfrequenz erwartet. Die Valenz scheint keinen wesentlichen Einfluss auf die Atemfrequenz zu haben. Keine konkreten Erwartungen können für die Atemtiefe und für das Verhältnis von Brust- und Bauchatmung bei emotionaler Belastung mit Bildern festgelegt werden. Bei zu Grunde legen der Ausführungen von Boiten et al. (77) kann mit zunehmender Erregung entweder eine Zu- oder eine Abnahme der Atemamplitude erfolgen: Durchleben die Probanden ihre ungerichtete Erregung vollständig, wird von einer Zunahme der Atemtiefe ausgegangen. Unterdrücken oder kontrollieren sie jedoch ihre Erregung, da sie sich während der Untersuchung in einer beobachteten Situation befinden, kann es zum Abfall der Atemamplitude mit zunehmender Erregung und zunehmender Unterdrückung dieser kommen. Für das Verhältnis von Bauch- und Brustatmung beschreiben Gomez et al. (55) beim Betrachten emotional wirkender Bilder eine Verlagerung der Atmung vom Bauch zur Brust mit zunehmender Positivität einer Emotion. Sollte in dieser Situation jedoch die Angespanntheit des Probanden auf Grund der beobachteten Untersuchungssituation überwiegen, würde nach Boiten et al. (77) die Brustatmung überwiegen.

Bei mentaler Belastung wird während des Rechentests eine flache Atmung mit unwesentlicher Zunahme der Atemfrequenz erwartet (17). Beim Reaktionstest ist eine Zunahme der Atemfrequenz besonders in der schnellen zweiten Phase zu erwarten (17) (71) (79).

2.5.5 Frontalhirn-Aktivität

Der präfrontale Cortex dient der Integration von Emotionen innerhalb kognitive Prozesse sowie der Fähigkeit, Emotionen und Verhalten zu regulieren (Moral); weiterhin der Planung von Handlungen und der Aufmerksamkeitsteuerung. Das Frontalhirn ist in nahezu alle kognitiven Prozesse involviert (81) (82) (83). Zur Untersuchung der Aufgabenstellung der

Beanspruchungsmessung sind die Eingliederung des Frontalhirns in die Verarbeitung von Emotionen sowie die Funktion des Frontalhirns zur Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit (*maintain alertness*) und deren zielgerichtete Steuerung von Bedeutung (84) (85).

Mechanismen zur Messung der Frontalhirn-Aktivität

Die Erhebung der Aktivität des Gehirns erfolgt in der vorliegenden Arbeit durch Messung der Durchblutung mittels Nahinfrarotspektroskopie. Ein aktiviertes Hirnareal wird deutlich stärker durchblutet als ein gerade nicht benötigtes Hirnareal (neurovaskuläre Kopplung) (86) (87) (88). Wird Licht auf dieses Areal projiziert⁹, wird es von dem dortigen Gewebe und Blut absorbiert, gestreut und reflektiert. An der Hautoberfläche wird der Anteil des reflektierten Lichtes gemessen werden. Somit sind Rückschlüsse auf die Aktivität des Gehirnareals möglich (89) (90). Bei den verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen kommen verschiedene Verfahren der Nahinfrarotspektroskopie zur Anwendung, welche in Abhängigkeit des verwendeten Gerätes verschiedene Wellenlängen, Applikationsgrößen und -orte des Lichtes verwenden.

Anwendung in der psychophysiologischen Forschung

Die Nahinfrarotspektroskopie hat sich neben anderen Verfahren wie Positron-Emissions-Tomografie (91), Elektroenzephalografie oder funktioneller Magnetresonanztomografie (21), welche die Durchblutung bzw. Aktivierung verschiedener Hirnareale darstellen, in der psychophysiologischen Forschung etabliert. Sie gilt dennoch als ein relativ neues Verfahren. Eine Steigerung der Frontalhirndurchblutung und -oxygenierung wurde mittels Nahinfrarotspektroskopie während Rechenaufgaben gefunden (92). Bei Aktivierung verschiedener Hirnareale durch visuelle, auditive, sensomotorische Reize oder kognitive Aufgaben konnte eine Zunahme der Hirndurchblutung gemessen werden (88) (90) (92).

Weitere Anwendung findet die Nahinfrarotspektroskopie in der Biofeedback-Therapie bei Migräne, Konzentrations- und Merkschwierigkeiten oder Aufmerksamkeitsdefiziten (93) (94), in der perioperativen klinischen Anwendung zur Untersuchung der Sauerstoffversorgung des Gehirns (89) oder bei Untersuchungen an Neugeborenen (95). Da mittels Nahinfrarotspektroskopie häufig auch andere Gehirnteile als das Frontalhirn untersucht werden, müssen zur Herleitung von Funktionen und Reaktionen des Frontalhirns auch andere Messverfahren herangezogen werden. Mittels Positron-Emissions-Tomografie konnte eine Zunahme der Frontalhirn-Aktivität nach vermehrt aufgetretenen negativen Affekten in den

⁹ Haut und Knochen sind transluzent (lichtdurchlässig). Beim Durchleuchten der Hand mit einer Taschenlampe beispielsweise leuchten die Gewebe rot auf. So kann auch Licht durch Haut und Knochen hindurch zum Gehirn durchdringen.

vorangegangenen vier Wochen festgestellt werden (96). Introvertierte zeigten in Ruhe eine erhöhte Frontalhirndurchblutung als Extrovertierte (91).

Bedeutung für die vorliegende Arbeit

Da das Frontalhirn in nahezu alle kognitiven Prozesse involviert ist, erscheint die Beanspruchungsbeurteilung durch psychische Belastung gerade durch Messungen der Frontalhirn-Aktivität als sinnvoll. Eine Steigerung der Frontalhirn-Aktivität wird daher während emotionaler und mentaler Prozesse erwartet. Die Messung der Hirnaktivität ist bei der Erhebung der Beanspruchung ein relativ neuer Parameter und muss daher in Untersuchungen bezüglich seiner Eignung geprüft werden. Sicher ist, dass verschiedene Gehirnareale durch verschiedene Reize aktiviert und somit beansprucht werden (88) (90), und dass Rechenaufgaben zu einer Steigerung der Frontalhirn-Aktivität führen (92). Ob der Grad der Aktivierung mit dem Ausmaß bestimmter Belastung in Zusammenhang steht muss noch untersucht werden.

2.6 Persönlichkeitsfaktoren

In der psychophysiologischen Forschung gilt die Persönlichkeit als ein die physiologischen Reaktionen beeinflussender Faktor. Hier können zum einen auf der psychologischen Ebene sogenannte Charaktertypen unterschieden werden, welche sich auf die Extraversion und die Emotionalität eines Menschen beziehen. Andererseits gibt es auf der Ebene der körperlichen Reaktionen Persönlichkeitsmerkmale, welche für eine Zuordnung zu expressiven oder somatischen Typen herangezogen werden. Welche dieser Persönlichkeitsfaktoren bei der Erhebung von physiologischen Reaktionen auf psychische Beanspruchung von wesentlichem Einfluss sind, konnte bisher nicht gezeigt werden (32) (52) (97). Der Stand der Wissenschaft zu den Persönlichkeitsfaktoren wird im Folgenden dargelegt.

2.6.1 Psychologische Persönlichkeitstypen – Extraversion und Emotionalität

Als Grundlage der Analyse des Einflusses von psychologischen Persönlichkeitsfaktoren werden die nach Eysenck definierten Persönlichkeitsgruppen der Extraversion und der Emotionalität¹⁰ unterschieden, wie es bereits in anderen Arbeiten durchgeführt worden ist (17) (35) (91). Zur Messung des Extraversionsgrades und des Emotionalitätsgrades der Untersuchungspersonen wird in der Form eines Fragebogens das Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI) in der Version FPI-R herangezogen (98). In diesem Fragebogen werden den Probanden 138 Aussagen über Verhaltensweisen, Einstellungen und Gewohnheit

¹⁰ Emotionalität wird gleichgesetzt mit dem Begriff Neurotizismus.

in der Ich-Form vorgelegt, beispielsweise „Ich gehen abends gerne aus.“ Diese können mit „stimmt“ oder „stimmt nicht“ beantwortet werden. Die Rohwerte der Antworten werden in neunstufige Skalen (Stanine = Standard-Nine) verschiedener Persönlichkeits-Dimensionen umcodiert und können so für empirische Untersuchungen herangezogen werden. Mit Werten im Bereich von 1-3 auf der Emotionalitätsskala wird die Person als emotional stabil bezeichnet, mit Werten im Bereich von 4-6 als neutral und im Bereich von 7-9 als emotional labil. Mit einem Wert von 1-3 auf der Extraversion-Skala wird die Person als introvertiert bezeichnet, mit einem Wert von 4-6 als neutral und mit einem Wert von 7-9 als extravertiert (99).

Personen mit niedrigem Testwert auf der *Emotionalitäts-Skala* gelten als mit sich und ihrem Leben relativ zufrieden, sie sind gelassen, nehmen die Dinge leicht, ihre Stimmung ist ausgeglichen, sie sind wenig ängstlich oder empfindlich, sie haben wenig Sorgen oder innere Konflikte; psychosomatische Störungen und Gesundheitssorgen fehlen weitgehend. Höhere Testwerte finden sich eher bei Frauen, geringer Schulbildung, geschieden oder getrennt Lebenden, Arbeitslosen oder bei schlechtem Gesundheitszustand (99). Personen mit niedrigem Testwert auf der *Extraversion-Skala* gelten als zurückhaltend, ruhig, ernst, wenig unterhaltsam oder mitteilsam und beherrscht. Höhere Testwerte finden sich eher bei Männern und höherer Schulbildung (99).

Danuser (17) fand eine allgemeine Verschiebung der Atemantwort zu langsamerer und tieferer Atmung bei den Extravertierten, jedoch zeigte sich kein Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen bei verschiedenen Emotionen. Saunders et al. (100) beschreiben eine größere ventilatorische Antwort mit zunehmender Extraversion. Johnson et al. (91) zeigten mittels Positron-Emissions-Tomografie, dass Introvertierte in Ruhe eine erhöhte Frontalhirndurchblutung aufweisen als Extrovertierte. Lang et al. (35) konnten keinen Zusammenhang der physiologischen Messwerte, Danuser (17) keinen weiteren als den oben beschriebenen Zusammenhang der Atmung mit den im Persönlichkeitsfragebogen erhobenen Zahlen für Extraversion oder Emotionalität auffinden.

Auf Basis der Ausführungen von Cacioppo et al. (97) wird angenommen, dass emotional labile Personen höhere elektrodermale Aktivitäten aufweisen. Da Emotionalität zumindest teilweise inhaltlich mit der Dimension *Angst (anxiety)* nach Spielberger verknüpft ist (101), können Rückschlüsse aus der Arbeit von Schönplugg & Mündelein (22) auf die Dimension Emotionalität gezogen werden. Diese fanden nach Einteilung der Teilnehmer in *high and low state anxiety*-Persönlichkeitstypen anhand von Fragebögen einen deutlichen Unterschied in der mittleren Herzrate. Höhere Frequenzen fanden sich bei Einteilung in *high anxiety*, niedrigere Frequenzen bei Einteilung in *low anxiety*. Somit wird bei geringerer emotionaler Stabilität auch eine höhere Herzrate erwartet.

2.6.2 Somatische Persönlichkeitstypen – Hautleitfähigkeit als Merkmal sympathischer Reagibilität

Auch auf der somatischen Ebene kann eine Einteilung in Persönlichkeitstypen erfolgen. Verbreitung findet dabei die Einteilung an Hand von Messungen der Hautleitfähigkeit in Responder und Non-Responder (49) (47) (51) (52) (56) (97). Als Responder gelten diejenigen Personen, welche eine hohe Anzahl an phasischen elektrodermalen Reaktionen und ein hohes Hautleitfähigkeitsniveau zeigen (Vgl. Abbildung 2, S. 12; oberer Graph), Non-Responder zeigen nur geringe oder keine phasischen Reaktionen und ein geringes Hautleitfähigkeitsniveau (Vgl. Abbildung 2, S. 12; unterer Graph). Dawson et al. (51) berichten von etwa 5-10% Non-Respondern in der normalen Bevölkerung, Venables & Mitchell (56) geben einen Anteil von etwa 25 % an. Eine einheitliche Definition der Responder-Typen erfolgte bisher nicht. Für eine Einteilung findet u.a. die auf einen oder mehrere Reize folgende Anzahl an phasischen Reaktionen (52) (51), die Höhe der phasischen Reaktion (56) oder die Höhe des Hautleitfähigkeitslevels (51) Anwendung. In der vorliegenden Arbeit erfolgt ebenfalls eine Einteilung in Responder-Typen. Grundlage hierfür sind die Ansätze von Venables & Mitchell (56); Dawson et al. (51) und Burk (52).

Lang et al. (35) fanden keine Korrelationen zwischen den verschiedenen physiologischen Reaktionen der Teilnehmer und ihrem Grad der sympathischen Reagibilität. Sie legten jedoch eine andere als obige Einteilung in Persönlichkeitstypen zu Grunde (Vgl. Abschnitt 2.6.3 *Exkurs: Andere somatische Persönlichkeitstypen*). Auf Basis der Ausführungen von Cacioppo et al. (97) sowie Schönplflug & Mündelein (22) wird ein Einfluss des Responder-Typs nicht nur auf Ebene der elektrodermalen Aktivität sondern auch auf andere physiologische Parameter angenommen. Cacioppo et al. (97) ordnen in ihrem Review der sympathischen Reagibilität den psychologischen Persönlichkeitsfaktor Emotionalität zu. In der vorliegenden Arbeit soll überprüft werden, inwieweit hier ein Zusammenhang besteht.

2.6.3 Exkurs: Andere somatische Persönlichkeitstypen

Neben einer Einteilung in somatische Persönlichkeitstypen an Hand der Hautleitfähigkeit, wurden in verschiedenen Arbeiten die Aktivität des M. corrugator und der Atmung herangezogen. Diese werden im Folgenden kurz erläutert. In der vorliegenden Arbeit wird zu Gunsten des begrenzten Umfangs auf eine Untersuchung dieser Zusammenhänge verzichtet.

M. corrugator und mimische Expressivität

Cacioppo et al. (97) beschreiben in ihrem Review über Persönlichkeitsfaktoren individuelle Unterschiede auf Ebene der Expressivität. Sie propagieren die mimischen Reaktionen als einen zusätzlichen somatischen Persönlichkeitsfaktor, und ordnen ihm den psychologischen Persönlichkeitsfaktor *Expressivität* zu. Die Einteilung auf der Ebene der Expressivität erfolgt

mit Hilfe von Messungen der Korrugator-Aktivität. Menschen mit hohem mimischen Ausdruck werden als *Externalisierer* (*Expressive Reactors*) bezeichnet. Diesem Persönlichkeitstypus stellen sie die *Internalisierer* (*Sympathetic Reactors*) und die *Generalisierer* gegenüber. *Internalisierer* zeigen eine hohe Reagibilität auf Ebene der elektrodermalen und somit der sympathischen Aktivität. *Generalisierer* zeigen eine hohe Reagibilität auf der sympathischen und auf der expressiven Ebene. Personen die inkongruente Reaktionen aufweisen, werden keiner der drei Gruppen zugeordnet.

Atmung und psychische Inhibition

In einem ausführlichen Review stellen Boiten et al. (77) wesentliche Reaktionen der Atemparameter bei psychischer Belastung. Es werden vier wesentliche Reaktionsformen der Atmung unterteilt: schnelle und tiefe Atmung, schnelle und flache Atmung, langsame und tiefe Atmung und langsame und flache Atmung. Die Atemfrequenz widerspiegelt hierbei den Grad der inneren Erregung einer Person, die Atemtiefe zeigt den Grad der Inhibition an. Auch das Verhältnis von Brust- zu Bauchatmung weist auf den Grad der Inhibition / Exzitation hin dar (Vgl. Abschnitt 2.5.4 *Atmung*). Auf Basis dieser Ausführungen wird angenommen, dass es auch auf Ebene der Atmung beeinflussende Persönlichkeitsfaktoren gibt. Kontrollierte wenig emotionale Menschen mögen in der Reaktion der Atemparameter einen höheren Teil inhibitorischer Anteile aufweisen. Möglicherweise bestehe ein Zusammenhang mit psychologischen Persönlichkeitsmerkmalen.

2.7 Ausgewählte Methoden zum Auslösen und zum Erfassen psychischer Beanspruchung

Die Informationsverarbeitung des Menschen ist immer ein Zusammenwirken von emotionalen und kognitiven Prozessen (25). Bei der Untersuchung von psychischer Belastung ist dennoch eine möglichst getrennte Betrachtung beider Anteile anzustreben (39) (35) (27) (17) (32) (31). Zur Auslösung von möglichst emotionsfreier mentaler Belastung waren für die vorliegende Untersuchung der Rechentest (102) und der Reaktionstest (103) vorgegeben. Zur Auslösung weitgehend von mentaler Belastung freier emotionaler Belastung diente das International Affective Picture System (IAPS) (104). Der NASA-Task Load Index (NASA-TLX) (105) wurde zur Erhebung der subjektiven Bewertung der Beanspruchung (41) (106) und das Self-Assessment Manikin (SAM) (33) zur Erfassung des subjektiven emotionalen Empfindens verwendet. Persönlichkeitsabhängige Faktoren wurden mit Hilfe des Freiburger Persönlichkeitsinventars (FPI) und eines selbstständig entworfenen Allgemeinen Fragebogens zu Alter, Geschlecht, Gesundheit, Gewohnheiten und Freizeitverhalten erfasst (Vgl. Anhang 1). Die Tabelle 2 stellt eine Übersicht über die verwendeten Methoden und Parameter der vorliegenden Untersuchung dar.

Tabelle 2: Überblick über die angewandten Methoden und Messgrößen

	Emotionaler Teil	Mentaler Teil
Psychische <u>Belastung</u> auslösen durch	IAPS (International Affective Picture System)	ReT (Rechentest) und RkT (Reaktionstest)
<u>Emotionales Empfinden</u> erheben	SAM (Self-Assessment Manikin)	
<u>Beanspruchung</u> feststellen	NASA-TLX (NASA-Task Load Index)	
<u>Physiologische Reaktionen</u> messen	• HR (Herzfrequenz; heart rate) in beat per minute (bpm) • SCL (Hautleitfähigkeitslevel; skin conductance level) in Mikrosiemens (μS) • Aktivität des M. corrugator in Millivolt (mV) • Frontalhirndurchblutung als Quotient von reflektiertem Licht • RR (Atemfrequenz; respiration rate) in min^{-1} und R_Amp (Atemamplitude; respiration amplitude) als relativer Wert; Bauch- und Brustableitung	
<u>Persönlichkeitsfaktoren</u> erheben	• Expressivität und Emotionalität erheben mit Hilfe des FPI (Freiburger Persönlichkeitsinventar) • Allgemeiner Fragebogen zu Alter, Gesundheit, Freizeitverhalten, Bildungsgrad	

2.7.1 Das International Affective Picture System (IAPS)

Zur Auslösung von Emotionen bzw. affektiven Zuständen hat sich in der wissenschaftlichen Forschung das Anschauen von Bildern aus dem International Affective Picture System (IAPS) bewährt (27) (17) (31) (37). Das IAPS stellt eine Sammlung von mehr als 1000 Fotografien des *Center for the Study of Emotion and Attention* der University of Florida dar (104). Diese



Abbildung 3: Beispielbilder für positive (links), neutrale (Mitte) und negative (rechts) Valenzen

bilden in aller Vielfalt die unterschiedlichen Erfahrungsbereiche eines Menschen ab und dienen so als Auslöser von Emotionen. Gezeigt werden Gegenstände, Tiere und Pflanzen, Handlungen, nackte oder bekleidete Personen in freudigen, beängstigenden, wütenden, beruhigenden, bedrohenden, gelangweilten, schönen, ekelerregenden oder sonstigen Situationen. Hierzu gehören Bilder von Haushaltsgegenständen, Beerdigungen, Hunden, Schlangen, Zahnarztsituationen, Kriegsbildern, Umweltverschmutzungen, dreckigen Toiletten, Blumen und Tierkindern, Landschaftsansichten und Familien (Vgl. Abbildung 3). Die Bilder wurden vom *Center for the Study of Emotion and Attention* in multiplen Studien bewertet (27)

(31) (32) (33). So entstanden auf den Ebenen Valenz, Erregung und Dominanz normierte emotionale Stimuli, welche in der psychophysiologischen und Emotionsforschung als vergleichbare Grundlage dienen (104).

2.7.2 Das Self-Assessment Manikin (SAM)

Die Ausprägung der drei Emotionsdimensionen Valenz, Erregung und Dominanz wird mit dem von Lang entwickelten neunstufigen *Self-Assessment Manikin* SAM erfasst (33). Es handelt sich hierbei um eine stilisierte Figur (*manikin*), welche mit charakteristischen Merkmalen die verschiedenen Anteile der Emotionen abbildet. Die Dimension Valenz wird dargestellt durch einen positiven lächelnden Gesichtsausdruck mit gehobenen Mundwinkeln bzw. negativen

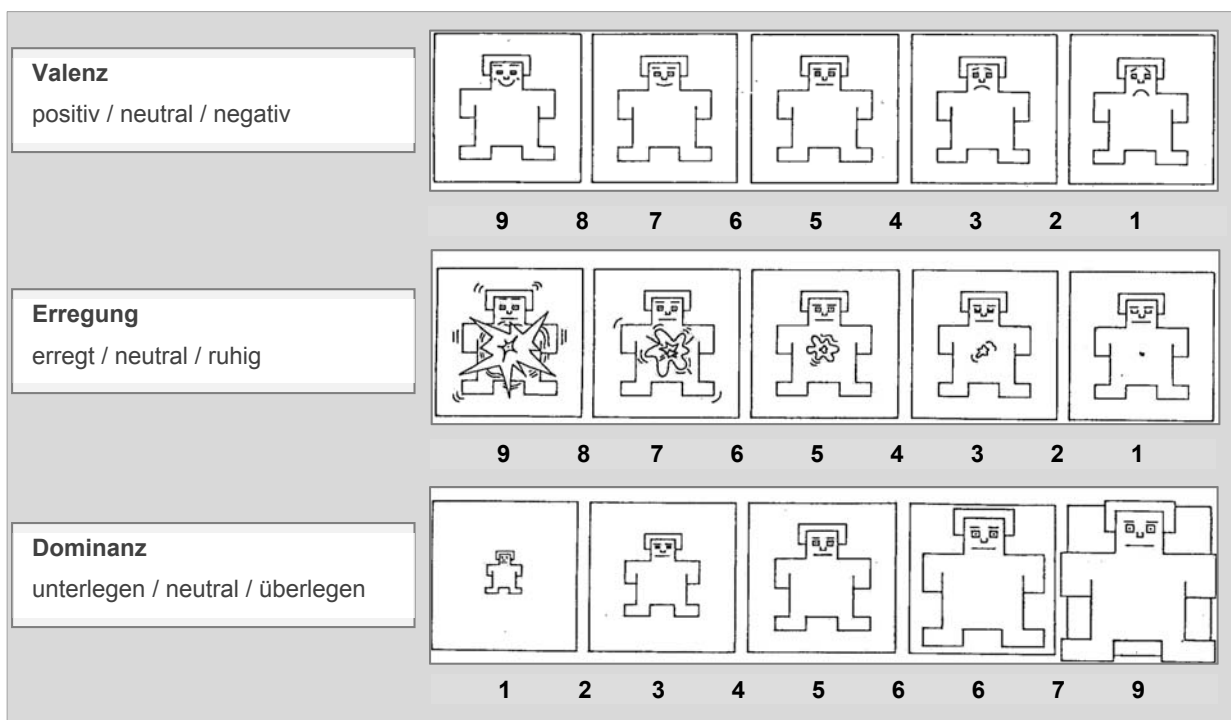


Abbildung 4: Dreidimensionales Self-Assessment Manikin SAM. Die Zahlen geben an, wie die SAMs für die Auswertung codiert wurden.

Gesichtsausdruck mit hängenden Mundwinkeln. Zusätzlich variiert die Stellung der Augen und Augenbrauen. Die Dimension Erregung wird mittels des Grades der geöffneten Augen und der gehobenen Augenbrauen abgebildet von geschlossenen Augen bei unerregten Zuständen bis zu weit geöffneten Augen mit deutlich erhobenen Augenbrauen bei erregten Zuständen. Zusätzlich wird die Erregung in der sogenannten „Aktivität des Herzens“ abgebildet. Ruhige Zustände zeigen ein ganz kleines fast nicht sichtbares Herz, erregte Zustände zeigen ein „explodierendes“ Herz. Die Dimension Dominanz spiegelt sich bei souveränen unbeeindruckten Emotionen in einem im Verhältnis zum Umfeld großen Manikin wider und bei submissiven ohnmächtigen Zuständen in einem im Verhältnis zum Umfeld ganz kleinen Manikin (Vgl. Abbildung 4). Bei der Einweisung in die Anwendung des SAM werden den

Untersuchungspersonen diejenigen extremen Emotionen beschrieben, welche die entsprechende Dimension begrenzen: angenehm – unangenehm, entspannt – aufgeregt, dominant – unterlegen (Vgl. Anhang 2) (17) (31) (37). Die Probanden können sowohl unter dem einer Emotion entsprechenden Manikin als auch zwischen zwei Manikins die Markierung setzen, so dass für jede der drei Dimensionen eine neunstufige Emotionsskala entsteht.

2.7.3 Rechentest und Reaktionstest

Zur Auslösung mentaler Beanspruchung kommen zwei Verfahren des Wiener Testsystems zur Anwendung. Der Rechentest (102) untersucht die Konzentrationsfähigkeit (38) (40) (42). Mit dem Reaktionstest (103) wird eine Aufmerksamkeitsbelastung bzw. konzentrierte Aufmerksamkeitsbelastung ausgelöst (39) (40) (42). Beide Verfahren waren vorgegeben, weil sie zum einen die zwei Ebenen von mentaler Belastung (Konzentration und Aufmerksamkeit) widerspiegeln und zum anderen beim Reaktionstest die Komponente des Zeitdrucks hinzukommt.

Rechentest

Als Rechentest findet die Arbeitsleistungsserie des Wiener Testsystems Verwendung. Dieser Test ist ein Verfahren zur Erfassung der Konzentrationsleistung sowie der psychischen Sättigung und Ermüdbarkeit bei geistiger Tempoarbeit. „Das Messprinzip [...] wird in der Literatur als anhaltende Konzentration bei geistiger Tempoarbeit umschrieben. Hierzu zählen auch

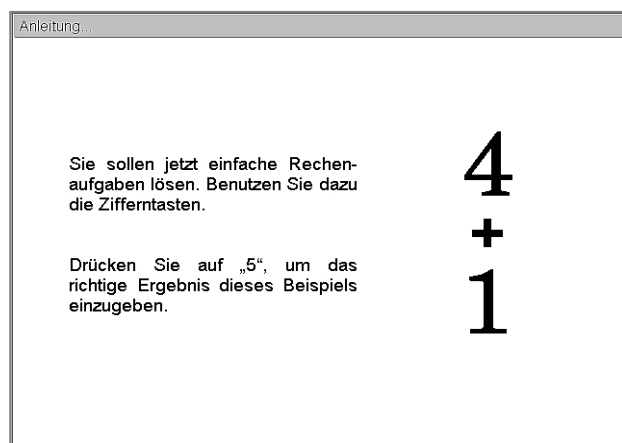


Abbildung 5: Bildschirmpräsentation des Rechentests

Persönlichkeitsmerkmale wie ‚Festigkeit‘ gegen Ablenkungen und Störungen, Interferenzen, Motiviertheit und Willenseinsatz [...]“ (41 S. 4) Der Proband hat die Aufgabe in einem Zeitraum von zehn Minuten möglichst viele Subtraktions- und Additionsaufgaben zweier einstelliger Zahlen durchzuführen deren Ergebnisse ausschließlich im positiven Bereich liegen. Die Ergebnisse sind durch den Probanden über eine Tastatur einzugeben, anschließend wird die nächste Rechenaufgabe präsentiert (Vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6). Die Probanden werden nicht auf falsche Ergebnisse hingewiesen, sie können bei Bedarf jedoch eine falsche Eingabe korrigieren (41). Die Gesamtdauer des Rechentests beträgt 10 Minuten.

Reaktionstest

Als Reaktionstest findet der Determinationstest des Wiener Testsystems Anwendung. Er wurde als ein Verfahren zur Erfassung der reaktiven Belastbarkeit erarbeitet. Das Belastende liegt im fortlaufenden Reagieren auf wechselnde Reize (41). Dem Probanden wird ein Farbreiz während eines bestimmten Zeitraumes dargeboten, danach folgt der nächste Reiz – unabhängig davon, ob auf den vorangegangenen reagiert wurde. Der Proband ist aufgefordert, auf seiner Tastatur die dem Farbreiz entsprechende



Abbildung 6: Bildschirmpräsentation des Reaktionstests; sichtbar ist die Tastatur mit den Farbtasten (groß; hier Graustufen) für den Reaktionstest und mit den Zahlentasten von 1 bis 9 und 0 in aufsteigender Reihenfolge (klein, schwarz) für den Rechentest

Farbtaste zu drücken (Abbildung 6). Der Test ist in drei Geschwindigkeitsphasen unterteilt; jede der drei Phasen enthält 180 Reize, die sich nach der Dauer der Reizpräsentation unterscheiden: anfangs 1078 msec, anschließend 834 msec und zuletzt 948 msec (also: lang, sehr kurz, kurz). Die Gesamtdauer des Reaktionstests beträgt 8,6 Minuten (3,3 min + 2,5 min + 2,8 min).

2.7.4 Der NASA-Task Load Index (NASA-TLX)

Der Mensch ist in der Lage sein subjektiv erlebtes Beanspruchungsempfinden zu artikulieren und somit erfassbar zu machen. Mit dem NASA-Task Load Index (NASA-TLX) wurde ein Erhebungsverfahren zur Beurteilung der Arbeitsbelastung bzw. -beanspruchung (engl. *workload / workload level experienced*) geschaffen (105) (106) (107). Berücksichtigt werden hierbei sechs Kategorien, die die subjektive Beanspruchung durch eine Aufgabe widerspiegeln – vom Lösen einfacher Additionsaufgaben über komplexe mentale Anforderungen bis hin zu körperlich schweren Arbeiten (105). Die Beanspruchungskategorien sind *Geistige Anforderung*, *Körperliche Anforderung*, *Zeitliche Anforderung*, subjektiv erbrachte *Leistung* sowie benötigte *Anstrengung* und *Frustration*. Die ersten drei Dimensionen beziehen sich auf die gestellten Anforderungen. Die letzten drei Dimensionen beziehen sich auf die Interaktion von Untersuchungsperson und Aufgabe (107). Neben der psychischen Beanspruchung wird auch die körperliche Beanspruchung abgefragt. Emotionale Anteile können sich möglicherweise in der Dimension *Leistung* im Sinne von Erfolg und Misserfolg und in der Dimension *Frustration* als negative oder positive Valenzen widerspiegeln. Erregung schlägt sich möglicherweise in der Dimension *Zeitliche Anforderung* nieder.

Tabelle 3: Dimensionen des NASA-TLX

Dimension	Beschreibung
Geistige Anforderung	Wie hoch waren die geistigen Anforderungen der Aufgabe?
Körperliche Anforderung	Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen der Aufgabe?
Zeitliche Anforderung	Wie hoch war das Tempo, mit dem die einzelnen Arbeitsabschnitte der Aufgabe aufeinander folgten?
Leistung	Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Aufgabe ihrer Ansicht nach durchgeführt?
Anstrengung	Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um Ihre Leistung zu erreichen?
Frustration	Wie verunsichert, entmutigt, gereizt und verärgert waren Sie?

Im Teil 1 des NASA-TLX erfolgt durch Paarvergleiche das Herstellen einer Rangordnung der Dimensionen. Dieser Teil wird als Ranking bezeichnet. Er wird prospektiv ausgefüllt und setzt voraus, dass der Betroffene die Aufgabe kennt. Im Teil 2 des NASA-TLX reflektiert der Betroffene in diesen sechs verschiedenen Dimensionen auf einer standardisierten stufenlosen visuellen Analogskala von 0 bis 100 seine subjektiv erlebte Beanspruchung. Dieser Teil wird als Rating bezeichnet. Er wird retrospektiv nach Beendigung der Aufgabe ausgefüllt (Vgl. Angang 3).

Die Eignung des NASA-TLX für die vorliegende Untersuchung begründet sich dadurch, dass das Ausfüllen des Fragebogens in sehr kurzer Zeit (weniger als 1 Minute) erfolgt und die wesentlichen Dimensionen von Beanspruchung erfasst werden (105) (107).

3 METHODIK UND DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Auswirkung von mentaler und emotionaler Belastung auf den Menschen und der Vergleich dieser Beanspruchungsarten. Zur Untersuchung der Fragestellungen wurde zum einen die Auswirkung von Bildern mit emotional wirkendem Inhalt (IAPS) auf die Probanden, zum anderen die Reaktionen auf mentale Belastungssituationen (Rechentest und Reaktionstest) betrachtet. Erhoben wurden dabei physiologische Parameter von Haut, Herz, Mimik, Atmung und Frontalhirn. Mit Hilfe von Fragebögen wurde die subjektiv empfundene mentale und emotionale Belastungssituation festgestellt.¹¹ Die experimentelle Erhebung der Daten erfolgte von August 2008 bis März 2009.

¹¹ Auf die Erhebung von Leistungsparametern wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet, da jene maßgeblich durch den Bildungsgrad der Untersuchungspersonen beeinflusst werden. Aufgrund der Heterogenität des Bildungsgrades im Probandenkollektiv aber auch der verhältnismäßig geringen Stichprobenzahl können von den Leistungsparametern keine für die Fragestellung der vorliegenden Untersuchung verwertbaren Rückschlüsse auf die mentale Belastung gezogen werden (24).

3.1 Untersuchungspersonen

An der Untersuchung nahmen 25 weibliche und 24 männliche Personen teil. Alle Untersuchungspersonen nahmen freiwillig an der Studie teil. Sie wurden mittels mündlicher Propaganda und mittels Aushängen gewonnen. Die Teilnehmer wurden im Vorfeld über den Zweck und den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt. In diesem Zusammenhang wurden sie auch gebeten, auf Kaffee vor dem Versuch zu verzichten. Das Einverständnis zur Durchführung der Untersuchung erfolgte schriftlich. Eine Aufwandentschädigung erfolgte nicht. Die Aufnahmekriterien beinhalteten gute allgemeine Gesundheit, relatives Wohlbefinden, ausreichende Wachheit und fehlender Konsum von Medikamenten, die das emotionale Verhalten beeinflussen können (Psychopharmaka).

Am Beginn der Untersuchung wurde von den Untersuchungspersonen Fragebögen zur Wachheit und zum derzeitigen Befinden ausgefüllt, um Kontraindikationen gegen die vorgesehene Untersuchung auszuschließen. Zusätzlich wurde ein Allgemeiner Fragebogen zu den derzeitigen Lebensumständen betreffend Gesundheit, Freizeitverhalten und Medikamentenkonsum ausgefüllt (Vgl. Anhang 1). Beim Freizeitverhalten wurde u.a. der Medienkonsum erfragt, um eine potentielle Desensibilisierung gegen visuelle, emotional wirkende Reize festzustellen. Vor dem Rechentest erfolgte die Ermittlung der Berufsgruppe und eine Befragung zum Bildungsgrad nach folgendem Schema:

- 1=kein Schulabschluss (weniger als 9 Schuljahre),
- 2=Pflicht- oder Realschule abgeschlossen (9-10 Schuljahre);
- 3=Fachschule bzw. Berufsausbildung abgeschlossen (10-12 Jahre Ausbildung),
- 4=Höhere Schule mit Abitur abgeschlossen (12-13 Jahre Ausbildung),
- 5=Universitäts- oder Hochschulabschluss.

3.2 Verfahrenstechniken, Messgeräte und Versuchsumgebung

Die Untersuchung wurde in einem ca. 11 qm großen Raum in einer störungsarmen, ruhigen Umgebung des Instituts für Präventivmedizin der Universität Rostock durchgeführt. Die Untersuchungspersonen saßen in einem Stuhl mit hoher Rückenlehne und mit Armlehnen an einem Schreibtisch, auf dem die Computermonitore platziert waren. Die Präsentation der emotionsauslösenden Bilder erfolgte auf einem 19 Zoll Flachbildschirm. Rechentest und Determinationstest wurden auf einem zweiten 17 Zoll Flachbildschirm präsentiert. Beide Monitore waren mit einem Augenabstand von ca. 50 cm aufgestellt.

Die in der vorliegenden Untersuchung zur Emotionsauslösung verwendeten Bilder sind in Anhang 9 und 10 aufgeführt. Eine Erläuterung zur Auswahl der Bilder erfolgt in Abschnitt 3.4. Die verwendeten Verfahren aus dem Wiener Testsystem (Version 6.4.1) sind die

Arbeitsleistungsserie S7 Luxemburger Form als Rechentest und der Determinationstest S6 Wiener Form B als Reaktionstest. Der NASA-TLX wurde in der deutschen paper-and-pencil Version verwendet (Vgl. Angang 3). Diese Version wurde vom Institut für Präventivmedizin der Universität Rostock zur Verfügung gestellt. Die Aufzeichnungen der physiologischen Parameter erfolgten mittels Biograph Infiniti der Firma Thought Technology Ltd. (SA 7900 Version 4.0.1, © 2003-2008) auf einem Notebook der Firma DELL mit Windows XP. Die dazugehörigen Sensoren wurden gemäß Anleitung (108) verwendet:

Zur Messung der **elektrodermalen Aktivität** wurde der Sensor SC-Flex/Pro verwendet. Dieser besteht aus zwei Elektroden, welche in ein Klettband eingewebt sind. Die Applikationsorte wurden vor Anbringen der Elektroden mit Alkohol gereinigt, anschließend luftgetrocknet. Die Elektroden wurden an der nicht-dominanten bzw. passiven Hand¹² am Endglied des Mittel- und des Zeigefingers angebracht.

Die Aktivitätsmessung der **M. corrugator supercilii**-Region erfolgte mittels MyoScan-Sensor in der 400N-Einstellung. Die Elektroden (Spes Medica S.r.l. Einmal Ag/AgCl EEG-EMG-Elektroden, DENISO1520) wurden linksseitig platziert. Die Pole wurden an der Nasenwurzel und am Ansatz der Augenbraue aufgeklebt (49) (61). Die Haut wurde an den Ableitorten für das EMG vor Aufkleben der Elektroden mit Alkohol gereinigt und mit einer Paste (Nuprep ECG&EEG Abrasive Skin Prepping Gel, D.O. Weaver & Co.) aufgeraut, welche dann sauber entfernt wurde. Die Elektroden wurden unter Einhaltung des Mindestabstandes von 5 mm direkt nebeneinander geklebt, da die Klebefläche jeder Seite der Elektrode 2,5 mm betrug. Anfangs kam es gelegentlich zum Abfallen der Korrugator-Elektroden während der Untersuchung und dadurch zu einem teilweisen Datenverlust. Begründet ist dies in der initial gewählten waagerechten Positionierung der Elektroden mit den Kabeln nach lateral. Bei der später verwendeten senkrechten Positionierung der Elektroden mit den Kabeln nach kranial war eine deutlich bessere Haftung gegeben; es kam zu keinem weiteren Lösen der Elektroden.

Die **Herztätigkeit** wurde mit Hilfe des EKG-Flex/Pro-Sensors und Einmal-EKG-Elektroden (Ambu® Blue Sensor R) abgeleitet. Der Minus-Pol wurde unterhalb des rechten Schlüsselbeins, die Erdung unterhalb des linken Schlüsselbeins und der Plus-Pol im Bereich des oberen Mittelbauches angelegt. Letzterer wurde so variiert, dass der Ausschlag der R-Zacke maximal war, um Bewegungsartefakte so gering wie möglich zu halten.

Zur Erhebung der **Atemaktivität** wurden die dehnbaren Atemgürtel um Brust und Bauch der Untersuchungsperson gelegt. Gemessen wurde ein relatives Signal der Dehnung der

¹² Da die teilnehmenden Linkshänder die Verwendung der Maus mit der rechten Hand gewohnt waren, war in diesen Fällen die nicht-dominante Seite die aktive Seite.

Sensoren. Aus diesem wurden automatisch durch das ProComp Infiniti-Gerät die Atemfrequenz und relative Werte für die Atemamplitude berechnet.

Die Ableitung der **Frontalhirndurchblutung** erfolgte mittels Stirnband-Sensoren. Zwei Lichter von rotem und infrarotem Licht wurden alternierend auf dasselbe Stirnareal appliziert. Aus den gemessenen Werten wurde automatisch ein Quotient berechnet (Ratio), welcher der Bewertung der Hirnaktivität dient. Ein hoher Quotient entspricht einer verstärkten Hirnaktivität (86). Die rote Wellenlänge (660 nm) wird zu einem höheren Anteil von desoxygeniertem Hämoglobin absorbiert als von oxygeniertem. Bei erhöhtem Anteil von oxygeniertem Blut in einem Hirnareal wird folglich ein höherer Anteil an rotem Licht reflektiert und somit gemessen. Zur Referenz dient die infrarote Wellenlänge (850 nm), welche relativ unempfindlich bezüglich der Oxygenierung des Hämoglobins ist und von beiden Formen fast gleichermaßen absorbiert bzw. reflektiert wird (86) (89).

3.3 Ablauf der experimentellen Untersuchung

Die experimentelle Untersuchung hatte eine Gesamtdauer von ca. 170 Minuten. Nach Eintreffen der Probanden wurden diese begrüßt, es erfolgten einführende Erläuterungen und das Ausfüllen der Fragebögen zur Wachheit und zum derzeitigen Befinden (Vgl. Abschnitt 3.1). Anschließend erfolgte das Anlegen der Sensoren, so dass sich die Untersuchungspersonen während des anschließenden Ausfüllens des Allgemeinen Fragebogens sowie den Erläuterungen zum SAM und NASA-TLX bereits an diese gewöhnen konnten. Die Instruktionen für das SAM sind ausführlich in Anhang 2 aufgeführt. Nach der Erläuterung der SAM-Dimensionen und der Verfahrensweise erfolgte eine Übungsphase mit drei emotionsauslösenden Bildern; einem positiv valenten erregenden, einem negativ valenten erregenden und einem neutral valenten nicht erregenden Bild. Diese drei Bilder wurden beispielhaft mit dem SAM bewertet. Zur darauffolgenden Erläuterung des NASA-TLX wurde den Probanden der Fragebogen (Anhang 3) vorgelesen und das Setzen der entsprechenden Markierung auf dem Papier demonstriert. Daraufhin erfolgte die psychische Belastung.

Die umfangreiche Aufgabenstellung der psychischen Belastung wurde so angeordnet, dass möglichst wenig Monotonie und Ermüdung, aber auch kein Stress und keine Gewöhnung stattfanden (109). So erfolgte ein stetiger Wechsel zwischen emotionaler und mentaler Belastung. Die Belastung wurde in folgender Reihenfolge vorgenommen: Einzelbilder Teil 1, Rechentest, Einzelbilder Teil 2, Reaktionstest und zuletzt Bildserien (Vgl. Tabelle 4).

Die Untersuchung der emotionalen Belastung erfolgte in drei Abschnitten. In den ersten beiden Abschnitten erfolgte die Präsentation von Einzelbildern, im dritten Abschnitt wurden Bildserien gezeigt. Jedes Einzelbild und jede Bildserie wurde einzeln im Anschluss an die jeweilige Bildpräsentation retrospektiv bezüglich der ausgelösten Emotion mittels Self-

Assessment Manikin (SAM) bewertet. Die subjektive Beanspruchung während der Bildpräsentationen wurde mit Hilfe des NASA-TLX jeweils für den gesamten Teil 1 der Einzelbilder, für den gesamten Teil 2 der Einzelbilder und einzeln für jede Bildserie erhoben. Das prospektive Ranking im NASA-TLX erfolgte bei der Bildpräsentation jeweils direkt vor Beginn der Einzelbilder Teil 1, vor Beginn der Einzelbilder Teil 2 und vor Beginn des Abschnitts der Bildserien. Das Rating im NASA-TLX erfolgte retrospektiv nach Abschluss des Abschnitts Einzelbilder Teil 1, des Abschnitts Einzelbilder Teil 2 und nach jeder Bildserie.

Tabelle 4: Ablauf der experimentellen Untersuchung (hellblau: administrative Details und ergänzende Fragebögen; gelb: emotionale Belastung; rot: mentale Belastung)

	Untersuchungsabschnitt	Beanspruchungserhebung	Dauer
	Begrüßung, Erläuterungen		10 Min
	Anlegen der Sensoren		20 Min
	Allgemeiner Fragebogen, Erläuterung von SAM und NASA-TLX		10 Min
EB 1	Einzelbilder Teil 1	SAM für jedes Bild NASA-TLX für gesamten Abschnitt EB 1	20 Min
ReT	Rechentest	SAM und NASA-TLX für den gesamten Rechentest	15 Min
EB 2	Einzelbilder Teil 2	SAM für jedes Bild NASA-TLX für gesamten Abschnitt EB 1	20 Min
RkT	Reaktionstest	SAM und NASA-TLX für den gesamten Reaktionstest	15 Min
Serien	Bildserien	SAM und NASA-TLX für jede Bildserie	25 Min
	Ruhephase		15 Min
	Freiburger Persönlichkeitsinventar		20 Min
Gesamtdauer			170 Min

Die Untersuchung der mentalen Belastung erfolgte mit Hilfe des Rechentests und des Reaktionstests. NASA-TLX und SAM wurden jeweils für den gesamten Rechentest und für den gesamten Reaktionstest erhoben. Das prospektive Ranking im NASA-TLX erfolgte nach Abschluss der Übungsphase vor Beginn des jeweiligen Tests. Das Ausfüllen des SAM und des Ratings im NASA-TLX erfolgte nach Beendigung der Belastung als retrospektive Einschätzung.

Zuletzt durchliefen die Probanden eine Ruhephase. Nach deren Ende füllten die Probanden das Freiburger Persönlichkeitsinventar aus (Vgl. Tabelle 4). Die physiologischen Parameter von Herz-, Atem-, Korrugator-, Frontalhirn- und elektrodermaler Aktivität wurden während der gesamten psychischen Belastung und während der Ruhephase aufgezeichnet.

3.4 Auswahl und Präsentation der emotionsauslösenden Bilder

Zur Auslösung von Emotionen hat sich in der psychophysiologischen Forschung die Präsentation von emotional wirkenden Bildern aus dem International Affective Picture System (IAPS) etabliert. Es kam zum einen die Präsentation der einzelnen Bilder zur Anwendung (27) (35). Andere Arbeiten fassten mehrere, eine ähnliche Emotion provozierende Bilder zu einer Bildserie zusammen, um längere emotionale Zustände zu erreichen und den physiologischen Parametern eine verlängerte Reaktionszeit einzuräumen (17) (73). In den Untersuchungen wurde für die Auswahl der Bilder der emotionale Raum zwischen den beiden Dimensionen Valenz und Erregung zu Grunde gelegt, da sich in vorangehenden Arbeiten gezeigt hatte, dass die Dimensionen Valenz und Erregung eine hohe Aussagekraft besitzen und sich verhältnismäßig gut in psychophysiologischen Reaktionen widerspiegeln. Die Dimension Dominanz hingegen besitzt eine starke Kovariabilität mit dem Faktor Valenz. So wurden in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls aus diesem zweidimensionalen Emotionsraum Bilder ausgewählt und in Form von Einzelbildern wie auch Bildserien präsentiert.

Auswahl und Präsentation der Einzelbilder

Für die Einzelbilder wurden dem IAPS geschlechterspezifisch für die Frauen 51 und für die Männer 50 farbige Bilder entnommen.¹³ Die Auswahl der Bilder erfolgte so, dass der gesamte emotionale Raum abgedeckt war, eine inhaltliche Heterogenität vorlag und sie in den normativen subjektiven Beurteilungen auf den Ebenen Valenz und Erregung nur geringe Varianzen aufwiesen.¹⁴ Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten Einzelbilder sind in Abbildung 7 im zweidimensionalen Emotionsraum schwarz abgebildet. Eine genaue Benennung der Bilder erfolgt in Anhang 9.

Die Bilder wurden für die experimentelle Untersuchung randomisiert in zwei Teile A und B aufgeteilt. Eine Reihenfolge der Bilder innerhalb des jeweiligen Teils A oder B wurde zufällig festgelegt und dann während der gesamten Untersuchung für alle Probanden beibehalten. Teil A bzw. Teil B der Einzelbilder wurde abwechselnd zuerst gezeigt. Die Präsentationsdauer eines Einzelbildes betrug gemäß allgemeinem wissenschaftlichem Vorgehen sechs Sekunden (17) (27) (57) (110). Vor der Präsentation eines Einzelbildes erfolgte auf dem Monitor für sechs Sekunden die Ankündigung „Jetzt folgt ein neues Bild“. Diese Zeit und die Zeit des Ausfüllens der Fragebögen im Anschluss an ein Einzelbild wurde wie allgemein üblich als Erholungszeit für die physiologischen Parameter angesehen (35) (73).

¹³ Bei den Frauen wurden 51 Bilder entnommen, da die erhobenen Daten einer zusätzlichen Auswertung in einer weiteren Arbeit zugeführt werden.

¹⁴ Die normativen Standardabweichungen jedes Bildes sind im IAPS hinterlegt.

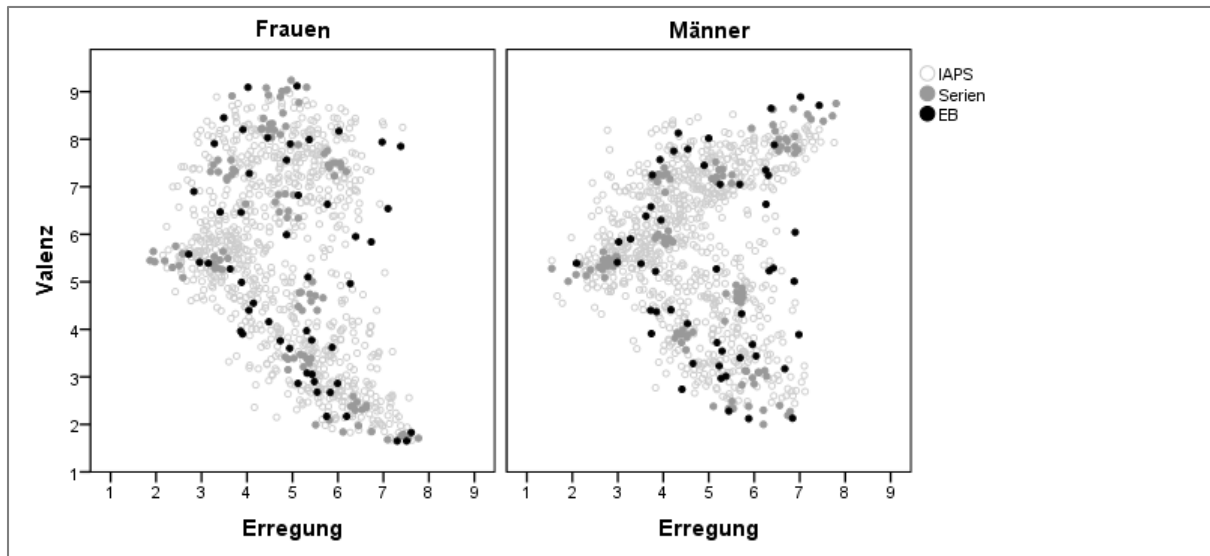


Abbildung 7: Darstellung der zur Verfügung stehenden Bilder des IAPS, davon ausgewählte Bilder für die Einzelbildpräsentation (EB) und ausgewählte Bilder für die Präsentation als Bildserien (Serien) im zweidimensionalen Emotionsraum

Auswahl und Präsentation der Bildserien

Die Präsentationsdauer der Bildserien betrug eine Minute. So wurde den physiologischen Parametern v.a. der respiratorischen und kardialen Aktivität eine ausreichende Reaktionszeit eingeräumt. Gleichzeitig war der Zeitumfang im Zusammenhang mit der gesamten Untersuchung nicht zu groß. Die allgemein übliche Präsentationsdauer eines Bildes von sechs Sekunden (27) (35) (57) (110) wurde in der vorliegenden Arbeit auch bei den Bildserien beibehalten. Dies erfolgte, da sich die normierten affektiven Einschätzungen auf eine Dauer von sechs Sekunden beziehen (55). Für eine Bildserie à einer Minute sind daher 10 Bilder à sechs Sekunden notwendig. Gleichzeitig wurde auf diesem Wege die Möglichkeit der Habituation umgangen, welche sich einstellen könnte, wenn nur ein einziges Bildes mit einer Dauer von einer Minute gezeigt würde.¹⁵

Zur Auswahl der Bilder für die Bildserien wurden alle Bilder des IAPS im zweidimensionalen emotionalen Raum zwischen den Ebenen Valenz und Erregung geschlechterspezifisch in 8 Cluster aufgeteilt. Aus jedem dieser 8 Cluster wurden 10 Bilder ausgewählt, die dem entsprechenden Clusterzentrum am nächsten liegen und die in den normativen subjektiven Beurteilungen auf den Ebenen Valenz und Erregung nur geringe Varianzen aufweisen. So entstanden 8 Bildserien à 10 Bilder, die den gesamten emotionalen Raum abdecken. Zusätzlich wurden für 3 Bildserien jeweils 10 Bilder aus den Bildern mit den extremsten Bewertungen ausgewählt (positiv erregt, negativ erregt, neutral ruhig). Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten Bilder der Bildserien sind im zweidimensionalen Emotionsraum

¹⁵ Bei Danuser (17) erfolgte beispielsweise eine Reizung über 30 Sekunden mit 5 Bildern à 6 Sekunden. Bei Smith, Bradley, und Lang (73) erfolgte eine Reizung über 90 Sekunden mit 12 Bildern ebenfalls à 6 Sekunden zwischen denen eine 1,5 Sekunden lange Präsentationspause stattfand.

der Abbildung 7 grau abgebildet. Eine genaue Benennung der Bilder und Bildserien erfolgt in Anhang 10.

Die Reihenfolge der Bilder innerhalb einer Serie wurde randomisiert und während der gesamten Untersuchung bei allen Probanden beibehalten. Die Reihenfolge der Bildserien innerhalb der experimentellen Erhebung wurde für zwei Abfolgen so festgelegt, dass ähnliche Emotionen nicht direkt hintereinander provoziert wurden, um Additionseffekte zu vermeiden. Eine dritte Abfolge ist eine der ersten Abfolgen in umgekehrtem Ablauf. Die Untersuchungspersonen wurden zufällig einer vorher festgelegten Abfolge zugeordnet, so dass jede Abfolge etwa gleich oft zur Anwendung kam. Vor der Präsentation einer Bildserie erschien auf dem Monitor für sechs Sekunden der Hinweis *„Jetzt folgt eine neue Bildserie“*. Auch hier wurde diese Zeit und die Zeit des Ausfüllens der Fragebögen im Anschluss an die Bildserien als Erholungszeit für die physiologischen Parameter angesehen (35) (73).

3.5 Datenverarbeitung

3.5.1 Datenaufzeichnung

Die physiologischen Parameter von Herz-, Atem-, Korrugator-, Frontalhirn- und elektrodermalen Aktivität wurden während der gesamten psychischen Belastung und während der Ruhephase aufgezeichnet. Während der Bildpräsentation erfolgte die exakte Zuordnung der physiologischen Daten zu den Bildern durch das automatische Setzen eines elektronischen Markers bei Beginn des Ankündigungsbildes *„Jetzt folgt ein neues Bild“* bzw. *„Jetzt folgt eine neue Bildserie“* sowie mit Beginn und Ende eines jeden Bildes auch innerhalb der Bildserien. Die elektronische Markierung des Beginns von Rechentest und Reaktionstest in den Aufzeichnungen der physiologischen Daten musste manuell mit Beginn des entsprechenden Tests erfolgen. Da die Probanden den entsprechenden Test selbstständig ohne vorherige Ansage begannen, konnte keine exakte zeitliche Aufzeichnung erfolgen. Eine automatische Kopplung beider Systeme war technisch nicht möglich. Die Aufzeichnung wurde daher bei einigen Probanden einige Sekunden vor Beginn der Tests gestartet und bei anderen Probanden einige Sekunden nach Beginn der Tests. Aus diesem Grund wird die gesamte erste Minute der Tests als Baseline verwendet. Da die Anforderungen und Beanspruchung in dieser ersten Minute relativ gering sind, wird von unwesentlichen Einflüssen der Habituation bzw. des Lerneffektes ausgegangen und von nur geringen Änderungen der physiologischen Parameter. Durch diese unscharfe Aufzeichnungsform kommt es allerdings zum Verwaschen der Übergänge der einzelnen Phasen des Reaktionstests.

3.5.2 Datenübernahme, Datenreduktion und Datenbereinigung

Zur Untersuchung der körperlichen Reaktionen auf psychische Belastung wurden bei jedem Probanden 38 physiologische Parameter durch das ProComp-Infiniti-Gerät erhoben (Vgl. Anhang 5). Die so entstandene Datenfülle wurde pro Parameter auf 256 Daten pro Sekunde reduziert und in ein MatLab-Programm (© MathWorks, Inc.; Vers. 1) exportiert. Das MatLab-Programm berechnete die Mittelwerte der einzelnen Parameter während der sechs Sekunden jeder einzelnen Bildpräsentation bzw. während jeder Minute des Rechentests, des Reaktionstests oder der Ruhephase. Bei der Bildpräsentation wurden neben dem Mittelwert des 6-Sekunden-Zeitraumes zusätzlich Mittelwerte für alle zwölf halben Sekunden und für zwei 3-Sekunden-Abschnitte dieses Zeitraumes berechnet. Weiterhin wurde für jeden Parameter während der sechs Sekunden jeder einzelnen Bildpräsentation bzw. während der einzelnen Minuten des Rechentests, des Reaktionstests und der Ruhephase die Standardabweichung, die maximale Differenz und die Zeitdauer, nach der die maximale Differenz erreicht wurde, erhoben. Die durch das MatLab-Programm berechneten Daten wurden in eine WordPad-Datei konvertiert und konnten anschließend in das SPSS-Programm (Version 15.0 bzw. 19) importiert werden.

Nicht alle 38 physiologischen Parameter wurden für die Auswertung herangezogen. Aus der Vielzahl der vorliegenden Daten wurden diejenigen ausgewählt, welche die deutlichsten Zusammenhänge mit den emotionalen Dimensionen zeigten bzw. welche die anderen Parameter in besonderem Maße repräsentieren. So hat sich bei der Darstellung der Korrugator-Aktivität der ungefilterte Wert Corr_Raw als von hoher Aussagekraft erwiesen, da er sehr hoch mit allen angewandten EMG-gefilterten Werten korrelierte und zusätzlich die stärksten Korrelationen mit der Dimension Valenz zeigte. Ebenso hat sich bei der Darstellung der elektrodermalen Aktivität der ungefilterte Wert der Hautleitfähigkeit SC_Raw als geeignet erwiesen, da er sehr hoch mit allen anderen erhobenen Werten der elektrodermalen Aktivität (sowohl mit gefilterten Werten als auch mit dem Hautwiderstand) korrelierte und zusätzlich die stärksten Korrelationen mit der Dimension Erregung zeigte. Die Herzfrequenz wurde wegen der besseren Darstellbarkeit und der hohen Korrelation mit dem Inter-Beat-Intervall diesem vorgezogen. Eine Analyse der Herzfrequenzvariabilität sprengte den Umfang der vorliegenden Arbeit. Bei der Atmung wurden die allgemein üblichen Amplituden und Frequenzen der Bauch- und Brustatmung betrachtet. Die Frontalhirn-Aktivität wurde mit Hilfe des durch das ProComp-Infiniti-Gerät berechneten Quotienten beider Wellenlängen analysiert. Eine Betrachtung beider Wellenlängen einzeln konnte sich dem begrenzten Umfang der vorliegenden Arbeit nicht einfügen. Um eine Konstanz der analysierten Parameter zu gewährleisten, wurden obige anhand der Bildpräsentation ausgewählten Parameter auch für den Rechentest, den Reaktionstest und die Ruhephase analysiert.

Eine Bereinigung der Daten erfolgte beim M. corrugator. Eine Bildserie und die Ruhephase eines Probanden wurden aus der Analyse ausgeschlossen, bei denen überwiegend Muskelaktivitäten von mehr als 200 mV gemessen wurden, da es sich hier am ehesten um willkürlich beeinflusste Muskelaktivität handelt. Es handelt sich um eine negativ bewertete Bildserie (Valenz = 1). Bei der Analyse der Herzfrequenz wurde ein Proband mit Werten von mehr als 120 bpm, in der Regel zwischen 160 und 180 bpm, ausgeschlossen. Am ehesten handelt es sich hier um Messartefakte.

Nicht bei allen Untersuchungsabschnitten bzw. physiologischen Parametern konnte die gleiche Zahl an Untersuchungspersonen (Upn) in die Auswertung eingeschlossen werden. Wie aus den Antworten des Allgemeinen Fragebogens ersichtlich wurde, konnte bei zwei Upn wegen der Einnahme von Betablockern die Herzfrequenz nicht in die Auswertung einbezogen werden. Zwei Probanden wiesen einen höheren Internet-Konsum auf als andere und führten auch PC-Spiele durch, was auf eine Desensibilisierung gegenüber emotional wirkenden Bildern hinweisen könnte. Zu Gunsten der Stichprobenzahl wurde jedoch auf eine gesonderte Betrachtung dieser Teilnehmer verzichtet. Ansonsten ergaben sich aus dem Allgemeinen Fragebogen keine wesentlichen in der Auswertung zu berücksichtigenden Hinweise. Weiterhin kam es durch technische Probleme zum Datenverlust: Unerlaubtes Sprechen während der Untersuchung (2 Upn) wie auch das Verrutschen des Atemgürtels (1 Upn) führte zum Ausschluss bzw. Verlust der Aufzeichnungen der Atemparameter, ein Abfallen der Korrugator-Elektrode (6 Upn) führte zum Ausschluss bzw. Verlust der Werte des Korrugator-EMG im entsprechenden Untersuchungsabschnitt. Bei fünf Probanden wurde der Untersuchungsabschnitt der Bildserien bei zwei Probanden zusätzlich Teil 2 der Einzelbilder mit allen erhobenen physiologischen Parametern aus der Auswertung ausgeschlossen, da die Bilder nicht während der gesamten Präsentationsdauer betrachtet wurden, sondern im Raum herum geschaut wurde oder der NASA-TLX währenddessen ausgefüllt wurde. Zusätzlich führte dies zum Datenverlust der NASA-TLX-Bewertungen bei den entsprechenden Untersuchungsabschnitten. Ein Proband füllte die Fragebogen aller Untersuchungsabschnitte nicht korrekt aus, so dass diese aus der Auswertung ausgeschlossen wurden. Vereinzelt erfolgte die Aufzeichnung der physiologischen Parameter nicht korrekt (nicht synchrone oder fehlende Aufzeichnung der Parameter); so dass es zum Verlust aller Parameter in dem entsprechenden Untersuchungsabschnitt kam. Ein Proband brach den Reaktionstest im zweiten Teil ab und tippte nur noch sporadisch auf die Farbtasten. Er wurde daher aus der Bewertung wegen einer Überforderungssituation mit passivem Coping ausgeschlossen. Auf eine Messwiederholung wurde wegen eines möglichen Gewöhnungseffektes verzichtet. Eine Übersicht über die endgültige Teilnehmerzahl n je Untersuchungsabschnitt und physiologischem Parameter ist der Tabelle in Anhang 4 zu entnehmen und in den entsprechenden Textabschnitten aufgeführt.

3.5.3 Baseline-Korrektur

Für die Auswertung wurden sowohl Absolutwerte als auch Relativwerte ermittelt und dargestellt. Die Absolutwerte entsprechen den gemessenen Werten oder der Zusammenfassung von diesen. Die Relativwerte wurden aus der Differenz der individuellen Absolutwerte von einer individuellen Baseline berechnet und als Δ -Wert (Δ = Delta) angegeben. Ziel war es, möglichst reine Reaktionen des Organismus zu betrachten, welche unabhängig von dessen Aktivität vor einem Stimulus sind, sondern allein durch den Stimulus selbst ausgelöst werden. Grundlage hierfür sind die Ausführungen von Fridlund & Cacioppo (61) über eine sogenannte *psychologische Baseline* (Übers. d. Verf.).

Als Baseline diente bei den Einzelbildern und den Bildserien der Mittelwert des entsprechenden physiologischen Parameters je Individuum während der zwei Sekunden vor Beginn der Bildpräsentation bzw. Bildserienpräsentation. Eine Ausnahme bildete die Hautleitfähigkeit, hier wurde als Baseline der Mittelwert der ersten halben Sekunde der Bildpräsentation bzw. Bildserienpräsentation verwendet, da die elektrodermale Aktivität eine Latenzzeit von mindestens einer Sekunde aufweist (51). Beim Rechentest, beim Reaktionstest sowie bei der Ruhephase wird als Baseline die mittlere Aktivität der ersten Minute verwendet, da der Beginn des Rechentests bzw. des Reaktionstests innerhalb dieses Zeitraumes lag (Vgl. Abschnitt 3.5.1).

3.5.4 Codierung des Self-Assessment Manikin (SAM)

Das Self-Assessment Manikin (SAM) wurde in einer neunstufigen Form verwendet. Hierfür wurden für jede der Dimensionen Valenz, Erregung und Dominanz fünf verschiedene Figuren dargestellt (Vgl. Abschnitt 2.7.2). Die Dimension Valenz widerspiegelt die Wertigkeit einer Emotion von negativ mit dem Wert 1, über neutral mit dem Wert 5, bis zu positiv mit dem Wert 9. Die Dimension Erregung wird entsprechend einer ruhigen Emotionslage mit dem Wert 1, über neutral mit dem Wert 5, bis zu erregt mit dem Wert 9 abgebildet. Die Dimension Dominanz reicht von einem submissiven unterlegenen Zustand mit dem Wert 1, einen neutralen Zustand, mit dem Wert 5 bis zu einem dominierenden überlegenen Zustand mit dem Wert 9. Die Emotionsdimensionen werden in Form einer neunstufigen metrischen Skala verarbeitet.

3.5.5 Codierung des NASA-Task Load Index (NASA-TLX)

Der NASA-TLX wurde in der vollständigen paper-and-pencil Version verwendet (Vgl. Anhang 3). Es erfolgte prospektiv ein Ranking der Beanspruchungsdimensionen durch Paarvergleiche nach Beendigung der Übungsphase und vor Beginn der Testphase. Nach Beendigung der Tests erfolgte retrospektiv ein Rating der einzelnen Kategorien auf einer Skala von 0 bis 100

(Vgl. Abschnitt 2.7.4 und Abschnitt 3.3). Durch Verbindung von Ranking und Rating kann eine Gewichtung der Beanspruchungsdimensionen erfolgen (engl. *weighted workload*). In einigen Arbeiten erwies sich die Darstellung der gewichteten Beanspruchung als unterlegen oder unwesentlich (107) (111) (112), andere Arbeiten zeigten die Notwendigkeit einer Wichtung (106) (113). In der vorliegenden Arbeit wird auf die Darstellung der gewichteten Summenscores verzichtet. Zum einen ist dies begründet in der nicht gesicherten höheren Aussagekraft, zum zweiten liegt bei den Bildserien keine Ranking für jede einzelne Bildserie vor, so dass die Vergleichbarkeit der gewichteten Summenscores nicht für alle Untersuchungsabschnitte gewährleistet ist. Für die Analyse der Beanspruchungsdimensionen werden somit lediglich die Ratingwerte von 0 bis 100 herangezogen. Die Gesamtbeanspruchung entspricht dem arithmetischen Mittel der einzelnen Beanspruchungsdimensionen. Sie wurde ohne Berücksichtigung der Dimension *Leistung* berechnet.

Die Dimension *Leistung* des NASA-TLX konnte nicht für die Auswertung herangezogen werden. In verschiedenen nachgelagerten Gesprächen mit Probanden hatte sich gezeigt, dass das Verständnis dieser Dimension z.T. nicht dem erwünschten Inhalt entsprach. An Stelle der Frage *Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Aufgabe Ihrer Ansicht nach durchgeführt?* wurde die Dimension *Leistung* verstanden im Sinne von *Wie hoch waren die Leistungsanforderungen der Aufgabe?*. Ein Fehler liegt hier möglicherweise in der vorgegebenen Bezeichnung der Dimension *Leistung*, und zusätzlich in der sehr kurz durchgeführten Erläuterung des NASA-TLX mit lediglich Vorlesen des Fragebogens, ohne die weiteren Erläuterungen der Dimensionen wie sie von Hart & Staveland (105) vorgeschlagen werden. Hier sollte in weiteren Untersuchungen eine exakte Erklärung der Dimensionen mit den von Hart & Staveland (105) aufgeführten Unterfragen erfolgen und gegebenenfalls eine Umbenennung in die Dimension *Erfolg*.

3.5.6 Codierung der psychologischen Persönlichkeitstypen

Zur Einteilung der psychologischen Persönlichkeitsdimensionen Extraversion und Emotionalität wurden die Rohwerte der entsprechenden Dimension in eine neunstufige lineare Skala der Stanine (Standard-Nine) transformiert (98). Mit Stanine-Werten im Bereich von 1-3 auf der transformierten Emotionalitätsskala wird die Person als emotional stabil bezeichnet, mit Werten im Bereich von 4-6 als neutral und im Bereich von 7-9 als emotional labil. Mit einem Stanine-Wert von 1-3 auf der transformierten Extraversion-Skala wird die Person als introvertiert bezeichnet, mit einem Wert von 4-6 als neutral und mit einem Wert von 7-9 als extravertiert. Es erfolgte für die Datenanalyse die Verwendung der Stanine-Werte sowie eine Klassifikation jeweils in die drei Untergruppen.

3.5.7 Codierung der somatischen Persönlichkeitstypen

Die Einteilung in die somatischen Persönlichkeitstypen erfolgt mit Hilfe von Messungen der elektrodermalen Aktivität unter Ruhebedingungen. Hierfür wurden die bei der Präsentation der Einzelbilder und der Bildserien erhobenen Baselines vor Stimuluspräsentation sowie die in der Ruhephase erhobenen Daten der Hautleitfähigkeitslevel (SCL) verwendet. Probanden mit einem Ruhe-Level von $> 2 \mu\text{S}$ (Mikrosiemens) wurden als Responder bezeichnet, mit einem Ruhe-Level von >1 bis $2 \mu\text{S}$ wurden als Zwischen-Responder bezeichnet und mit einem Ruhe-Level von bis zu $1 \mu\text{S}$ wurden als Non-Responder bezeichnet. Zwei von drei der Baseline- und Ruhedaten des SCL mussten in dieselbe der vorgenannten Klassen fallen, um dieser zugeordnet zu werden. Bei zwei Upn konnten nur einer bzw. zwei der genannten Versuchsabschnitte verwertet werden. Daher erfolgte die Zuordnung zu den Responder-Typen anhand eindeutiger Messwerte des SCL. Es handelt sich bei diesen zwei Probanden ausschließlich um eindeutige Responder mit SCL-Werten über $4 \mu\text{S}$. Die Skala der elektrodermalen Responder-Typen wird als ordinal betrachtet.

3.6 Statistische Methoden

Bei der statistischen Untersuchung der Arbeit wurden lediglich unabhängige Variablen definiert, da keine Messwiederholungen durchgeführt wurden. Die Variablen zeigten eine metrische (physiologische Parameter, NASA-TLX, SAM) oder kategoriale Ausprägung (Geschlecht, Bildungsgrad, Persönlichkeitstypen). Für die Analyse der Daten wurden sowohl die Rohdaten als auch zusammengefasste, aggregierte Daten verwendet. Angegebene arithmetische Mittelwerte $\bar{x}$ mit Standardabweichungen s beziehen sich auf die Rohwerte der einzelnen Untersuchungsabschnitte ohne vorherige Aggregation. Mittelwertvergleiche wurden ebenso anhand der Rohdaten vorgenommen. Vor dem Vergleich zweier Gruppen (in der Regel ein geschlechtsspezifischer Vergleich) erfolgte die Überprüfung auf Normalverteilung mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests. Bei den ausschließlich normalverteilten Daten wurde für den Vergleich der Mittelwerte zweier Gruppen der t-Test durchgeführt (114) (115) (116) (117).

Zur Berechnung der Korrelationen erfolgte eine Zusammenfassung der Daten. Bei den Bildern wurden die Daten nach Erregungs-, Valenz- oder Dominanzstufen aggregiert, so dass jeweils neun Emotionsstufen entstanden. Es wurden entsprechend Wertepaare des arithmetischen Mittels des physiologischen Parameters bzw. seiner Veränderungen und der jeweiligen Erregungs-, Valenz- bzw. Dominanzstufe gebildet. Beim Rechentest, dem Reaktionstest und der Ruhephase wurden die Daten nach Zeitabschnitten von einer Minute zusammengefasst, so dass beim Rechentest und bei der Ruhephase (mit jeweils zehn Minuten Dauer) zehn

Minutengruppen entstanden, beim Reaktionstest (mit neun Minuten Dauer) neun Minutengruppen entstanden.

Vor der geschlechtergetrennten Auswertung erfolgte diese Zusammenfassung getrennt nach Geschlecht. Zusammenhänge wurden immer aus der maximal möglichen Zusammenfassung der Rohdaten berechnet, nicht aus einer vorgeschalteten Aggregationsstufe. Am Beispiel der Betrachtung von Geschlechtsunterschieden und der Betrachtung aller Upn zusammen bedeutet dies, dass wie oben erwähnt zunächst die Rohdaten aller Upn zusammengefasst und anschließend analysiert wurden; daraufhin eine geschlechtergetrennte Zusammenfassung der Rohdaten und anschließend die Analyse dieser erfolgte. Ein umgekehrtes Vorgehen¹⁶ wurde nicht angewandt. Zur Berechnung der intraindividuellen Korrelationen erfolgte die Verwendung der Rohdaten.

Es erfolgte die Berechnung der Pearson-Korrelationen r . Korrelationen bis $\pm 0,2$ werden als sehr gering, bis $\pm 0,5$ als gering, bis $\pm 0,7$ als mittel, bis $\pm 0,9$ als hoch und über $\pm 0,9$ als sehr hoch bezeichnet (118). Als Irrtumswahrscheinlichkeit für die Ablehnung der Alternativhypothese wurden 5 % definiert. Daraus ergaben sich die Signifikanzniveaus von $p < 0,05$ = signifikant und $p < 0,001$ = hoch signifikant. Die Signifikanzniveaus sind immer 2-seitig. Im Text werden die Signifikanzen angegeben, jedoch wird keine Unterscheidung zwischen signifikant und hoch signifikant vorgenommen. Die intraindividuellen Korrelationen wurden an Hand der Rohdaten ohne Zusammenfassung der Daten errechnet. Für die einzelnen Bilder der Bildserie wurden diejenigen SAM-Werte verwendet, mit welcher die gesamte Serie durch die Probanden bewertet wurde (114) (115) (116) (117).

3.7 Ablauf der Auswertung

Die vorhandenen umfangreichen Daten wurden wie nachfolgend beschrieben systematisch ausgewertet. Zunächst erfolgten für jeden Untersuchungsabschnitt die Analyse der subjektiven Beurteilung des emotionalen Empfindens mit Hilfe des SAM und die Analyse des Beanspruchungsempfindens mit Hilfe des NASA-TLX. Hier wurden jeweils die Mittelwerte berechnet und die einzelnen Abschnitte untereinander verglichen. So konnte den verschiedenen objektiven Belastungen der Bildpräsentation, des Rechentests und des Reaktionstests das subjektive Empfinden zum einen auf emotionaler Ebene, zum anderen auf der Beanspruchungsebene gegenübergestellt und der Grad der Beanspruchung ermittelt werden. Eine anschließende Korrelation der einzelnen Dimensionen der SAM- und der NASA-

¹⁶ Zuerst eine geschlechtergetrennte Zusammenfassung der Rohdaten vornehmen und aus dieser geschlechtergetrennten Aggregation anschließend eine gesamtgeschlechtliche Darstellung berechnen.

TLX-Bewertungen für jeden Untersuchungsabschnitt beleuchtete jeweils die Zusammenhänge der emotionalen mit der mentalen Beanspruchung.

Tabelle 5: Darstellung der systematischen Auswertung je Untersuchungsabschnitt und je physiologischem Parameter, angegeben sind die verwendeten Werte (Roh- oder Δ -Werte)

	Elektrodermale Aktivität	Korrugatoraktivität	Herzrate	Atmungsaktivität	Frontalhirnaktivität
Bildserien					
Mittelwerte	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert
Korrelation mit SAM-Dimensionen	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert
Korrelation mit NASA-TLX-Dimensionen und Gesamtbeanspruchung	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert
Darstellung zeitlicher Verlauf	--	--	Δ -Wert	--	--
Rechentest und Reaktionstest					
Mittelwerte	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert	Roh- und Δ -Wert
Korrelation mit SAM-Dimensionen	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert
Korrelation mit NASA-TLX-Dimensionen und Gesamtbeanspruchung	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert
Darstellung zeitlicher Verlauf	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert	Δ -Wert

Die Analyse des Verhaltens der physiologischen Parameter erfolgte für jeden einzelnen Untersuchungsabschnitt und für jeden einzelnen Parameter. Zum einen wurden hierfür die Rohwerte zur Ermittlung von Mittelwerten, zum anderen die Δ -Werte (Δ = Delta) zur Berechnung von Korrelationen und zur Darstellung von Zusammenhängen verwendet. Zunächst erfolgte die Darstellung der Mittelwerte des jeweiligen physiologischen Parameters. Anschließend wurde die Korrelation der Δ -Werte mit den einzelnen Ebenen des SAM (Valenz, Erregung und Dominanz) untersucht. In dessen Folge wurden die Korrelationen mit den einzelnen Ebenen des NASA-TLX (*Geistige Anforderung*, *Körperliche Anforderung*, *Zeitliche Anforderung*, *Anstrengung* und *Frustration*) sowie der hieraus errechneten Gesamtbeanspruchung ermittelt. Bei ausgewählten Parametern wurde zusätzlich die Darstellung der intraindividuellen Korrelationen vorgenommen. Die Korrelation der Δ -Werte mit den NASA-TLX-Werten wird lediglich für die durch die Probanden angegebenen Absolutwerte des NASA-TLX dargestellt. Eine Einteilung dieser Werte zwischen 0 und 100 in Klassen erbrachte keine zusätzlichen Erkenntnisse und wird nicht dargestellt.

Abschließend erfolgte für die Abschnitte Rechentest und Reaktionstest die Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Δ -Werte. Bei den Bildpräsentationen wurde ausschließlich für den Parameter Herzrate ebenfalls der zeitliche Verlauf der Δ -Werte dargestellt. Die Darstellung erfolgte hier getrennt nach den extremen Emotionsstufen der Valenz (positiv, neutral, negativ).

4 AUSWERTUNG

In den folgenden Abschnitten wird im Anschluss an die Auswertung der teilnehmenden Untersuchungspersonen die Auswertung der SAM- und NASA-TLX-Beurteilungen der einzelnen Untersuchungsabschnitte vorgenommen. So wird den objektiven Belastungen der Bildpräsentationen, des Rechentests und des Reaktionstests das subjektive emotionale Empfinden und das Beanspruchungsempfinden gegenübergestellt. Anschließend erfolgt die Darstellung des Verhaltens der physiologischen Parameter. Bei der Auswertung erfolgte für jeden der Untersuchungsabschnitte der Bildpräsentationen, des Rechentests und des Reaktionstests die Analyse des Zusammenhangs jedes physiologischen Parameters mit allen Dimensionen des SAM und des NASA-TLX und teilweise eine Darstellung der Veränderungen der Parameter im zeitlichen Verlauf der Abschnitte. Im Folgenden wird umfassend auf die wesentlichen Zusammenhänge eingegangen. Fehlende Zusammenhänge werden kurz beleuchtet, jedoch nur teilweise ausführlich dargestellt. Die Darstellung der erhobenen physiologischen Parameter erfolgt zum einen als Rohwert. Zum anderen erfolgt die Darstellung der Differenz der Aktivitätswerte von der jeweiligen Baseline (Δ = Delta).¹⁷

4.1 Untersuchungspersonen

An der Untersuchung nahmen 49 Personen teil, davon waren 25 weiblich und 24 männlich. Das Durchschnittsalter betrug 28 Jahre mit einer Spannweite von 33 Jahren. Das durchschnittliche Alter der Frauen betrug 31 Jahre (18-51 Jahre), das der Männer betrug 25 Jahre (18-43 Jahre; Vgl. Abbildung 8, links). Der Altersunterschied zwischen Männern und Frauen war signifikant ($p=,000$; $T=-2,285$). Der Bildungsgrad¹⁸ der Teilnehmer variierte von 2 bis 5 in verschiedenen Berufsgruppen (Vgl. Abbildung 8, rechts). Der Median des Bildungsgrades betrug bei Männern und Frauen 4.

Für die Auswertung einzelner Untersuchungsabschnitte und Parameter konnte nicht die gesamte Stichprobe herangezogen werden. Dies ergab sich u.a. aus technischen Problemen oder durch eine unzulässige Medikamenteneinnahme der Probanden vor der Untersuchung (Vgl. Abschnitt 3.5.2). Eine vollständige Übersicht über die Teilnehmerzahl je Untersuchungsabschnitt und je physiologischem Parameter ist der Tabelle in Anhang 4 zu entnehmen.

¹⁷ Für Ausführungen zur Baseline Vgl. Abschnitt 3.5.3.

¹⁸ 1=kein Schulabschluss (weniger als 9 Schuljahre), 2=Pflicht- oder Realschule abgeschlossen (9-10 Schuljahre); 3=Fachschule bzw. Berufsausbildung abgeschlossen (10-12 Jahre Ausbildung), 4=Höhere Schule mit Abitur abgeschlossen (12-13 Jahre Ausbildung), 5=Universitäts- oder Hochschulabschluss.

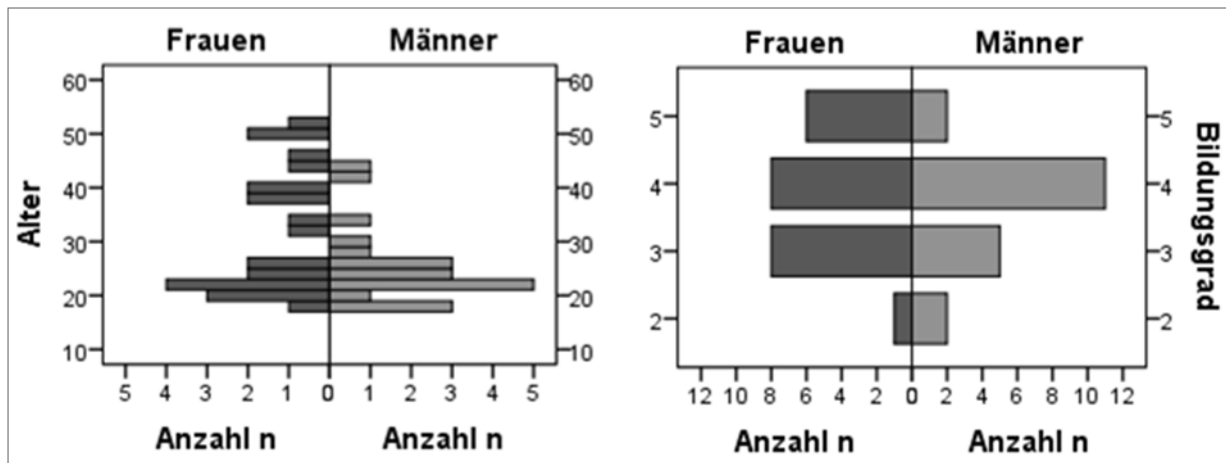


Abbildung 8: Geschlechtsspezifische Verteilung von Alter (links) und Bildungsgrad¹⁸ (rechts)

4.2 Auswertung von SAM und NASA-TLX

4.2.1 Vergleich der normativen und subjektiven SAM-Bewertung der verwendeten Bilder

In diesem Gliederungspunkt wird beschrieben, in wie weit die normativen amerikanischen SAM-Paarmeter der Bilder des IAPS mit den subjektiven SAM-Beurteilungen der vorliegenden Untersuchung übereinstimmen. Dies erlaubt eine Beurteilung der Eignung des Verfahrens für die vorliegende Untersuchung und die Beurteilung der Repräsentativität der Stichprobe. Zum Vergleich der subjektiven Bewertungen der Bilder mit den normativen Einschätzungen des IAPS wurden die Daten jedes Bildes geschlechtergetrennt zusammengefasst und anschließend mit den Normwerten korreliert. Es ergab sich eine Stichprobenzahl von $n=50$ Bildern je Geschlecht.¹⁹ Bei den Bildserien wurde für jedes Bild derjenige Wert übernommen, welcher sich bei der subjektiven Einschätzung der gesamten Bildserie ergab ($n=110$ Bilder bei 11 Bildserien à 10 Bildern). Diese Werte pro Bild wurden dann mit den Normwerten des IAPS korreliert.

Die Auswertung der SAM-Bewertungen für die Einzelbilder und Bildserien ergab eine weitgehende Übereinstimmung mit den normativen Einstufungen der Bilder des IAPS. Zur Untersuchung dieses Zusammenhangs war eine geschlechtergetrennte Betrachtung der Daten notwendig, da die normativen Einschätzungen des IAPS geschlechtergetrennt vorliegen. Es präsentierten sich hohe bis sehr hohe Korrelationen für alle drei Emotionsdimensionen Valenz, Erregung und Dominanz zwischen $r=,761$ und $r=,979$ mit einer Signifikanz von jeweils $p=,000$. Eine tabellarische Aufführung der Korrelationen ist geschlechtergetrennt für die Einzelbilder und die Bildserien in Anhang 11 aufgeführt. Für die

¹⁹ Bei den Frauen wurde ein zusätzliches Bild gezeigt, welches für eine weitere Arbeit von Nutzen sein wird. Für dieses Bild liegen jedoch keine Normwerte vor.

Auswertung der Daten im Folgenden wurden immer die erhobenen subjektiven Bewertungen des SAM und nicht die normativen Einschätzungen herangezogen.

4.2.2 Analyse der Bewertungen von NASA-TLX und SAM während der Bildpräsentationen

Im Folgenden wird die Auswertung der Beanspruchungsbewertung der Untersuchungsabschnitte mit Bildpräsentationen (Einzelbilder und Bildserien) vorgenommen. Weiterhin wird untersucht, inwiefern bei der vorliegenden Untersuchung ein Zusammenhang zwischen Beanspruchungs- und Emotionsbewertung vorliegt. Für die statistische Auswertung der Einzelbilder konnten die Daten von 43 Probanden (20 Männer, 23 Frauen) und der Bildserien von 42 Probanden (20 Männer, 22 Frauen) herangezogen werden. Die mit Hilfe des NASA-TLX erhobenen Beanspruchungsbewertungen der emotionalen Belastung erstreckten sich zwischen 0 und 88 %, die Bewertungen des SAM zwischen 1 und 9. Die subjektive Gesamtbeanspruchung als arithmetisches Mittel der erhobenen Teildimensionen betrug bei Teil 1 der Einzelbilder 30 %, bei Teil 2 der Einzelbilder 35 % und bei den Bildserien 22 % (Vgl. Tabelle 6). In der Bewertung der einzelnen Dimensionen und der Gesamtbeanspruchung bestanden bei den Bildserien deutliche Geschlechtsunterschiede. Männer gaben mit Werten zwischen 12 und 22 % durchgehend eine geringere Beanspruchung an als Frauen mit Werten zwischen 22 und 34 %. Der Geschlechtsunterschied war bei allen Dimensionen signifikant mit $p=,000$. Die detaillierten Daten sind dem Anhang 12a zu entnehmen. Bei den SAM-Bewertungen gab es keine signifikanten Geschlechtsunterschiede.

Tabelle 6: Per NASA-TLX ermittelte Beanspruchungswerte in Prozent während der Einzelbilder Teil 1 und Teil 2 sowie der Bildserien

	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamtbeanspruchg.
Einzelbilder Teil 1	44	16	32	29	31	30
Einzelbilder Teil 2	39	26	37	39	33	35
Bildserien	26	19	20	24	27	22

Während der Einzelbildpräsentation wurden für jedes Einzelbild die SAM-Bewertungen erhoben. Eine NASA-TLX-Bewertung erfolgte nicht für jedes einzelne Bild sondern lediglich für den gesamten Teil 1 und für den gesamten Teil 2 der Einzelbilder. Es kann daher für den Abschnitt der Einzelbilder kein Vergleich der emotionalen Bewertung und der Beanspruchungsbewertung vorgenommen werden. Der NASA-TLX dient in diesem Falle der Erfassung der Beanspruchung im Verlauf der gesamten experimentellen Erhebung. Hingegen wurden während der Bildserienpräsentation für jede Bildserie die SAM-Bewertung und die NASA-TLX-Bewertung erhoben. Somit konnte bei den Bildserien ein Vergleich der emotionalen Bewertung mittels SAM und der Beanspruchungsbewertung mittels NASA-TLX

vorgenommen werden. Im Folgenden wird daher die Beanspruchungsbewertung der einzelnen Erregungs- und Valenzeinstufungen bei den Bildserien betrachtet. Für die Analyse wurden jeder der neun Erregungs- bzw. Valenzstufen des SAM das entsprechende arithmetische Mittel der Beanspruchungsdimension zugeordnet.

Tabelle 7: Beanspruchungswerte der Bildserien in Prozent während der verschiedenen Erregungsstufen von 1=ruhig bis 9=äußerst erregt, sowie Korrelationen der Beanspruchungswerte mit der Erregung (n = 9 Erregungsstufen)

Erregung	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamtbeanspruchg.
1 (ruhig)	18	16	20	19	10	16
2	22	19	23	22	17	19
3	26	25	25	27	24	25
4	22	18	22	26	15	21
5	23	16	18	19	22	19
6	28	19	19	26	28	23
7	27	20	21	25	32	24
8	30	20	24	26	27	27
9 (erregt)	36	22	17	36	56	33
Korrelation	,938	,667	,187	,822	,874	,880
Signifikanz	,000	,050	,630	,007	,002	,002

Zusammenhang der Beanspruchungsbewertung mit der Dimension Erregung im Untersuchungsabschnitt der Bildserien

Die Gesamtbeanspruchung nahm bei beruhigenden Bildern einen Wert von 16 %, im Neutralzustand einen Wert von 19 % und bei stark erregenden Bildern einen Wert von 33 % an.²⁰ Die Spannweite betrug 17 % (16 bis 33 %) (Vgl. Tabelle 7). Folglich führte geringe Erregung zu geringerer Beanspruchung als hohe Erregung. Es ergab sich eine signifikante Korrelation der Erregung mit den Gesamtbeanspruchung von $r=,880$ ($p=,002$). Ebenso waren bei den Beanspruchungsdimensionen *Geistige Anforderung*, *Anstrengung* und *Frustration* mit steigender Erregung zunehmende Beanspruchungswerte zu finden. In diesen Dimensionen wurden hohe bis sehr hohe und signifikante Korrelationen mit der Erregung von $r=,938$ ($p=,000$), $r=0,822$ ($p=,007$) und $r=,874$ ($p=,002$) errechnet. Die größte Zunahme der Beanspruchung war in der Dimension *Frustration* mit einer Spannweite von 46 Prozentpunkten zu finden. Bei ruhigen Zuständen war eine Frustration von 10 % und bei erregten Zuständen eine Frustration von 56 % zu finden. Die Dimension *Geistige Anforderung* zeigte eine Spannweite von 18 % (18 bis 36 %), ähnlich die Dimension *Anstrengung* mit einer Spannweite von 17 % (19 bis 36 %).

In einem geringeren Umfang spiegelte sich die Erregung in der Dimension *Körperliche Anforderung* wider. Bei ruhigen Zuständen wurde ein Wert von 16 % und bei erregten

²⁰ Bezogen auf die Erregungsstufen 1, 5 und 9.

Zuständen ein Wert von 22 % gefunden. Die Korrelation betrug $r=0,667$ ($p=,050$) und lag im mittleren Bereich. Somit kann festgestellt werden, dass mit zunehmender Erregung die wahrgenommene körperliche Anforderung auf einem nur geringen Niveau anstieg. Die *Zeitliche Anforderung* zeigte keinen Zusammenhang mit der Erregung (Vgl. Tabelle 7).

Tabelle 8: Beanspruchungswerte der Bildserien in Prozent während der verschiedenen Valenzstufen von 1=negativ bis 9=positiv, sowie Korrelationen der Beanspruchungswerte mit der Valenz (; n = 9 Valenzstufen)

Valenz	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamtbeanspruchg.
9 (positiv)	23	16	19	20	11	18
8	21	16	23	19	19	19
7	26	19	22	26	19	22
6	24	18	17	22	16	19
5	23	17	19	21	21	20
4	14	13	17	13	20	15
3	24	18	20	23	35	23
2	23	15	16	19	41	21
1 (negativ)	40	28	24	37	54	37
Korrelation	-,600	-,694	,034	-,520	-,890	-,766
Signifikanz	,088	,038	,931	,152	,001	,016

Zusammenhang der Beanspruchungsbewertung mit der Dimension Valenz im Untersuchungsabschnitt der Bildserien

Bei den Valenzbeurteilungen betrug die Gesamtbeanspruchung bei negativen Bildern 37 %, bei neutralen Bildern 20 % und bei positiven Bildern 18 %.²¹ Die Spannweite betrug 19 % (18 bis 37 %). Folglich war die Beanspruchung bei negativen Bildern größer als bei positiven Bildern. Es ergab sich eine signifikante und hohe Korrelation der Valenz mit der Gesamtbeanspruchung von $r=-,766$ ($p=,016$). Ebenso zeigten die Beanspruchungsdimensionen *Geistige Anforderung* sowie *Anstrengung* und *Frustration* bei negativen Bildern größere Werte als bei positiven. Die größte Spannweite von 43 % (11 bis 54%) im Zusammenhang mit Valenz wurde wie bei der Erregung auch in der Dimension *Frustration* gefunden. Die *Geistige Anforderung* wurde bei negativen Emotionen mit 40 %, bei positiven Emotionen mit 23 % bewertet. Die *Anstrengung* wurde entsprechend mit 37 und 20 % bewertet. Die Differenz dieser Werte betrug bei beiden 17 %. Erneut zeigte auch die *Körperliche Anforderung* einen nur geringen Zusammenhang mit der Emotionsdimension. Mit zunehmender Negativität wurde eine höhere körperliche Anforderung angegeben. Die Dimension *Zeitliche Anforderung* zeigte erneut keinen Zusammenhang mit der Valenz. Die exakten Werte und Korrelationen sind Tabelle 8 zu entnehmen.

²¹ Bezogen auf die Valenzstufen 1, 5 und 9.

4.2.3 Analyse der Bewertungen von NASA-TLX und SAM während Rechentest und Reaktionstest

Für die statistische Auswertung des NASA-TLX und des SAM während Rechentest und Reaktionstest konnten die Daten von $n=43$ Probanden (20 Männer, 23 Frauen) herangezogen werden. Die mit Hilfe des NASA-TLX erhobenen Beanspruchungsbewertungen erstreckten sich normalverteilt zwischen 0 und 100 %, die Bewertungen des SAM zwischen 1 und 9. Im Folgenden werden die Bewertungen der einzelnen Beanspruchungsdimensionen des NASA-TLX und der daraus errechneten Gesamtbeanspruchung beim Rechentest und beim Reaktionstest betrachtet. Danach erfolgt die Analyse der SAM-Bewertungen beider Tests. Abschließend wird die Darstellung des Zusammenhangs der NASA-TLX- und der SAM-Bewertung vorgenommen.

NASA-TLX

Die Gesamtbeanspruchung ist mit 59 beim Reaktionstest deutlich höher im Vergleich zum Rechentest mit 49 ($p=,000$). Die Bewertungen des Rechentests und des Reaktionstests unterscheiden sich auf allen Ebenen des NASA-TLX signifikant mit $p=,000$ (Vgl. Tabelle 9). Der Reaktionstest weist die höchsten Bewertungen aller Untersuchungsabschnitte in den Dimensionen *Zeitliche Anforderung* mit 74 %, *Anstrengung* mit 73 %, *Körperliche Anforderung* mit 52 % und *Frustration* mit 47 % auf. Bedingt durch die Anforderungen an die Probanden lag in diesem Untersuchungsabschnitt der höchste Zeitdruck, die höchste Anzahl an erforderlichen Reaktionen der Probanden wie auch die größte Zahl an externen Informationen (Farbreizen) vor, so dass sich der Inhalt in den Bewertungen des NASA-TLX widerspiegelt. Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede innerhalb der Tests traten lediglich beim Reaktionstest in der Bewertung der *Anstrengung* auf. Männer bewerteten diese mit 77% höher als die Frauen mit 66 % ($p=,032$). Andere signifikante Geschlechtsunterschiede bestanden innerhalb der Tests nicht (Vgl. Anhang 12b).

Tabelle 9: Per NASA-TLX ermittelte Beanspruchungswerte von Rechentest (ReT) und Reaktionstest (RkT) in Prozent

	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamtbeanspruchg.
ReT	57	31	63	60	36	49
RkT	51	52	74	73	47	59

SAM

Die SAM-Bewertungen des Rechentests und des Reaktionstests liegen für alle drei Dimensionen Valenz, Erregung und Dominanz im neutralen Bereich. Der Mittelwert der Valenz betrug beim Rechentest $\bar{x}_{\text{ReT,V}}=5,5$, beim Reaktionstest $\bar{x}_{\text{DT,V}}=4,89$. Der Mittelwert der Erregung betrug beim Rechentest $\bar{x}_{\text{ReT,E}}=5,29$ und beim Reaktionstest $\bar{x}_{\text{DT,E}}=6$. Der Mittelwert

der Dominanz betrug beim Rechentest $\bar{x}_{\text{ReT,D}}=5,25$ und beim Reaktionstest $\bar{x}_{\text{DT,D}}=4,29$. Der Reaktionstest wurde folglich signifikant als negativer, erregender und weniger souverän durchführbar (geringeres Dominanzempfinden) gewertet als der Rechentest (jeweils $p=,000$). Geschlechtsspezifische Unterschiede gab es lediglich beim Reaktionstest. Diesen bewerten Männer mit $\bar{x}_{\text{DT,D,m}}=3,79$ als signifikant weniger souverän durchführbar im Vergleich zu Frauen mit $\bar{x}_{\text{DT,D,f}}=4,79$ ($p=,011$). Ansonsten lagen keine signifikanten Geschlechtsunterschiede vor.

Zusammenhang von NASA-TLX und SAM

Bei Betrachtung des Zusammenhangs von Beanspruchungsbewertung und emotionaler Bewertung des Rechentests zeigte sich folgende leichte Tendenz: je höher die Bewertung in den Dimensionen *Geistige Anforderung* und *Anstrengung* war, desto höher war die Bewertung der Erregung. Die geringen Korrelationen betrugen $r=,366$ ($p=,011$) und $r=,460$ ($p=,001$). Daraus resultierte auch eine positive Korrelation von Gesamtbeanspruchung und Erregung von $,356$ ($p=,013$). Ein anderer signifikanter Zusammenhang zwischen den subjektiven Beanspruchungsbewertungen und den Emotionsbeurteilungen bestand beim Rechentest nicht. Bei geschlechtergetrennter Betrachtung zeigten lediglich die Frauen eine signifikante geringe Korrelation der Erregung mit der Anstrengung ($r=,413$; $p=,050$). Andere signifikante Korrelationen lagen bei geschlechtergetrennter Betrachtung im Gegensatz zur Betrachtung des gesamten Kollektivs nicht vor (Vgl. Anhang 12b).

Bei der Analyse des Reaktionstests empfiehlt sich eine geschlechtergetrennte Betrachtung, da sich Männer und Frauen deutlich verschieden voneinander verhielten. Eine Analyse aller Probanden zusammen ist in Anhang 12b aufgeführt. Männer zeigten signifikante Korrelationen der Valenz mit der *Körperlichen Anforderung* ($r=-,529$; $p=,017$), mit der *Anstrengung* ($r=-,744$; $p=,000$) und der *Frustration* ($r=-,665$; $p=,001$) sowie der Dominanz mit der *Körperlichen Anforderung* ($r=-,714$; $p=,000$), der *Zeitlichen Anforderung* ($r=,526$; $p=,017$) und der Anstrengung ($r=-,697$; $p=,001$). Frauen zeigen signifikante Korrelationen der Valenz mit der *Frustration* ($r=-,642$; $p=,001$) und der Dominanz mit der *Geistigen Anforderung* ($r=-,428$; $p=,042$) und mit der *Frustration* ($r=-,590$; $p=,003$). Die Gesamtbeanspruchung zeigt bei beiden Geschlechtern keine signifikanten Korrelationen mit den Emotionsdimensionen (Vgl. Anhang 12b).

4.2.4 Zusammenhänge von NASA-TLX und SAM mit den physiologischen Parametern während Rechentest und Reaktionstest

Die Analyse der NASA-TLX- und der SAM-Bewertungen im Zusammenhang mit den physiologischen Reaktionen des Organismus erfolgte für alle gemessenen Parameter während Rechentest und Reaktionstest. Es konnten während des Reaktionstests Zusammenhänge der NASA-TLX-Bewertung mit der Herzfrequenz und der Frontalhirn-

Aktivität festgestellt werden. Je höher die *Geistige Anforderung* eingeschätzt wurde, desto geringer waren der mittlere Anstieg der Herzfrequenz und der mittlere Anstieg der Frontalhirndurchblutung. Die Dimension korrelierte gering mit den Veränderungen der Herzfrequenz ($r=-,311$; $p=,042$; $n=43$) und des HEG-Quotienten ($r=-,320$; $p=,034$; $n=44$). Andere physiologische Parameter während des Reaktionstests und die physiologischen Parameter während des Rechentests korrelierten nicht signifikant mit den entsprechenden Bewertungen im NASA-TLX. Insbesondere bestand keine signifikante Korrelation der NASA-TLX-Bewertungen mit der Korrugator-Aktivität. Exakte Daten sind dem Anhang 6 zu entnehmen. Auch die Betrachtung der SAM-Bewertungen hinsichtlich einer Korrelation mit den physiologischen Parametern zeigte beim Rechentest und beim Reaktionstest keinen signifikanten Zusammenhang mit den Veränderungen der physiologischen Parameter.

4.3 Elektrodermale Aktivität

Zur Analyse der elektrodermalen Aktivität wurde das Hautleitfähigkeitslevel (SCL = skin conductance level) mit der Einheit μS (Mikrosiemens) herangezogen. Für die Auswertung wurden sowohl die Rohwerte ($\text{SC_Raw_m} = \text{SCL}$) als auch ihre Veränderungen im Vergleich zur Baseline ($\text{diff01SC_Raw_m} = \Delta\text{SCL}$) verwendet.

4.3.1 Elektrodermale Aktivität während der Bildpräsentationen

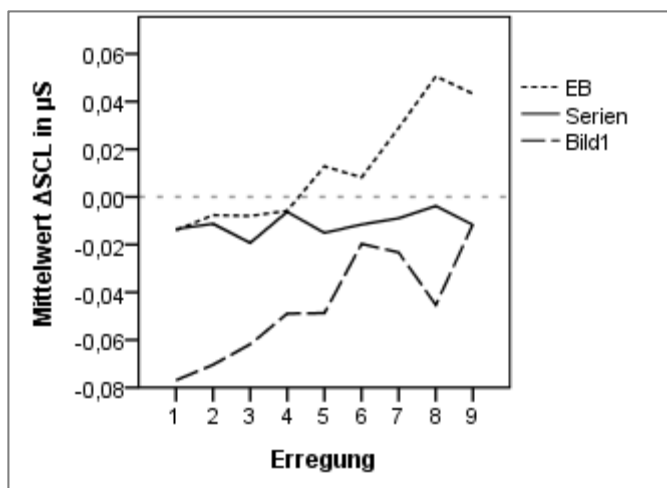


Abbildung 9: Verhalten von ΔSCL bei zunehmender Erregung bei Einzelbildern (EB), Bildserien und Bild 1 der Bildserien

Bei der Auswertung des Hautleitfähigkeitslevels während emotionaler Belastung konnten aus dem Untersuchungsabschnitt der Einzelbilder die Daten von 46 Personen (22 Männer, 24 Frauen) und aus dem Untersuchungsabschnitt der Bildserien die Daten von 39 Personen (19 Männer, 20 Frauen) verwendet werden. Die Mittelwerte der SCL betrugen bei den Einzelbildern $\bar{x}_{\text{SCL}}=3,72 \mu\text{S}$ ($s=2,66$) und bei den Bildserien

$\bar{x}_{\text{SCL}}=4,28 \mu\text{S}$ ($s=2,96$).

Von besonderem Interesse bei der elektrodermalen Aktivität war der Zusammenhang mit der Dimension Erregung (Vgl. Abschnitt 2.5.1). Die Mittelwerte des SCL nahmen während der gesamten Bildpräsentation bei beruhigenden Bildern einen Wert von $\bar{x}_{\text{SCL.E1}}=3,48 \mu\text{S}$ ($s=2,72$), bei neutralen Bildern einen Wert von $\bar{x}_{\text{SCL.E5}}=3,90 \mu\text{S}$ ($s=2,87$) und bei stark erregenden

Bildern einen Wert von $\bar{x}_{SCL.E9}=4,25 \mu S$ ($s=2,77$) an.²² So ergaben sich geringere SCL bei geringer Erregung und hohe SCL bei hoher Erregung. Dies entsprach einem Abfall des SCL um $\bar{x}_{\Delta SCL.E1}=-,016 \mu S$ ($s=,18$) bei beruhigenden Bildern, bei neutralen Bildern zeigte sich ein minimaler Abfall von $\bar{x}_{\Delta SCL.E5}=-,005 \mu S$ ($s=,12$), bei stark erregenden Bildern zeigte sich ein minimaler Anstieg des SCL vom $\bar{x}_{\Delta SCL.E9}=+,003 \mu S$ ($s=,16$).

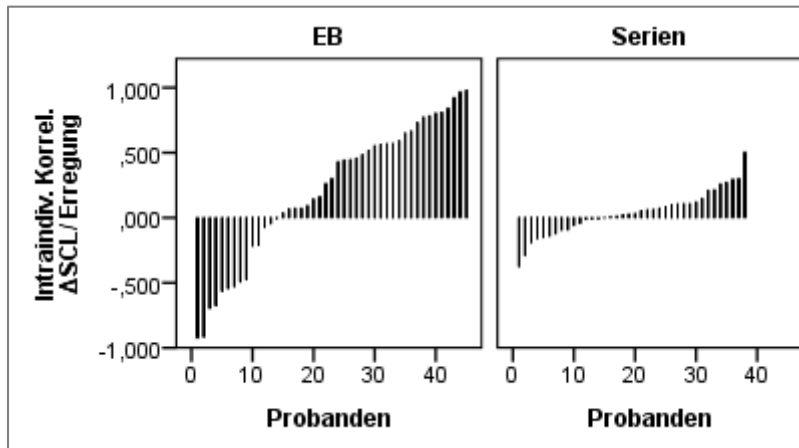


Abbildung 10: Verteilung der intraindividuellen Korrelationen zwischen ΔSCL und Erregung bei den Einzelbildern (EB) und bei den Bildserien

Besonders deutlich wurde der Zusammenhang von SCL und Erregung bei den Einzelbildern sowie bei Bild 1 der Bildserien. Es ergaben sich signifikante und hohe bis sehr hohe Korrelationen für die Einzelbilder ($r=,941$; $p=,000$) und Bild 1 der Bildserien ($r=,882$; $p=,002$). Nicht signifikante Werte ergaben

sich bei den Bildserien ($r=,442$; $p=,234$) (Vgl. Abbildung 9 und Anhang 7a). Der deutlich positive Zusammenhang von ΔSCL mit Erregung wurde bei den Einzelbildern durch einen hohen Anteil von 69 % an positiven intraindividuellen Korrelationen unterstützt. Die Bildserien wiesen ebenso einen höheren Anteil von 61% an positiven intraindividuellen Korrelationen auf (Vgl. Abbildung 10).

Es bestand kein Zusammenhang von SCL und ΔSCL mit den Valenzeinschätzungen, welcher nicht durch die Kovarianz mit Erregung erklärt würde, und kein Zusammenhang von SCL und ΔSCL mit der Beanspruchungsbewertung im NASA-TLX²³.

Bei geschlechtergetrennter Betrachtung zeigten Männer sowohl bei den Einzelbildern mit $\bar{x}_{SCL.m}=5,03 \mu S$ ($s=2,76$) als auch bei den Bildserien mit $\bar{x}_{SCL.m}=5,74 \mu S$ ($s=2,88$) deutlich höhere Werte als Frauen. Frauen zeigten bei den Einzelbildern SCL-Mittelwerte von $\bar{x}_{SCL.f}=2,68 \mu S$ ($s=2,04$) und bei den Bildserien von $\bar{x}_{SCL.f}=2,96 \mu S$ ($s=2,34$). Der Geschlechtsunterschied war jeweils signifikant mit $p=,000$. Bei geschlechtergetrennter Berechnung der Korrelationen von SCL und ΔSCL mit der Erregung zeigten sich lediglich bei den Männern im Abschnitt der Einzelbilder hohe signifikante Korrelationen von ΔSCL mit der Erregung ($r=,735$; $p=,024$). Andere signifikante Korrelationen wurden nicht gefunden. Männer

²² Bezogen auf die Erregungsstufen 1 ($n=285$), 5 ($n=1887$) und 9 ($n=381$).

²³ Bezogen auf die Bildserien, bei welchen durch die Erhebung des NASA-TLX pro Serie ein Vergleich möglich war.

zeigten stärkere Veränderungen des ΔSCL . Andere wesentliche Geschlechtsunterschiede bestanden nicht (Vgl. Anhang 7a).

4.3.2 Elektrodermale Aktivität während mentaler Belastung

Elektrodermale Aktivität während des Rechentests

Zur Analyse des SCL während des Rechentests konnten die Daten von 41 Upn (20 Männer, 21 Frauen) verwendet werden. Der Mittelwert des SCL betrug $\bar{x}_{SCL}=4,49 \mu S$ ($s=2,56$) und von ΔSCL $\bar{x}_{\Delta SCL}=-0,48 \mu S$ ($s=,49$). Die Betrachtung der SCL im Verlauf des Rechentests ergab, dass innerhalb der ersten 4 Minuten eine starke Abnahme, in den darauffolgenden 6 Minuten ein leichter Anstieg des SCL erfolgte (Vgl. Abbildung 11, Links). Der Mittelwert des SCL in Minute 1 betrug $\bar{x}_{SCL}=4,97 \mu S$ ($s=2,77$), in Minute 4 betrug er $\bar{x}_{SCL}=4,37 \mu S$ ($s=2,50$) und in Minute 10 betrug er $\bar{x}_{SCL}=4,48$ ($s=2,62$). Dies entspricht einer Abnahme innerhalb der ersten 4 Minuten um im Mittel $\bar{x}_{\Delta SCL}=-0,60 \mu S$ und einem darauffolgenden Anstieg bis Minute 10 von im Mittel $\bar{x}_{\Delta SCL}=+0,11 \mu S$. Bei geschlechtergetrennter Betrachtung wiesen Frauen ein mittleres SCL von $\bar{x}_{SCL.f}=3,23 \mu S$ ($s=2,00$); Männer von $\bar{x}_{SCL.m}=5,80 \mu S$ ($s=2,43$) auf. Der Geschlechtsunterschied war signifikant ($p=,000$). Im Verhalten von ΔSCL bestanden keine wesentlichen Geschlechtsunterschiede (Vgl. Abbildung 11, links).

Elektrodermale Aktivität während des Reaktionstests

Für die Auswertung des SCL während des Reaktionstests wurden die Daten von 39 Upn (17 Männer, 22 Frauen) herangezogen. Der SCL-Mittelwert betrug $\bar{x}_{SCL}=5,06 \mu S$ ($s=2,96$) und von ΔSCL $\bar{x}_{\Delta SCL}=-0,04 \mu S$ ($s=,47$). Die drei Phasen des Reaktionstests mit unterschiedlichen Anforderungen (niedrig – hoch – mittel) spiegeln sich im Verhalten des SCL wider. In Phase I betrug der Mittelwert $\bar{x}_{SCL.I}=5,01 \mu S$ ($s=2,88$), in Phase II $\bar{x}_{SCL.II}=5,10 \mu S$ ($s=2,99$) und in Phase III $\bar{x}_{SCL.III}=5,07 \mu S$ ($s=3,02$). Innerhalb der Phase I fiel das SCL um $\bar{x}_{\Delta SCL.I}=-,090 \mu S$ ($s=,27$). In Minute 4 wurde mit $\bar{x}_{SCL.4}=4,90 \mu S$ ($s=2,94$) der kleinste Wert der Phase I erreicht entsprechend einer Abnahme um $\bar{x}_{\Delta SCL.4}=-,207$ ($s=,49$). Mit Anstieg der Belastung und des Zeitdrucks in Phase II stieg das SCL wieder an, die Differenz zur Baseline betrug $\bar{x}_{\Delta SCL.II}=\pm,000 \mu S$ ($s=,51$). Der Maximalwert der Phase II wurde in Minute 6 erreicht. Er betrug $\bar{x}_{SCL.6}=5,27 \mu S$ ($s=3,09$) entsprechend einer Zunahme vom Ausgangswert um $\bar{x}_{\Delta SCL.6}=+,165 \mu S$ ($s=,51$). Bei der darauffolgenden Phase III mit Zeitdruck auf mittlerem Niveau sank das SCL, die Differenz zur Baseline betrug $\bar{x}_{\Delta SCL.III}=-,037 \mu S$ ($s=,56$). Der kleinste Wert der Phase III wurde in Minute 9 erreicht. Er betrug $\bar{x}_{SCL.9}=4,98 \mu S$ ($s=3,00$) entsprechend einer Differenz zur Baseline von $\bar{x}_{\Delta SCL.9}=-,118$ ($s=,58$; Vgl. Abbildung 11, Mitte).

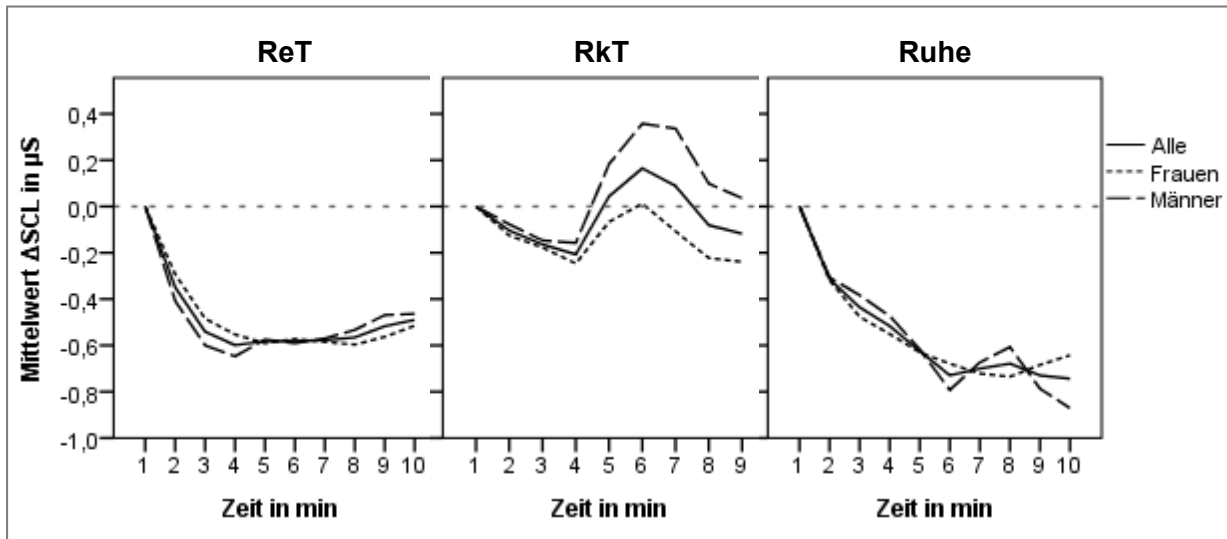


Abbildung 11: Verhalten von ΔSCL im Verlauf des Rechentests (ReT, links), des Reaktionstests (RkT, Mitte) und der Ruheperiode (rechts)

Bei geschlechtergetrennter Betrachtung wiesen Frauen mit im Mittel $\bar{x}_{\Delta SCL.f} = 3,68 \mu S$ ($s = 2,32$) signifikant geringere SCL auf als Männer mit $\bar{x}_{\Delta SCL.m} = 6,81 \mu S$ ($s = 2,75$; $p = ,000$). In Phase I betrug der Mittelwert bei den Männern $\bar{x}_{SCL.I.m} = 6,66 \mu S$ ($s = 2,68$) und bei den Frauen $\bar{x}_{SCL.I.f} = 3,71 \mu S$ ($s = 2,32$), in Phase II bei den Männern $\bar{x}_{SCL.II.m} = 6,87 \mu S$ ($s = 2,77$) und bei den Frauen $\bar{x}_{SCL.II.f} = 3,71 \mu S$ ($s = 2,37$). In Phase III erlangten die Männer einen Mittelwert von $\bar{x}_{SCL.III.m} = 6,90 \mu S$ ($s = 2,84$) und die Frauen von $\bar{x}_{\Delta SCL.III} = 3,61 \mu S$ ($s = 2,30$). In Phase I gab es für ΔSCL keine wesentlichen Geschlechtsunterschiede, ΔSCL betrug bei den Männern $\bar{x}_{\Delta SCL.I.m} = -,075 \mu S$ ($s = ,26$) und bei den Frauen $\bar{x}_{\Delta SCL.I.f} = -,102 \mu S$ ($s = ,28$). In Phase II zeigten die Männer deutlich höhere Anstiege als Frauen. Die Differenz zur Baseline betrug bei den Männern $\bar{x}_{\Delta SCL.II.m} = +,128$ ($s = ,45$) und bei den Frauen $\bar{x}_{\Delta SCL.II} = -,100 \mu S$ ($s = ,53$). In Phase III war das Ausmaß des Absinkens des SCL bei den Männern größer als bei den Frauen. Die Differenz zur Baseline betrug bei den Männern $\bar{x}_{\Delta SCL.III.m} = +,157 \mu S$ ($s = ,48$) und bei den Frauen $\bar{x}_{\Delta SCL.III.f} = -,190 \mu S$ ($s = ,58$). Männer zeigten also im Verlauf des Reaktionstests deutlich höhere SCL-Mittelwerte und deutlich stärkere Veränderungen des SCL (ΔSCL). Die Art und Weise der Veränderungen war jedoch bei beiden Geschlechtern gleich.

4.3.3 Elektrodermale Aktivität in Ruhe

Zur Analyse des SCL während der Ruhephase wurden die Daten von 43 Upn (19 Männer, 24 Frauen) verwendet. Der Mittelwert des SCL betrug $\bar{x}_{SCL} = 4,01 \mu S$ ($s = 2,84$), der von ΔSCL $\bar{x}_{\Delta SCL} = -0,55 \mu S$ ($s = ,63$). Es wurde ein kontinuierlicher Abfall des SCL verzeichnet. Der SCL-Wert in Minute 1 betrug $\bar{x}_{SCL.1} = 4,55 \mu S$ ($s = 2,84$); in Minute 10 betrug er $\bar{x}_{SCL.10} = 3,81 \mu S$ ($s = 2,78$). Es bestanden hoch signifikante Geschlechtsunterschiede im Niveau des SCL.

Männer wiesen im Mittel ein SCL von $\bar{x}_{\text{SCL.m}}=5,57 \mu\text{S}$ ($s=2,86$); Frauen von $\bar{x}_{\text{SCL.f}}=2,77 \mu\text{S}$ auf ($s=2,12$; $p=,000$). In Minute 1 war der Wert bei den Männern $\bar{x}_{\text{SCL.1.m}}=6,12 \mu\text{S}$ ($s=2,77$), bei den Frauen $\bar{x}_{\text{SCL.1.f}}=3,31$ ($s=2,24$). In Minute 10 betrug er bei den Männern $\bar{x}_{\text{SCL.10.m}}=5,25 \mu\text{S}$ ($s=2,74$) und bei den Frauen $\bar{x}_{\text{SCL.10.f}}=2,67 \mu\text{S}$ ($s=2,27$). Bei ΔSCL bestanden hingegen keine Geschlechtsunterschiede. In Minute 10 erreichten die Männer einen Wert von $\bar{x}_{\Delta\text{SCL.m}}=-0,87 \mu\text{S}$ ($s=,76$) und die Frauen von $\bar{x}_{\Delta\text{SCL.f}}=-0,54 \mu\text{S}$ ($s=,84$; $p=,928$) (Vgl. Abbildung 11, rechts).

4.4 Aktivität des M. corrugator supercilii

Die Auswertung der Korrugator-Aktivität erfolgte anhand der ungefilterten Aufzeichnungen des Korrugator-EMG. Für die Analyse fanden sowohl die Rohwerte ($\text{Corr_Raw_m} = \text{Corr}$) als auch ihre Veränderungen im Vergleich zur Baseline ($\text{diffbaseCorr_Raw_m} = \Delta\text{Corr}$) mit der Einheit mV (Millivolt) Verwendung.

4.4.1 Korrugator-Aktivität während der Bildpräsentationen

Die Auswertung der Korrugator-Aktivität erfolgte im Abschnitt Einzelbilder mit einer Stichprobenzahl von 45 Upn (22 Männer, 23 Frauen) und im Abschnitt Bildserien von 38 Upn (19 Männer, 19 Frauen). Der Mittelwert der Korrugator-Aktivität betrug bei den Einzelbildern $\bar{x}_{\text{Corr}}=7,36 \text{ mV}$ ($s=6,60$), bei den Bildserien $\bar{x}_{\text{Corr}}=5,17 \text{ mV}$ ($s=3,50$). Der höchste Wert, welcher während der Bildpräsentationen erreicht wurde, betrug 68,94 mV.

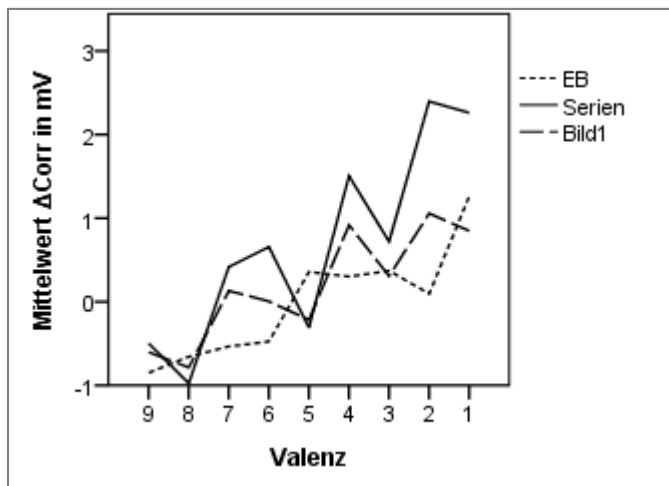


Abbildung 12: Verhalten von ΔCorr bei zunehmender Negativität bei Einzelbildern (EB), Bildserien und Bild 1 der Bildserien

Besondere Aufmerksamkeit lag im Zusammenhang mit der Korrugator-Aktivität auf der Emotionsdimension Valenz (Vgl. Abschnitt 2.5.2). Die Korrugator-Aktivität nahm gemittelt während der gesamten Bildpräsentation bei positiven Bildern einen Wert von $\bar{x}_{\text{Corr.V9}}=5,50 \text{ mV}$ ($s=4,76$), bei neutralen Bildern einen Wert von $\bar{x}_{\text{Corr.V5}}=6,03 \text{ mV}$ ($s=4,76$) und bei negativen Bildern einen Wert von $\bar{x}_{\text{Corr.V1}}=7,44 \text{ mV}$ ($s=5,56$) an.²⁴ Die Aktivität des M.

corrugator war folglich umso höher, je negativer ein Bild bewertet worden war. Je positiver ein Bild bewertet worden war, desto geringer war die Aktivität des Muskels. Der Anstieg der

²⁴ Bezogen auf die Valenzen 1 ($n=948$), 5 ($n=1138$) und 9 ($n=559$).

Korrugator-Aktivität betrug bei positiven Bildern $\bar{x}_{\Delta\text{Corr.E9}} = -0,60$ mV ($s = 2,84$), bei neutralen Bildern $\bar{x}_{\Delta\text{Corr.V5}} = -1,106$ mV ($s = 4,97$) und bei negativen Bildern $\bar{x}_{\Delta\text{Corr.V1}} = +1,87$ mV ($s = 4,63$). Signifikante und hohe bis sehr hohe Korrelationen von ΔCorr mit den Valenzstufen zeigten sich sowohl bei den Einzelbildern ($r = -0,909$; $p = 0,001$) als auch bei den Bildserien ($r = -0,866$; $p = 0,003$) und Bild 1 der Bildserien ($r = -0,868$; $p = 0,002$; Vgl. Abbildung 12 und Anhang 7b). Es bestand kein Zusammenhang der Korrugator-Aktivität mit den Erregungs- bzw. Dominanzeinschätzungen, welcher nicht durch die Kovarianz mit Valenz erklärt würde. Es bestand während der Bildserien kein Zusammenhang von Corr und ΔCorr mit der Beanspruchungsbewertung im NASA-TLX.

Der deutliche Zusammenhang von ΔCorr mit der Valenz wurde zusätzlich durch den sehr hohen Anteil an entsprechenden intraindividuellen Korrelationen belegt. Bei den Einzelbildern bestanden 84,4 % und bei den Bildserien 92,4 % negative intraindividuelle Korrelationen. Nur ein geringer

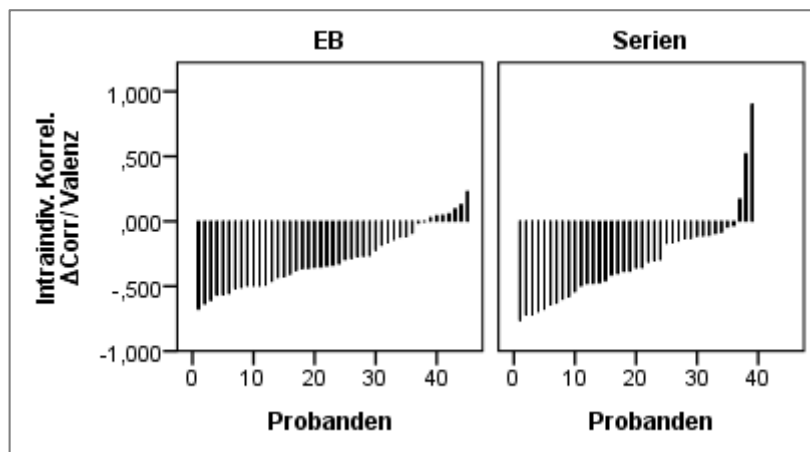


Abbildung 13: Verteilung der intraindividuellen Korrelationen zwischen ΔCorr und Valenz bei den Einzelbildern (EB) und bei den Bildserien

Anteil der Probanden wies eine entgegengesetzte Korrelation auf (Vgl. Abbildung 13).

Die geschlechtergetrennte Betrachtung der Mittelwerte der Korrugator-Aktivität zeigte im Abschnitt der Einzelbildern bei den Männern einen Wert von $\bar{x}_{\text{Corr.m}} = 5,34$ mV ($s = 4,46$); bei den Frauen hingegen betrug die Aktivität $\bar{x}_{\text{Corr.f}} = 8,90$ mV ($s = 7,49$). Im Abschnitt der Bildserien betrug die mittlere Korrugator-Aktivität der Männer $\bar{x}_{\text{Corr.m}} = 4,63$ mV ($s = 2,94$), die der Frauen $\bar{x}_{\text{Corr.f}} = 5,70$ mV ($s = 3,89$). Frauen zeigten sowohl bei den Einzelbildern als auch bei den Bildserien deutlich höhere Werte als Männer. Dieser Unterschied war jeweils signifikant mit $p = 0,000$. Bei beiden Geschlechtern zeigten sich in allen Untersuchungsabschnitten mittlere, hohe und sehr hohe signifikante Korrelationen von ΔCorr mit der Valenz. Bei graphischer Darstellung dieses Zusammenhangs gab es keine wesentlichen Geschlechtsunterschiede (Vgl. Anhang 7b).

4.4.2 Korrugator-Aktivität während mentaler Belastung

Korrugator-Aktivität während des Rechentests

Zur Analyse der Korrugator-Aktivität während des Rechentests wurden die Daten von 39 Upn (19 Männer, 20 Frauen) verwendet. Der Mittelwert der Korrugator-Aktivität betrug $\bar{x}_{\text{Corr}} = 4,56$

mV ($s=3,02$), der von ΔCorr $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}}=0,69$ mV ($s=1,1$). Der höchste Wert, welcher während des Rechentests erreicht wurde, betrug $x_{\text{max}}=19,26$ mV. Während des Rechentests erfolgte eine kontinuierliche Zunahme der Korrugator-Aktivität. Dabei stellte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem zeitlichen Verlauf und der Korrugator-Aktivität heraus ($r=,904$; $p=,000$). Die höchste Zunahme der Muskelaktivität erfolgte in den ersten 4 Minuten und ging dann in einen zweiten Abschnitt geringerer Zunahme über. Die gemittelte Korrugator-Aktivität (Corr) in Minute 4 betrug $\bar{x}_{\text{Corr},4}=4,68$ mV ($s=2,94$) entsprechend einer Zunahme von im Mittel $\bar{x}_{\Delta\text{Corr},4}=+0,81$ mV ($s=1,00$). In Minute 10 betrug Corr $\bar{x}_{\text{Corr},10}=4,91$ mV ($s=3,40$), dies entspricht einer Differenz zur Baseline von $\bar{x}_{\Delta\text{Corr},10}=+1,04$ mV (Vgl. Abbildung 14, links). Die mittlere Zunahme während des gesamten Rechentests betrug $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}}=+0,69$ mV ($s=1,19$).

Die geschlechtsspezifischen Mittelwerte unterschieden sich während des gesamten Rechentests lediglich bei ΔCorr mit $p=,000$ signifikant voneinander. Frauen wiesen Werte von $\bar{x}_{\Delta\text{Corr},f}=+,90$ mV ($s=1,41$) und Männer von $\bar{x}_{\Delta\text{Corr},m}=+,47$ mV ($s=,85$) auf. Die geschlechtsspezifischen Werte von Corr während des gesamten Rechentests sowie von Corr und ΔCorr während Minute 4 und Minute 10 unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Vgl. Anhang 15 und Abbildung 14, links).

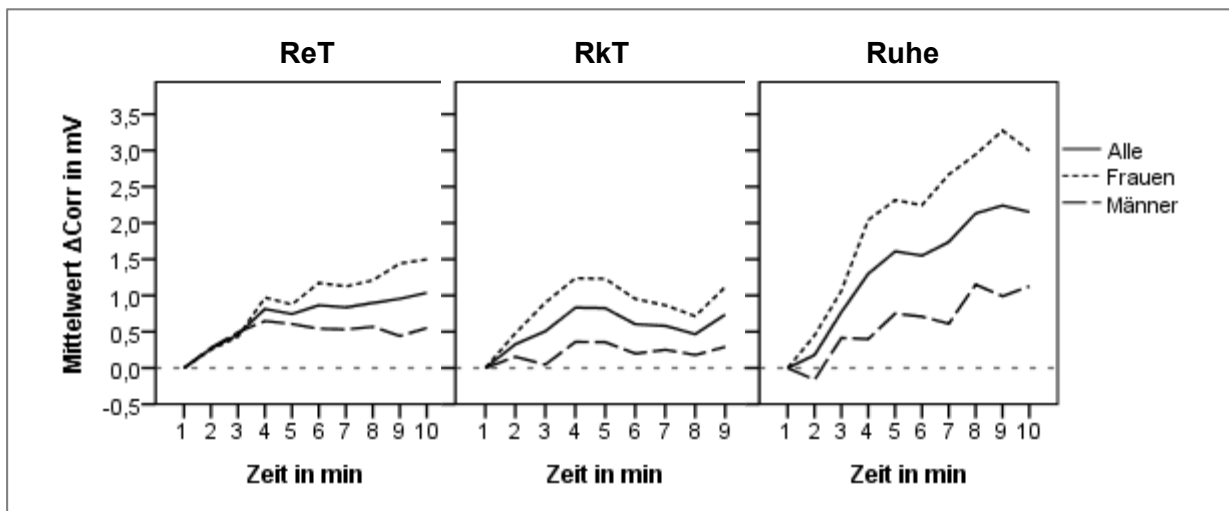


Abbildung 14: Verhalten von ΔCorr im Verlauf des Rechentests (ReT, links), des Reaktionstests (RkT, Mitte) und der Ruheperiode (rechts)

Korrugator-Aktivität während des Reaktionstests

Für die Auswertung der Korrugator-Aktivität während des Reaktionstests konnten die Daten von 37 Upn (17 Männer, 20 Frauen) herangezogen werden. Der Mittelwert der Korrugator-Aktivität betrug $\bar{x}_{\text{Corr}}=4,34$ mV ($s=2,51$), der von ΔCorr $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}}=+0,54$ mV ($s=2,16$). Der höchste Wert, welcher während des Reaktionstests erreicht wurde, betrug $x=16,73$ mV. In Phase I des Reaktionstests war der Mittelwert $\bar{x}_{\text{Corr},I}=4,07$ mV ($s=2,18$), in Phase II $\bar{x}_{\text{Corr},II}=4,55$ mV ($s=2,62$) und in Phase III $\bar{x}_{\text{Corr},III}=4,39$ mV ($s=2,71$). Die Werte von ΔCorr betrugen in Minute 4

$\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.4}=+0,83$ mV ($s=2,00$), in Minute 6 $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.6}=+0,60$ mV ($s=2,53$) und in Minute 9 $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.9}=+0,73$ mV ($s=2,89$; Vgl. Abbildung 14, Mitte). Die mittlere Zunahme während des gesamten Reaktionstests betrug $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}}=+0,54$ mV ($s=2,16$) und lag damit unter der des Rechentests.

Im Geschlechtervergleich wiesen Frauen während des gesamten Reaktionstests mit $\bar{x}_{\text{Corr}.f}=4,90$ mV bzw. $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.f}=+0,83$ mV eine signifikant höhere mittlere Aktivität und signifikant größere Veränderungen der Aktivität auf als Männer mit $\bar{x}_{\text{Corr}.m}=3,69$ mV ($p=,000$) bzw. $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.m}=+0,20$ mV ($p=,003$). Bei Betrachtung von Corr bzw. ΔCorr in den Minuten 4, 6 und 9 fanden sich allerdings keine signifikanten Geschlechtsunterschiede (Vgl. Anhang 15 und Abbildung 14, Mitte).

4.4.3 Korrugator-Aktivität in Ruhe

Für die Analyse der Korrugator-Aktivität während der Ruhephase fanden die Daten von 43 Upn (19 Männer, 24 Frauen) Anwendung. Der Mittelwert der Korrugator-Aktivität betrug $\bar{x}_{\text{Corr}}=5,59$ mV ($s=5,80$), von ΔCorr $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}}=+1,36$ mV ($s=3,22$) und lag damit über derjenigen von Rechentest und Reaktionstest. Der höchste Wert, welcher während der Ruhephase erreicht wurde, betrug $x=47,59$ mV. Es war ein kontinuierlicher Anstieg der Korrugator-Aktivität zu verzeichnen. In Minute 1 betrug die Korrugator-Aktivität $\bar{x}_{\text{Corr}.1}=4,21$ mV ($s=3,80$), in Minute 5 $\bar{x}_{\text{Corr}.5}=5,84$ mV ($s=5,37$) entsprechend einer Zunahme von $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.5}=+1,60$ mV ($s=3,11$), in Minute 10 betrug sie $\bar{x}_{\text{Corr}.10}=6,39$ mV ($s=7,32$) entsprechend einer Zunahme von $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.10}=+2,15$ mV ($s=4,25$). Die Korrugator-Aktivität der Frauen lag mit $\bar{x}_{\text{Corr}.f}=6,43$ mV ($s=7,24$) signifikant über der der Männer mit $\bar{x}_{\text{Corr}.m}=4,57$ mV ($s=2,99$; $p=,000$). Der Anstieg der Aktivität (Δ) war bei den Frauen mit $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.f}=+1,99$ mV ($s=3,60$) deutlich ausgeprägter als bei den Männern mit $\bar{x}_{\Delta\text{Corr}.m}=+0,60$ mV ($s=2,50$; $p=,000$) (Vgl. Abbildung 14, rechts).

4.5 Kardiale Aktivität

Die Auswertung der Herzaktivität während psychischer Belastung erfolgte an Hand der Herzfrequenz (HR=Herzrate, *heart rate*). Es wurden sowohl die Rohwerte ($\text{HR}_m = \text{HR}$) als auch ihre Veränderungen im Vergleich zur Baseline ($\text{diffbaseHR}_m = \Delta\text{HR}$) mit der Einheit bpm (*beat per minute*) verwendet.

4.5.1 Kardiale Aktivität während der Bildpräsentationen

In die Auswertung der Herzaktivität konnten aus dem Untersuchungsabschnitt Einzelbilder die Daten von 46 Upn (23 Männer, 23 Frauen) und aus dem Untersuchungsabschnitt Bildserien die Daten von 38 Upn (19 Männer, 19 Frauen) einbezogen werden. Der Mittelwert der HR betrug bei den Einzelbildern $\bar{x}_{\text{HR}}=73,84$ bpm ($s=12,49$). Männer zeigten mit $\bar{x}_{\text{HR}.m}=75,02$ bpm

($s=11,63$) höhere Frequenzen als Frauen mit $\bar{x}_{HR,f}=72,77$ bpm ($s=13,12$). Der Geschlechtsunterschied war signifikant ($p=,000$). Bei den Bildserien betrug der Mittelwert der HR $\bar{x}_{HR}=70,05$ bpm ($s=12,62$); es bestand kein signifikanter Geschlechtsunterschied. Von besonderem Interesse im Zusammenhang mit der Herzaktivität waren die Emotionsdimensionen Erregung und Valenz (Vgl. Abschnitt 2.5.3). Die Erläuterung der Auswertung der HR getrennt nach den beiden Dimensionen wird im Folgenden vorgenommen. Es bestand während der Bildserien kein Zusammenhang von HR und ΔHR mit der Beanspruchungsbewertung im NASA-TLX.

Erregung

Bei beruhigenden Bildern betrug die Herzfrequenz $\bar{x}_{HR,E1}=73,45$ bpm ($s=11,29$), bei neutralen Bildern $\bar{x}_{HR,E5}=70,28$ bpm ($s=11,82$) und bei erregenden Bildern $\bar{x}_{HR,E9}=69,12$ bpm ($s=12,60$).²⁵ Die Veränderungen der Herzfrequenz betrugen bei beruhigenden Bildern $\bar{x}_{\Delta HR,E1}=+0,17$ bpm, bei neutralen Bildern $\bar{x}_{\Delta HR,E5}=-7,74$ bpm und bei erregenden Bildern $\bar{x}_{\Delta HR,E9}=9,19$ bpm.²⁶ Es bestanden keine signifikanten Korrelationen von ΔHR mit Erregung bei Verwendung der nach

Erregungsstufen zusammengefassten Daten. Die HR jedoch zeigte einige signifikante Korrelationen mit der Erregung. Dies betraf die Männer bei Bild 1 der Bildserien mit einer mittleren Korrelation von $r=-,675$ ($p=,046$) und alle Probanden bei den Serien mit einer mittleren Korrelation von

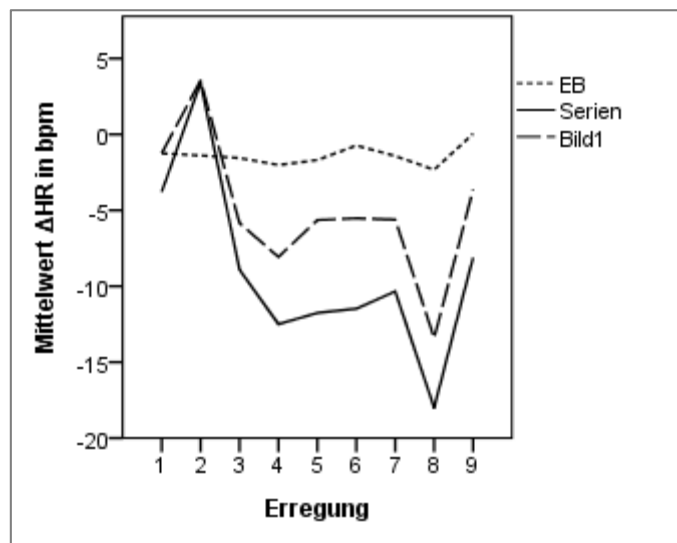


Abbildung 15: Verhalten von ΔHR bei zunehmender Erregung bei Einzelbildern (EB), Bildserien und Bild 1 der Bildserien

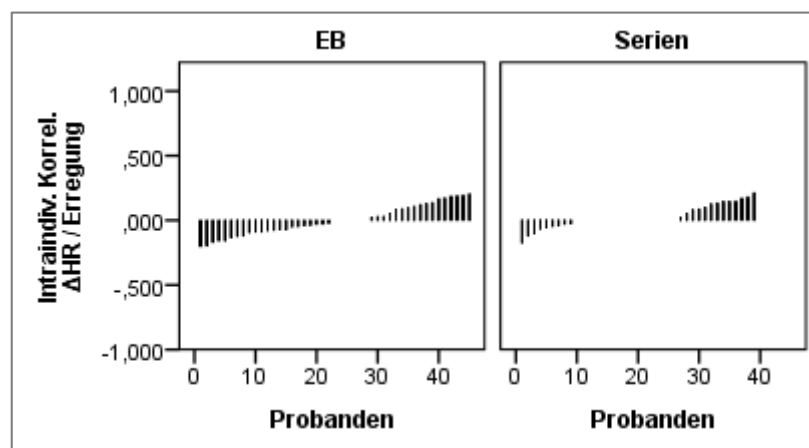


Abbildung 16: Verteilung der intraindividuellen Korrelationen von ΔHR mit Erregung bei den Einzelbildern und bei den Bildserien. Korrelationen von/um 0 sind als „Lücke“ dargestellt.

²⁵ Bezogen auf die Erregungsstufen 1=ruhig ($n=300$), 5=neutral ($n=1825$) und 9=erregt ($n=385$).

²⁶ Bezogen auf die Erregungsstufen 1+2=ruhig ($n=514$), 5=neutral ($n=1825$) und 8+9=erregt ($n=783$).

$r=-,672$ ($p=,048$) bzw. die Männer mit einer hohen Korrelation von $r=-,746$ ($p=,021$). Weitere nicht signifikante Korrelationen sind Anhang 13 zu entnehmen.

Bei Betrachtung der intraindividuellen Korrelationen zeigte sich in den Abschnitten der Einzelbild- und Bildserienpräsentation eine etwa gleiche Verteilung der positiven und negativen intraindividuellen Korrelationen. Zusätzlich bestand ein deutlich geringeres Ausmaß der intraindividuellen Korrelationen im Vergleich zu der elektrodermalen und der Korrugator-Aktivität und ein höherer Anteil an intraindividuellen Korrelationen von bzw. um Null (Vgl. Abbildung 16).

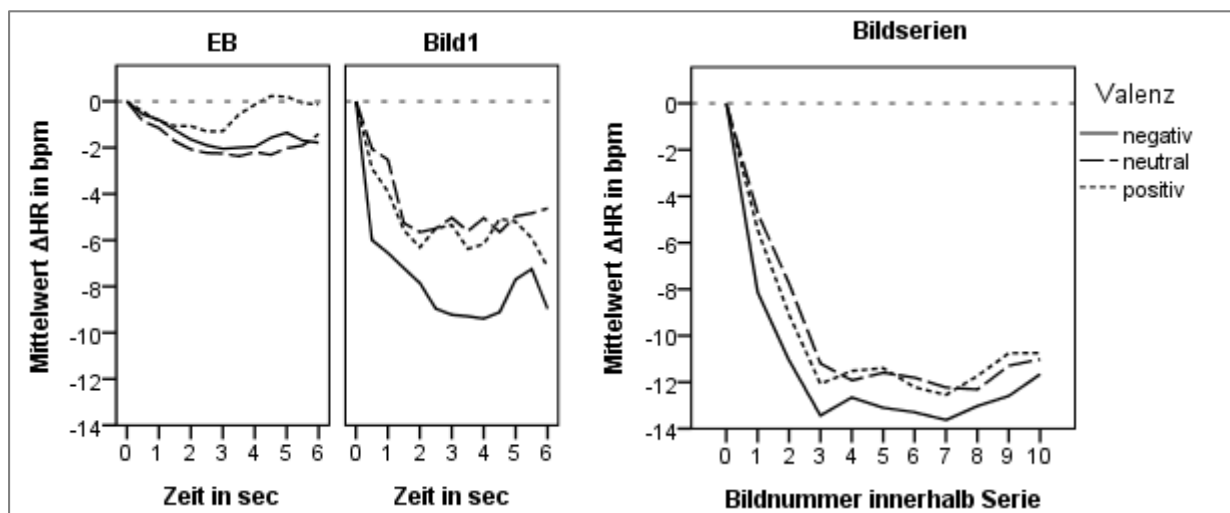


Abbildung 17: Verhalten von ΔHR bei den Valenzstufen negativ (Valenz 1 + 2), neutral (Valenz 5) und positiv (Valenz 8 + 9); innerhalb von 6 Sekunden während Einzelbildern und Bild 1 der Bildserien (links und Mitte) bzw. innerhalb von 1 Minute während der Bildserien

Valenz

Bei negativen Bildern betrug die HR $\bar{x}_{HR.V1}=69,56$ bpm ($s=11,24$), bei neutralen Bildern $\bar{x}_{HR.V5}=71,92$ bpm ($s=11,46$) und bei positiven Bildern $\bar{x}_{HR.V9}=70,12$ bpm ($s=12,79$).²⁷ Die Werte von ΔHR nahmen bei negativen Bildern einen Wert von $\bar{x}_{\Delta HR.E1}=-8,64$ bpm, bei neutralen Bildern von $\bar{x}_{\Delta HR.E5}=-7,75$ bpm und bei positiven Bildern von $\bar{x}_{\Delta HR.E9}=-7,78$ bpm an.²⁸ HR und ΔHR zeigten keinen signifikanten Zusammenhang mit der Dimension Valenz. Hier stellten sich noch größere Unsicherheiten dar als beim Zusammenhang mit Erregung. Die genauen Korrelationen und intraindividuellen Korrelationen sind Anhang 13 zu entnehmen.

Bei Betrachtung der HR während der Bildserien über einen Zeitraum von einer Minute zeigte sich die stärkste Dezeleration innerhalb der ersten 3 Bilder mit einer Dauer von 18 Sekunden. Positive und neutrale Bilder zeigten eine etwa gleich starke Dezelerationen, subjektiv negative Bilder eine stärkere Herzratendezeleration (Vgl. Abbildung 17, rechts).

²⁷ Bezogen auf die Valenzstufen 1=negativ ($n=966$), 5=neutral ($n=1141$) und 9=positiv ($n=568$)

²⁸ Bezogen auf die Valenzstufen 1 + 2=negativ ($n=1469$), 5=neutral ($n=1141$) und 8 + 9=positiv ($n=1018$).

4.5.2 Kardiale Aktivität während mentaler Belastung

Rechentest

Zur Analyse der Herzfrequenz während des Rechentests wurden die Daten von 40 Upn (20 Männer, 20 Frauen) herangezogen. Der Mittelwert der Herzfrequenz betrug $\bar{x}_{HR}=87,13$ bpm ($s=16,33$), der von ΔHR $\bar{x}_{\Delta HR}=-2,39$ bpm ($s=8,28$). Signifikante geschlechtsspezifische Mittelwertunterschiede lagen nicht vor. Im zeitlichen Verlauf des Rechentests erfolgte eine geringfügige kontinuierliche Abnahme der mittleren HR. In Minute 10 wurde eine Herzfrequenzabnahme gegenüber der Baseline von im Mittel $\bar{x}_{\Delta HR}=-4,55$ bpm ($s=10,53$) verzeichnet (Vgl. Abbildung 18, links).

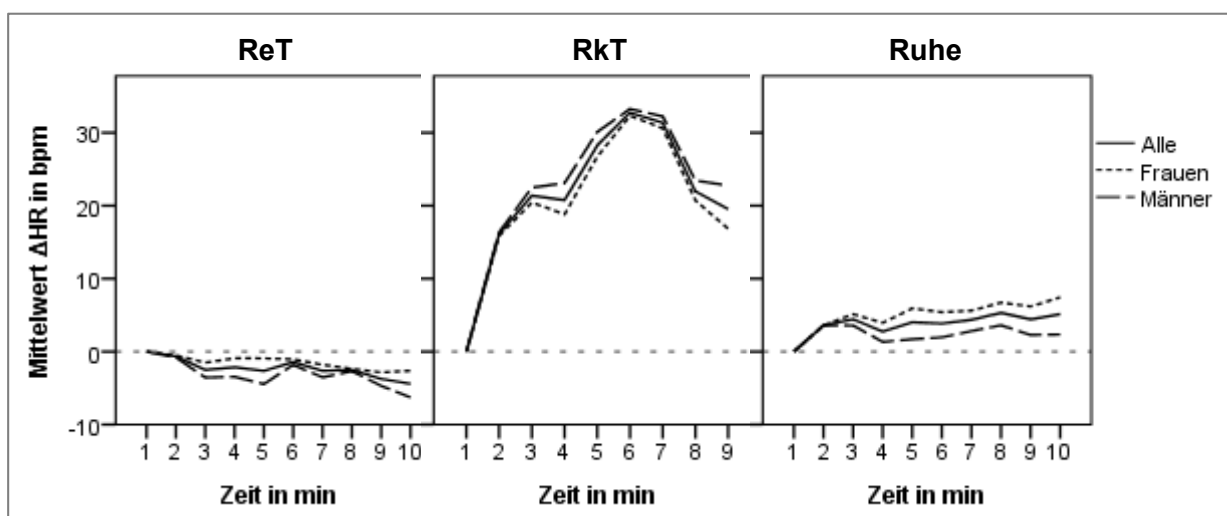


Abbildung 18: Verhalten von ΔHR im Verlauf des Rechentests (ReT, links), des Reaktionstests (RkT, Mitte) und der Ruheperiode (rechts)

Reaktionstest

In die Analyse der HR während des Reaktionstests wurden die Daten von 39 Upn (18 Männer, 21 Frauen) einbezogen. Die mittlere Herzfrequenz betrug $\bar{x}_{HR}=110,46$ bpm ($s=25,10$) und von ΔHR $\bar{x}_{\Delta HR}=21,34$ bpm ($s=21,95$). Damit wurden deutlich höhere Werte erreicht als während der Bildpräsentationen oder des Rechentests. Ein signifikanter geschlechtsspezifischer Mittelwertunterschied lag nicht vor.

Die Probanden zeigten in Phase I zunächst eine starke Akzeleration der HR, in derer dritten Minute eine leichte Dezeleration erfolgte. In Phase II verhielt es sich ebenso auf höherem Niveau mit zunächst einem starken Anstieg und in derer dritten Minute einem leichten Abfall. Phase III zeigte eine reine Abnahme der Herzfrequenz. Der mittlere Herzratenanstieg gegenüber der Baseline betrug in Phase I des Reaktionstests $\bar{x}_{\Delta HR.I}=+12,49$ bpm ($s=18,07$), in Phase II $\bar{x}_{\Delta HR.II}=+27,26$ bpm ($s=21,29$) und in Phase III $\bar{x}_{\Delta HR.III}=+24,27$ bpm ($s=23,43$). Die Maxima lagen in Phase I während Minute 3 bei $\bar{x}_{\Delta HR.3}=+21,37$ bpm ($s=19,01$), in Phase II

während Minute 6 bei $\bar{x}_{\Delta HR,6}=+32,75$ bpm ($s=22,85$) und in Phase III während Minute 9 bei $\bar{x}_{\Delta HR,9}=+19,52$ bpm ($s=22,07$; Vgl. Abbildung 18, Mitte).

4.5.3 Kardiale Aktivität in Ruhe

Zur Analyse der HR während der Ruhephase wurden die Daten von 42 Upn (19 Männer, 23 Frauen) verwendet. Der Mittelwert der Herzfrequenz betrug $\bar{x}_{HR}=69,88$ bpm ($s=13,49$) und von ΔHR $\bar{x}_{\Delta HR}=+3,79$ bpm ($s=8,68$). Während der Ruhephase war ein leichter HR-Anstieg von bis zu $\bar{x}_{\Delta HR,10}=+3,45$ bpm ($s=15,78$) in Minute 10 zu verzeichnen. Es bestand keine signifikante Korrelation von ΔHR mit der Zeit ($p=,094$). Bei Aufteilung der Daten nach Geschlecht zeigten Frauen mit $\bar{x}_{HR,f}=71,96$ bpm ($s=14,54$) höhere Ruhefrequenzen als Männer mit $\bar{x}_{HR,m}=67,36$ bpm ($s=11,65$). Der Geschlechtsunterschied war signifikant ($p=,000$). Es ergab sich für die Frauen eine signifikante Korrelation von ΔHR mit der Zeit ($r=,669$; $p=,034$), für die Männer eine nicht signifikante Korrelation ($r=,267$; $p=,457$) (Vgl. Abbildung 18, rechts).

4.6 Atmungsaktivität

Die Untersuchung der Atemaktivität erfolgte an Hand der Atemfrequenz von Brust- und Bauchatmung (BRR bzw. ARR=*breast* bzw. *abdominal respiration rate*) mit der Einheit min^{-1} (pro Minute) und an Hand der Amplitude von Brust- und Bauchatmung (BR_Amp bzw. AR_Amp=*breast* bzw. *abdominal respiration amplitude*) als ein relativer Wert (Vgl. Abschnitt 3.2). Verwendet wurden sowohl die Rohwerte (BRR, ARR, BR_Amp, AR_Amp) als auch ihre Veränderungen im Vergleich zur Baseline (ΔBRR , ΔARR , ΔBR_Amp , ΔAR_Amp).

4.6.1 Atmungsaktivität während der Bildpräsentationen

Bei der Analyse der Atemparameter fanden im Abschnitt der Einzelbilder die Daten von 47 Upn (23 Männer, 24 Frauen) und im Abschnitt der Bildserien die Daten von 39 Upn (19 Männer, 20 Frauen) Anwendung. Bei Analyse der Daten der Bildpräsentationen zeigte die abdominelle Atemamplitude einen Wert von $\bar{x}_{AR_Amp}=1,71$ ($s=1,11$), die thorakale von $\bar{x}_{BR_Amp}=1,22$ ($s=0,92$). Die Atemamplitude, insbesondere die der abdominellen Atmung, wies während emotionaler Belastung die höchsten Werte aller Untersuchungsabschnitte auf. Die abdominelle Atemfrequenz betrug $\bar{x}_{ARR}=21,28$ min^{-1} ($s=9,17$), die thorakale Atemfrequenz $\bar{x}_{BRR}=20,01$ min^{-1} ($s=8,85$). Geschlechtsspezifische Unterschiede sind in Tabelle 10 abgebildet. Männer wiesen eine signifikant größere Atemamplitude und eine signifikant langsamere Bauchatmung auf. Die Brustatemfrequenz wies keine signifikanten Geschlechtsunterschiede auf ($p=,080$). Das Verhalten der Atemparameter zeigte keine Zusammenhänge mit den verschiedenen Emotionsdimensionen Valenz, Erregung oder

Tabelle 10: Geschlechtsspezifische Darstellung der Atemparameter mit Standardabweichung s und Signifikanz p des vergleichenden t-Tests während der Bildpräsentationen

		$\bar{x}$	s	p
AR_Amp	Männer	1,80	,95	,000
	Frauen	1,63	1,26	
BR_Amp	Männer	1,32	,98	,000
	Frauen	1,15	,88	
ARR	Männer	20,75 min ⁻¹	8,81	,000
	Frauen	21,72 min ⁻¹	9,39	
BRR	Männer	19,85 min ⁻¹	8,76	,080
	Frauen	20,23 min ⁻¹	8,46	

Dominanz. Die einzelnen Relativ- und Absolutwerte verhielten sich inkonsistent. Signifikante Korrelationen lagen nicht vor. Es bestand während

der Bildserien kein Zusammenhang der Atemparameter mit der Beanspruchungs-bewertung im NASA-TLX. Auch die intraindividuellen Korrelationen der Atemparameter mit den SAM-Dimensionen wiesen keine verwertbaren Ergebnisse auf. Der Anteil an positiven intraindividuellen Korrelationen der Atemparameter lag zwischen 47 und 60 %. Einen etwas deutlicheren Zusammenhang mit emotionaler Erregung zeigte die Brustatemamplitude mit einem Anteil von 66 % positiver intraindividuellen Korrelationen. Auf eine

graphische Darstellung und die Angabe weiterer Werte wird auf Grund der geringen Relevanz verzichtet.

4.6.2 Atmungsaktivität während mentaler Belastung

Atmungsaktivität während des Rechentests

Zur Analyse des Verhaltens der Atemparameter während des Rechentests standen die Daten von 41 Upn (20 Männer, 21 Frauen) zur Verfügung. Die gemittelte abdominelle Atemamplitude

Tabelle 11: Geschlechtsspezifische Darstellung der Atemparameter mit Standardabweichung s und Signifikanz p des vergleichenden t-Tests während des Rechentests

		$\bar{x}$	s	p
AR_Amp	Männer	1,70	,76	,000
	Frauen	1,30	,92	
BR_Amp	Männer	1,20	,63	,198
	Frauen	1,22	,58	
ARR	Männer	23,03 min ⁻¹	6,35	,013
	Frauen	24,29 min ⁻¹	4,53	
BRR	Männer	26,01 min ⁻¹	6,36	,013
	Frauen	23,03 min ⁻¹	5,31	

betrug $\bar{x}_{AAmp}=1,50$ ($s=.88$), die thorakale $\bar{x}_{BAmp}=1,1$ ($s=.61$).²⁹ Die gemittelte abdominelle Atemfrequenz betrug $\bar{x}_{ARR} = 23,73$ min⁻¹ ($s=5,53$), die thorakale

$\bar{x}_{BRR}=25,31$ min⁻¹ ($s=5,88$). Im Verlauf des Tests konnte eine Zunahme der Bauchatemamplitude innerhalb der ersten 2 Minuten beobachtet werden, gefolgt von einer Stagnation auf relativ konstantem Niveau

Eine geschlechtergetrennte Betrachtung der Atemparameter zeigte bei den Männern eine signifikant größere Bauchatemamplitude und Brustatemfrequenz sowie eine signifikant geringere

²⁹ Die Atemamplitude wird als relativer Wert angegeben (Vgl. Abschnitt 3.2).

Bauchatemfrequenz als bei den Frauen. Die detaillierten Werte sind Tabelle 11 zu entnehmen. Bei den Veränderungen (Δ) der Atemparameter zeigten sich nur bei ΔBR_Amp signifikant höhere Werte von $\bar{x}_{\Delta BR_Amp,f} = +,07$ bei den Frauen als bei den Männern von $\bar{x}_{\Delta BR_Amp,m} = -,03$ (Vgl. Anhang 16).

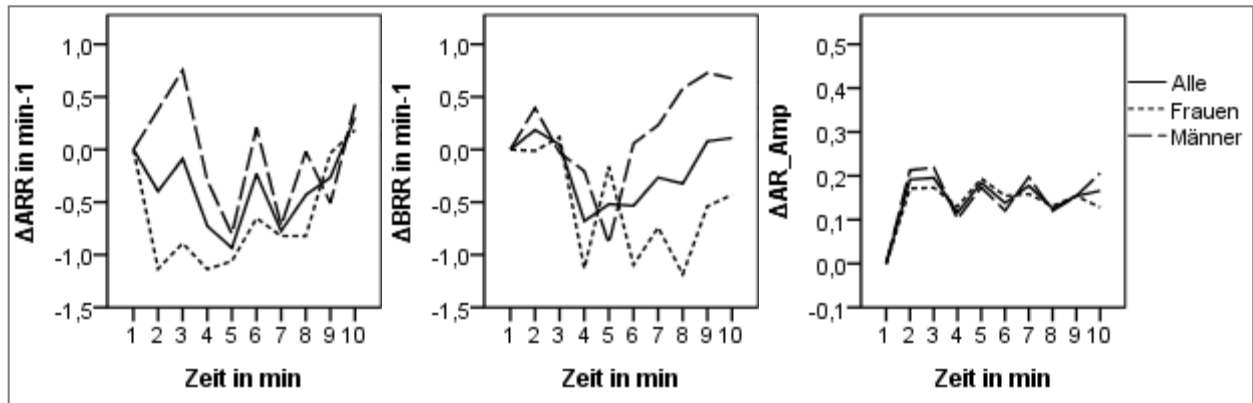


Abbildung 19: Verhalten von ΔARR (links), ΔBRR (Mitte) sowie ΔAR_Amp (rechts) im Verlauf des Rechentests

Atmungsaktivität während des Reaktionstests

Für die Auswertung der Atemparameter während des Reaktionstests wurden die Daten von 40 Upn (18 Männer, 22 Frauen) verwendet. Der Mittelwert der abdominellen Atemamplitude betrug $\bar{x}_{AAmp} = 1,52$ ($s = ,77$), der der thorakalen $\bar{x}_{BAmp} = 1,1$ ($s = ,59$). Die Atemfrequenz zeigte abdominell einen Wert von $\bar{x}_{ARR} = 24,76 \text{ min}^{-1}$ ($s = 5,31$), thorakal von $\bar{x}_{BRR} = 32,52 \text{ min}^{-1}$ ($s = 9,79$).

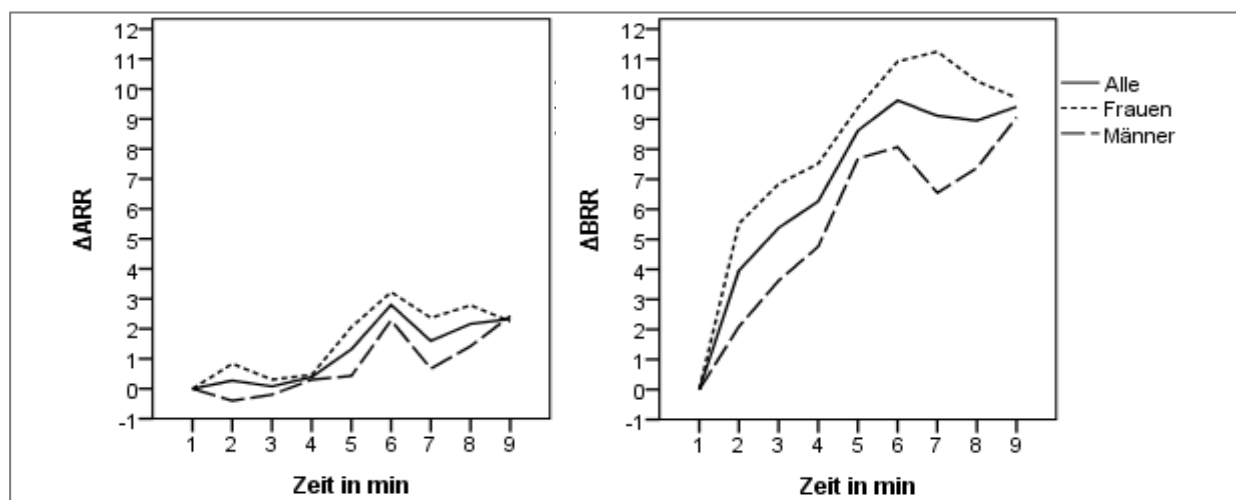


Abbildung 20: Verhalten von ΔARR (links) und ΔBRR (rechts) im Verlauf des Reaktionstests

Tabelle 12: Geschlechtsspezifische Darstellung der Atemparameter mit Standardabweichung s und Signifikanz p des t-Tests während des Reaktionstests

		$\bar{x}$	s	p
AR_Amp	Männer	1,71	,67	,000
	Frauen	1,36	,81	
BR_Amp	Männer	1,18	,58	,020
	Frauen	1,04	,60	
ARR	Männer	24,07 min ⁻¹	6,27	,002
	Frauen	25,34 min ⁻¹	4,27	
BRR	Männer	30,84 min ⁻¹	9,97	,021
	Frauen	33,91 min ⁻¹	9,43	

Die drei Phasen des Reaktionstests bildeten sich im Verhalten der Atemparameter ab. Phase I des Reaktionstests führte zu einem deutlichen Anstieg

der thorakalen Atemfrequenz bei fehlendem Anstieg der abdominellen Atemfrequenz. Phase II führte zu einer weiteren Zunahme der thorakalen Atemfrequenz und auch zu einer Zunahme der abdominellen Atemfrequenz. In Phase III blieben beide Frequenzen auf erhöhtem

Niveau etwa konstant. Es zeigte sich während des Reaktionstests eine deutlich stärkere Zunahme der Brust- im Vergleich zur Bauchatmung. Die höchsten Zunahmen wurden in Minute 6 während der Phase II verzeichnet. Die Bauchatmung zeigte eine Zunahme um $\bar{x}_{\Delta ARR,6}=2,80 \text{ min}^{-1}$ auf $\bar{x}_{ARR,6}=26,34 \text{ min}^{-1}$ und die Brustatmung um $\bar{x}_{\Delta BRR,6}=9,63 \text{ min}^{-1}$ auf $\bar{x}_{BRR,6}=35,33 \text{ min}^{-1}$ (Vgl. Abbildung 20). Auch die Atemamplitude zeigte Veränderungen im Verlauf der verschiedenen Phasen des Reaktionstests. Die abdominelle Atemamplitude wies einen deutlichen Anstieg in Phase I auf, um in Phase II und III etwa konstant zu bleiben. In Minute 3 wurde eine AR_Amp von

$\bar{x}_{AAmp,3}=1,56$ gefunden entsprechend einer Zunahme um $\bar{x}_{\Delta AAmp,3}=0,17$. Die Brustatemamplitude hingegen wies in Phase I kaum Veränderungen auf, stieg in Phase II an und fiel in Phase III wieder ab. Der höchste Wert wurde in Minute 6 erreicht mit einer Zunahme um $\bar{x}_{\Delta BRR,6}=0,12$ auf $\bar{x}_{BAmp,6}=1,17$ (Vgl. Abbildung 21).

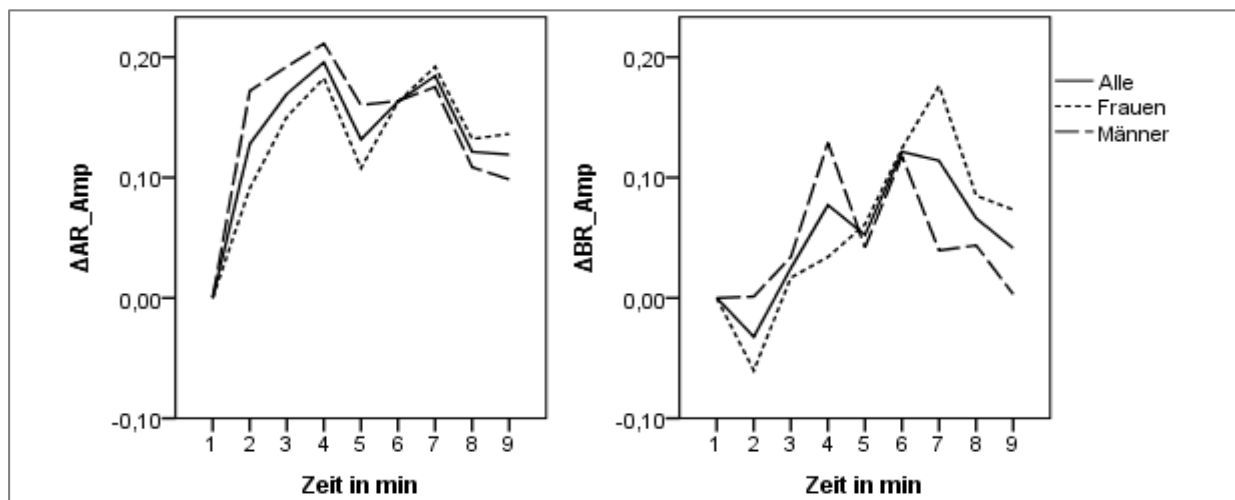


Abbildung 21: Verhalten von ΔAR_Amp (links) und ΔBR_Amp (rechts) im Verlauf des Reaktionstests

Die Analyse geschlechtsspezifischer Aspekte zeigte bei den Rohwerten aller vier Atemparameter signifikante Unterschiede. Männer wiesen größere Atemamplituden und geringere Atemfrequenzen auf als Frauen. Die detaillierten Werte sind Tabelle 12 zu entnehmen. Die geschlechtsspezifische Betrachtung der Veränderungen (Δ) der Atemparameter zeigte lediglich bei ΔBRR signifikante Unterschiede. Frauen wiesen mit $\bar{x}_{\Delta BRR,f}=7,94 \text{ min}^{-1}$ signifikant höhere Werte auf als die Männer mit $\bar{x}_{\Delta BRR,m}=5,47 \text{ min}^{-1}$ ($p=,011$). Sie zeigten somit während des Reaktionstests eine deutliche stärkere Zunahme der Brustatemfrequenz als die Männer. Weitere detaillierte geschlechtsbezogene Δ -Werte sind Anhang 17 zu entnehmen.

4.6.3 Atmungsaktivität in Ruhe

Zur Analyse der Atemaktivitäten während der Ruhephase konnten die Daten von 43 Upn (19 Männer, 24 Frauen) herangezogen werden. Der Mittelwert der thorakalen Atemfrequenz betrug $\bar{x}_{BRR}=20,83 \text{ min}^{-1}$ ($s=6,42$), der der abdominalen $\bar{x}_{ARR}=21,53 \text{ min}^{-1}$ ($s=7,37$). Der Mittelwert der thorakalen Atemamplitude betrug $\bar{x}_{BAmp}=,99$ ($s=,60$), der der abdominalen $\bar{x}_{AAmp}=1,56$ ($s=,88$). Während der Ruhephase zeigten sich Schwankungen der Atemparameter. Die Atemfrequenz nahm sowohl thorakal als auch abdominal innerhalb der ersten vier Minuten ab, um dann wieder auf etwa den Ausgangswert anzusteigen. In Minute 4 betrug die Abnahme der Atemfrequenz $\bar{x}_{\Delta ARR}=-2,47 \text{ min}^{-1}$ bzw. $\bar{x}_{\Delta BRR}=-2,66 \text{ min}^{-1}$ (Vgl. Abbildung 22, links und Mitte). Die Atemamplitude der Bauchatmung vertiefte sich innerhalb der ersten zwei Minuten um $\bar{x}_{\Delta AAmp}=+,25$ ($s=,36$) und fiel dann wieder auf den Ausgangswert (Vgl. Abbildung 22, links und Mitte). Die Brustatemamplitude blieb während der Ruhephase relativ konstant mit einem Wert von $\bar{x}_{\Delta BAmp}=+,08$ ($s=0,39$) (Vgl. Anhang 18).

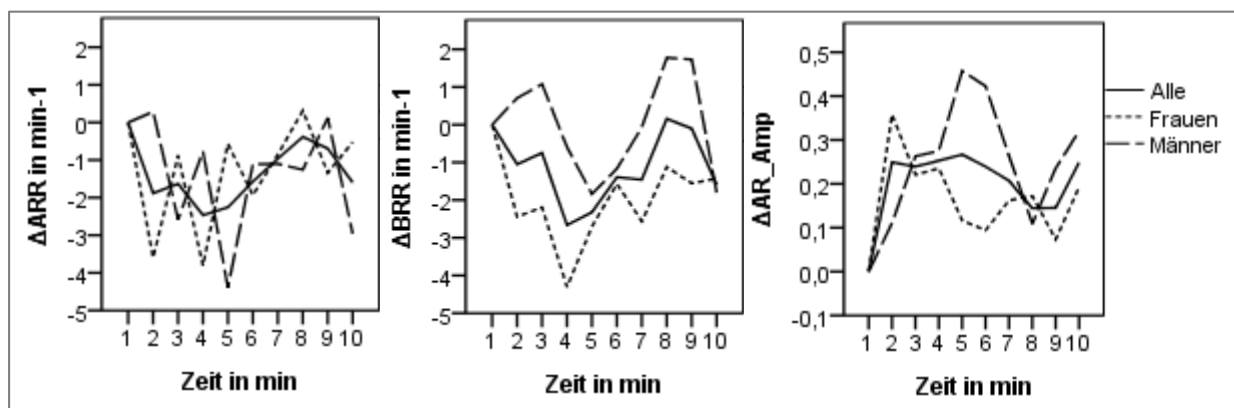


Abbildung 22: Verhalten von ΔARR (links), ΔBRR (Mitte) sowie ΔAR_Amp (rechts) während der Ruhephase

Die geschlechtsspezifische Untersuchung der Atemparameter zeigte keine signifikanten Unterschiede bei ARR, BRR, AR_Amp und BR_Amp und ihren Veränderungen (Vgl. Abbildung 22 und Anhang 18).

4.7 Frontalhirn-Aktivität

Die Untersuchung der Frontalhirn-Aktivität erfolgte mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie auch Hemoencephalographie (HEG) genannt. Für die Auswertung kam der Quotient aus rotem und infrarotem Licht ($\text{HEG-Ratio} = \text{HEG}$) bzw. seine Veränderungen im Vergleich zur Baseline ($\text{diffbaseHEG-Ratio} = \Delta\text{HEG}$) zur Anwendung.

4.7.1 Frontalhirn-Aktivität während der Bildpräsentation

Aus dem Untersuchungsabschnitt Einzelbilder wurden zur Analyse des HEG-Quotienten die Daten von 46 Upn (23 Männer, 23 Frauen) und aus dem Abschnitt Bildserien die Daten von 39 Upn (19 Männer, 20 Frauen) verwendet. Der Mittelwert des HEG-Quotienten betrug $\bar{x}_{\text{HEG}}=87,41$ ($s=15,51$). Männer wiesen mit $\bar{x}_{\text{HEG.m}}=90,64$ ($s=16,73$) höhere Werte auf als Frauen mit $\bar{x}_{\text{HEG.f}}=85,17$ ($s=13,83$). Der Geschlechtsunterschied war signifikant ($p=,000$). Bei Betrachtung aller Untersuchungsabschnitte zeigte sich ein inkongruentes Verhalten der Veränderungen von ΔHEG in Abhängigkeit von der Erregung und von der Valenz (Vgl. Anhang 14). Ein Zusammenhang der Frontalhirn-Aktivität mit Erregung oder Valenz kann daher nicht festgestellt werden. Es bestand während der Bildserien kein Zusammenhang des HEG-Quotienten und seiner Veränderungen mit der Beanspruchungsbewertung im NASA-TLX.

4.7.2 Frontalhirn-Aktivität während mentaler Belastung

Rechentest

Die Daten von 41 Upn (20 Männer, 21 Frauen) wurden in die Auswertung des HEG-Quotienten im Untersuchungsabschnitt Rechentest einbezogen. Der Mittelwert des HEG-Quotienten betrug $\bar{x}_{\text{HEG}}=93,89$ ($s=19,51$) von ΔHEG $\bar{x}_{\Delta\text{HEG}}=2,51$ ($s=8,28$). Innerhalb der ersten 4 Minuten stieg der HEG-Quotient an. In Minute 4 wurde ein Anstieg um $\bar{x}_{\Delta\text{HEG.4}}=+2,97$ auf $\bar{x}_{\text{HEG.4}}=94,35$ gemessen. Darauffolgend verweilten die Werte auf einem Niveau. In Minute 10 betrug der Quotient $\bar{x}_{\text{HEG.10}}=94,33$ entsprechend einer Differenz zur Baseline von $\bar{x}_{\Delta\text{HEG.10}}=+2,96$. Im Geschlechtervergleich zeigten Männer mit $\bar{x}_{\text{HEG.m}}=99,26$ einen signifikant höheren HEG-Quotienten als Frauen mit $\bar{x}_{\text{HEG.f}}=88,52$ ($p=,000$) wie auch eine signifikant stärkere Zunahme (ΔHEG) von im Mittel $\bar{x}_{\Delta\text{HEG.m}}=+3,65$ im Vergleich zu den Frauen von $\bar{x}_{\Delta\text{HEG.f}}=+1,38$ ($p=,000$) (Vgl. Abbildung 23, links).

Reaktionstest

Aus dem Untersuchungsabschnitt Reaktionstest konnten zur Analyse des HEG-Quotienten die Daten von 40 Upn (18 Männern, 22 Frauen) herangezogen werden. Der Mittelwert des HEG-

Quotienten betrug $\bar{x}_{\text{HEG}}=88,97$ ($s=16,86$) und seiner Veränderungen $\bar{x}_{\Delta\text{HEG}}=+2,30$ ($s=3,48$). Die maximale Zunahme war in Minute 8 von $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},8}=+4,02$ auf $\bar{x}_{\text{HEG},8}=90,69$. Männer zeigten mit $\bar{x}_{\text{HEG},m}=92,38$ und $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},m}=+2,89$ einen höheren HEG-Quotienten und eine signifikant stärkere Zunahme als Frauen mit $\bar{x}_{\text{HEG},f}=86,13$ und $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},f}=+1,80$ ($p=,000$ bzw. $,003$).

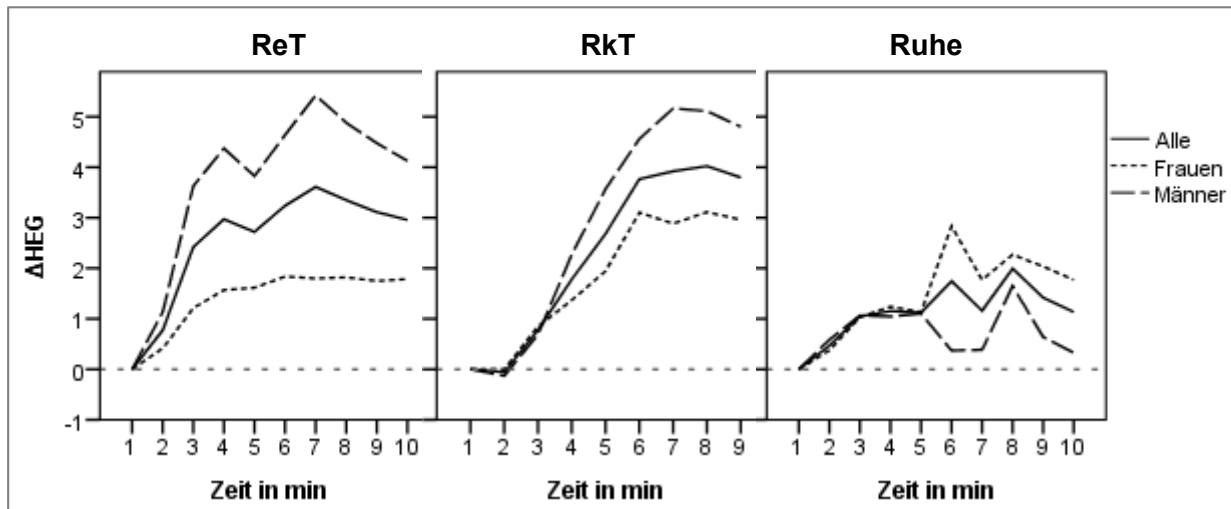


Abbildung 23: Verhalten von ΔHEG im Verlauf des Rechentests (links), des Reaktionstests (Mitte) und der Ruheperiode (rechts)

In Phase I des Reaktionstests zeigte sich kein wesentlicher Anstieg des HEG-Quotienten, der Mittelwert betrug $\bar{x}_{\text{HEG},I}=86,91$, das entspricht einer Zunahme im Vergleich zur Baseline um $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},I}=+24$. Die Phasen II und III wiesen einen deutlichen Anstieg des HEG-Quotienten auf. Der Mittelwert in Phase II betrug $\bar{x}_{\text{HEG},II}=89,41$ entsprechend einer Zunahme von $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},II}=+2,74$. Der Mittelwert in Phase III betrug $\bar{x}_{\text{HEG},III}=90,58$ entsprechend einer Zunahme von $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},III}=+3,91$. In Minute 3 betrug der Mittelwert $\bar{x}_{\text{HEG},3}=87,45$ entsprechend $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},3}=+78$, in Minute 6 betrug der Mittelwert $\bar{x}_{\text{HEG},6}=90,44$ entsprechend $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},6}=+3,77$ und in Minute 9 betrug er $\bar{x}_{\text{HEG},9}=90,47$ entsprechend $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},9}=+3,80$ (Vgl. Abbildung 23, Mitte).

4.7.3 Frontalhirn-Aktivität in Ruhe

Bei der Analyse des HEG-Quotienten während der Ruhephase fanden die Daten von 43 Upn (19 Männer, 24 Frauen) Anwendung. Der Mittelwert des HEG-Quotienten betrug $\bar{x}_{\text{HEG}}=91,06$ ($s=23,15$) von ΔHEG $\bar{x}_{\Delta\text{HEG}}=+1,12$ ($s=4,20$). Männer wiesen mit $\bar{x}_{\text{HEG},m}=90,64$ ähnliche Werte wie die Frauen mit $\bar{x}_{\text{HEG},f}=91,39$ ($p=,741$) auf. In Ruhe erfolgte ein leichter Anstieg des HEG-Quotienten bis etwa Minute 5, um danach auf einem nahezu konstanten Niveau zu verweilen. In Minute 5 wurde ein Anstieg um $\bar{x}_{\Delta\text{HEG},5}=+1,12$ auf $\bar{x}_{\text{HEG},5}=91,05$ erreicht (Vgl. Abbildung 23, rechts). Der Anstieg der Aktivität erschien bei graphischer Darstellung bei den Frauen ausgeprägter als bei den Männern. Der Geschlechtsunterschied war rechnerisch mit

Mittelwerten von $\bar{x}_{\Delta \text{ HEG.f}} = +1,44 \text{ mV}$ ($s_f = 3,58$) und $\bar{x}_{\Delta \text{ HEG.10}} = +0,72 \text{ mV}$ ($s = 4,84$) jedoch nicht signifikant ($p = ,084$)

4.8 Auswertung der Persönlichkeitsfaktoren

Für die Analyse werden zwei verschiedene Persönlichkeitsfaktoren herangezogen. Zum einen erfolgt die Einteilung nach den Einstufungen auf den psychologischen Ebenen Extraversion und Emotionalität mit Hilfe des Freiburger Persönlichkeitsinventars (FPI). Zum anderen wird eine Einteilung auf somatischer Ebene vorgenommen, welche sich am Verhalten der elektrodermalen Aktivität orientiert.

4.8.1 Psychologische Persönlichkeitstypen Emotionalität und Extraversion

Einteilung der Stichprobe

Für die statistische Auswertung des Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI) standen die von 43 Upn (20 Männer, 23 Frauen) vollständig ausgefüllten Fragebögen zur Verfügung. Die Analyse der Daten erfolgte an Hand der Stanine-Werte. Eine Analyse der Daten nach Klassifikation der Persönlichkeitsdaten in jeweils drei Klassen *emotional labil/neutral/stabil* bzw. *extrovertiert/neutral/introvertiert* (Vgl. Abschnitt 3.5.6) war auf Grund der geringen Stichprobenzahl und der ungleichen Verteilung auf die einzelnen Klassen nicht möglich. Bei der Emotionalität waren 58 % der Probanden ($n=25$) bei der Extraversion 65 % ($n=28$) als neutral einzustufen (Vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Anzahl der Personen in den Klassen der Persönlichkeitsdimensionen

		Extraversion		
		introvertiert	neutral	extrovertiert
Emotionalität	stabil	2	7	2
	neutral	6	17	2
	labil	1	4	2

Der Mittelwert der Stanine-Skala betrug für die Dimension Extraversion $\bar{x}_E = 4,72$ und lag im neutralen Bereich. Geschlechtsspezifische Mittelwertunterschiede bestanden nicht ($p = ,657$). Der Mittelwert für die Dimension Emotionalität (Neurotizismus) betrug $\bar{x}_N = 4,60$ und lag ebenfalls im neutralen Bereich. Frauen zeigten sich mit einem Wert von $\bar{x}_{N.f} = 4,09$ als emotional stabiler. Männer wiesen einen Wert von $\bar{x}_{N.m} = 5,02$ auf. Beide Werte lagen jedoch im neutralen Bereich. Es bestand ein signifikanter Geschlechtsunterschied ($p = ,046$). Es lag kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Grad der Extraversion ($r = ,015$; $p = ,924$) oder dem Grad der Emotionalität ($r = ,252$; $p = ,103$) und dem Bildungsgrad vor.

Analyse der Auswirkungen von Emotionalität und Extraversion auf die Bewertung von SAM und NASA-TLX

Der Einfluss von *Emotionalität* und *Extraversion* auf die subjektive Beurteilung der Emotionen und der Beanspruchung wurde für alle Dimensionen des SAM und des NASA-TLX untersucht. Bei der Untersuchung der mentalen Belastung zeigten sich Zusammenhänge der psychologischen Persönlichkeitstypen mit den Beurteilungen des SAM. Je höher die emotionale Stabilität war, desto größer waren die Valenzbeurteilungen also desto größer war die Positivität. Emotional stabile Personen werteten mentale Beanspruchung weniger negativ als emotional labile Personen. Es bestand beim Rechentest eine geringe aber signifikante negative Korrelation des Persönlichkeitsfaktors *Emotionalität* mit den Valenzbeurteilungen von $r=-,344$ ($p=,024$). Beim Reaktionstest betrug die nicht signifikante Korrelation $r=-,267$ ($p=,083$). Auch der Persönlichkeitsfaktor *Extraversion* zeigte beim Rechentest und beim Reaktionstest einen Zusammenhang mit den Beurteilungen des SAM. Je höher die Extraversion war, desto geringer war die wahrgenommene Erregung. Extravertierte empfanden beim Rechentest und Reaktionstest eine geringere Erregung als Introvertierte. Es bestand eine signifikante negative Korrelation der Extraversion mit den Erregungsbeurteilungen beim Rechentest von $r=-,463$ ($p=,002$) und beim Reaktionstest von $r=-,374$ ($p=,013$).

Andere Zusammenhänge der *Emotionalität* und *Extraversion* mit Valenz, Erregung oder Dominanz wurden nicht gefunden. Bei der Untersuchung der Bildpräsentationen zeigte sich kein Zusammenhang der Höhe der Valenz-, Erregungs- oder Dominanzbeurteilung mit den Persönlichkeitsfaktoren *Emotionalität* oder *Extraversion*. Bei der Analyse der NASA-TLX-Bewertungen wiesen die *Emotionalität* und die *Extraversion* keinen Einfluss auf sowohl bei den Bildpräsentationen als auch beim Rechentest und beim Reaktionstest.

Analyse der Auswirkungen von Emotionalität und Extraversion auf die physiologischen Reaktionen

Der Zusammenhang der Persönlichkeitsfaktoren *Emotionalität* und *Extraversion* mit den körperlichen Reaktionen wurde für alle physiologischen Parameter und deren Veränderungen für alle Untersuchungsabschnitte analysiert. In Ruhe zeigte sich eine geringe signifikante Korrelation von ΔSCL mit der neunstufigen Dimension *Extraversion* ($r=,374$; $p=,015$; $n=42$). Extravertierte zeigten somit höhere ΔSCL als Introvertierte. Andere Zusammenhänge der *Emotionalität* oder der *Extraversion* mit physiologischen Parametern wurden nicht gefunden. Insbesondere bestand keine erhöhte Frontalhirn-Aktivität bei Introvertierten.

4.8.2 Somatische Persönlichkeitstypen (Sympathische Responder)

An Hand der erhobenen Daten stellten sich zur Einteilung der Responder-Typen bzgl. der elektrodermalen Aktivität zwei mögliche Grenzwerte des Hautleitfähigkeitslevels (SCL) als

anwendbar dar – ein Schwellenwert des SCL von 1 bzw. von 2 μ S (Mikrosiemens). Die Probanden unterhalb des Schwellenwertes werden als Non-Responder bezeichnet. Bei Verwendung des Wertes $\leq 2 \mu$ S nach Burk (52) konnten 35,42% (17 von 48) der Probanden als Non-Responder eingeteilt werden. Dies übertraf den von Venables & Mitchell (56) angegebenen Umfang von 25% Non-Respondern in der Normalbevölkerung. Bei Verwendung des Schwellenwertes $\leq 1 \mu$ S ergab sich ein Anteil von 8% Non-Respondern (4 von 49) und entsprach damit den Angaben von Dawson, Schell & Fillion (51) von 5-10 % Non-Respondern in der Normalbevölkerung. Da sich diejenigen Probanden mit SCL-Werten zwischen 1 und 2 μ S jedoch sowohl im SCL wie auch in der Amplitude der Reaktionen deutlich von den Respondern und Non-Respondern unterscheiden, erschien die Einführung einer Zwischengruppe als sogenannte Zwischen-Responder notwendig. Es ergaben sich 65% Responder (32 von 49), 27% Zwischen-Responder (13 von 49) und 8% Non-Responder (4 von 49).

Es zeigte sich, dass Männer einen deutlich höheren Anteil an Respondern (90%) aufweisen als die Frauen (43 %); Frauen zeigten eher ein niedriges SCL. Die Korrelationen zwischen Alter und Responder-Typen betrug $-,535$ ($p=,000$), zwischen Ausbildungsgrad und Responder-Typen $-,447$ ($p=,001$) und zwischen Ausbildungsgrad und Alter $,335$ ($p=,018$; $n=49$). Mit zunehmendem Alter, zunehmendem Bildungsgrad und weiblichem Geschlecht sank die elektrodermale Aktivität. Männliches Geschlecht, geringes Alter und geringer Bildungsgrad erhöhten die Chance auf Zuordnung zu den Respondern. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang der Responder-Typen mit den Dimensionen *Extraversion* oder *Emotionalität*. Ob die Einteilung in Responder-Typen und Geschlecht bei der Analyse der physiologischen Parameter eine Bedeutung besitzt, konnte nicht untersucht werden. Die Zahlen der einzelnen Responder-Untergruppen waren zu gering, um eine sinnvolle Analyse zu ermöglichen (Vgl. Anhang 8).

5 DISKUSSION

In den folgenden Abschnitten wird zunächst die Eignung der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Verfahren erörtert. Im Anschluss daran erfolgt die Diskussion der erhobenen Werte der physiologischen Reaktionen bei psychischer Belastung im Zusammenhang mit dem Stand der Wissenschaft. Abschließend wird auf praktisch relevante Aspekte im Arbeits- und Gesundheitsschutz eingegangen.

5.1 Methodendiskussion der einzelnen Untersuchungsverfahren

5.1.1 Stichprobe

Die Stichprobe war, wie im Folgenden dargelegt wird, für die vorliegende Untersuchung gut geeignet. Die Anzahl an Männern und Frauen war mit 24 zu 25 etwa gleich hoch. Der Median des Bildungsgrades betrug bei Männern gleich den Frauen 4. Die Probanden wiesen somit eine tendenziell höhere Schulbildung auf. An der Untersuchung nahmen überwiegend Probanden Teil, welche neutrale Werte auf den Skalen der *Extraversion* und *Neutralität* aufwiesen. Eine etwas ungleiche Geschlechterverteilung gab es im Lebensalter zu Gunsten höheren Alters bei den Frauen. Diese wiesen ein mittleres Alter von 31 versus 25 Lebensjahren bei den Männern auf. Es wird davon ausgegangen, dass eine relevante Stichprobe der Gesamtbevölkerung ausgewählt wurde, welche im Arbeitsalltag einer psychischen Belastung und Beanspruchung ausgesetzt sind. Für weitere Ausführungen sei auf den Abschnitt 5.3 *Einfluss von Persönlichkeitsfaktoren* verwiesen.

5.1.2 Versuchsaufbau und -umgebung

Der Ablauf der Untersuchung wurde angesichts der umfangreichen Teilaufgaben so angelegt, dass möglichst wenig Monotonie, Ermüdung, Stress oder Gewöhnung induziert wurden. Es erfolgte ein stetiger Wechsel zwischen emotionaler und mentaler Belastung in der Reihenfolge Einzelbilder Teil 1, Rechentest, Einzelbilder Teil 2, Reaktionstest und zuletzt Bildserien. Bei der Auswertung hat sich an Hand der Bewertungen des NASA-TLX bestätigt, dass die Abwechslung der Belastungsarten zu einem Wechsel der Beanspruchung und somit nicht zu einer Fehl-, Über- oder Unterbeanspruchung führten. Die NASA-TLX-Werte zeigten zwischen emotionaler und mentaler Belastung deutliche Unterschiede. Insbesondere war die Gesamtbeanspruchung, die mittels NASA-TLX für den letzten durchzuführenden Untersuchungsabschnitt der Bildserien erhoben wurde, die geringste der gesamten experimentellen Erhebung (Vgl. Abschnitt 4.2).

Auch die Versuchsumgebung erwies sich als geeignet. Es konnten ähnliche Ergebnisse ermittelt werden, wie sie beispielsweise Lang et al. (35) oder Hamm & Vaitl (27) in ihren Untersuchungen beschrieben. Es fanden sich weitere Übereinstimmungen mit anderen Studien, die im Folgenden bei den einzelnen physiologischen Parametern aufgeführt werden. Als bedingt unvorteilhaft hat sich die Anwesenheit des Versuchsleiters im Untersuchungsraum herausgestellt. Trotz des Hinweises, während der Untersuchung nicht zu sprechen, hielten sich zwei Probanden nicht an diese Vorgabe und trugen so zum teilweisen Datenverlust bei. Möglicherweise ist eine Räumlichkeit von Vorteil, in der eine optische Kontrolle des Untersuchungsablaufes ohne Anwesenheit des Untersuchungsleiters im Raum erfolgen kann.

5.1.3 Der NASA-Task Load Index

Der NASA-Task Load Index (NASA-TLX) wird als ein Verfahren zur Erhebung der Arbeitsbeanspruchung eingesetzt (105) (106) (107). In der vorliegenden Untersuchung wurde er zur Beurteilung der Beanspruchung während emotionaler und mentaler Belastung herangezogen. Die verschiedenen objektiven Anforderungen der einzelnen Untersuchungsabschnitte spiegeln sich anschaulich in den Bewertungen des NASA-TLX wider. Beispielsweise zeigte der Reaktionstest, mit seinem im Vergleich zu den anderen Untersuchungsabschnitten höchsten externen Zeitdruck und der größten Handlungsaufforderung, sowohl in der Dimension *Zeitliche Anforderung* als auch in den Dimensionen *Körperliche Anforderung* und *Anstrengung* die höchsten Bewertungen (Vgl. Abschnitt 4.2).

Trotz des deutlichen Zusammenhangs zwischen den NASA-TLX-Bewertungen und der objektiven Belastung gab es keine wesentlichen Zusammenhänge (Korrelationen) der einzelnen physiologischen Parameter mit den NASA-TLX-Dimensionen oder der Gesamtbeanspruchung. Möglicherweise erhebt der NASA-TLX daher weniger die empfundene Beanspruchung sondern vielmehr die von dem Betroffenen wahrgenommene Belastung. Als mögliche Ursache hierfür wird der Aufbau der vorliegenden Version des Fragebogens angeführt (Vgl. Anhang 3). Bei den ersten drei Dimensionen des NASA-TLX *Geistige Anforderung*, *Körperliche Anforderung* und *Zeitliche Anforderung* wird nach der entsprechenden Anforderung gefragt, die die Aufgabe an den Betroffenen stellt. Es wird nicht gefragt, wie sehr sich der Betroffene in der entsprechenden Dimension beansprucht fühlt. Somit erheben die ersten drei Dimensionen der vorliegenden Version des NASA-TLX an Stelle der erlebten Beanspruchung vielmehr die wahrgenommene Belastung einer Aufgabe. Die letzten beiden Dimensionen *Anstrengung* und *Frustration* fragen konkret nach dem erlebten Empfinden des Betroffenen und bilden somit die empfundene Beanspruchung ab. Dennoch gibt es auch in diesen Dimensionen keine wesentlichen Korrelationen mit den physiologischen Parametern. Möglicherweise sind sie bei der Beanspruchungsbewertung von geringerer Relevanz.

Zur verbesserten Erhebung der Beanspruchung wird für zukünftige Studien eine veränderte Version des NASA-TLX empfohlen. Anstelle der Frage „Wie hoch war die ... Anforderung?“ kann die Frage „Wie hoch war die ... Beanspruchung?“ bzw. „Wie hoch empfanden Sie die ... Beanspruchung?“ erfolgen. Diese Art der Umformulierung der Fragen richtet sich spezifisch auf das subjektive Erleben der Situation also auf die Beanspruchung. Zusätzlich sollte auf die ausführliche Erläuterung der Dimensionen durch den Versuchsleiter entsprechend der Amerikanischen Originalversion Wert gelegt werden. Dies dient zusätzlich der Sicherstellung der Beanspruchungs- im Gegensatz zur Belastungsbeurteilung und war in der vorliegenden Untersuchung nicht ausreichend erfolgt (Vgl. Abschnitt 3.3).

5.1.4 Das Self-Assessment Manikin

Die Erhebungsmethode Self-Assessment Manikin (SAM) wurde bestimmungsgemäß als Verfahren zur Erhebung der subjektiv erlebten Emotion in den Dimensionen Valenz, Erregung und Dominanz eingesetzt. Die Anwendung zeigte keine unerwarteten Ergebnisse oder Komplikationen. Die Verwertbarkeit des SAM in dieser Untersuchung wird durch signifikante Korrelationen mit den normativen Einstufungen der verwendeten Bilder belegt (Vgl. Abschnitt 5.1.5). Hinsichtlich der Relevanz für den Untersuchungsgegenstand haben sich die Dimensionen Valenz und Erregung als wesentlich, die Dimension Dominanz als unwesentlich erwiesen (Vgl. Abschnitte 4 und 5.2).

5.1.5 Das International Affective Picture System

Das International Affective Picture System (IAPS) ist mit seinen normiert eingestuften emotionalen Bildern ein valides Verfahren zur gezielten Auslösung von Emotionen. Es wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen zu diesem Zweck erfolgreich angewendet (Vgl. Abschnitt 2.7.1). Auch in dieser Arbeit hat sich das IAPS als geeignet erwiesen, die gewünschte emotionale Beanspruchung auszulösen. Die Beurteilungen der Untersuchungspersonen korrelierten in allen drei Emotionsdimensionen signifikant mit den normativen Einschätzungen der Amerikanischen Vergleichswerte. Besonders hoch war die Übereinstimmung der Valenzbewertungen ($r = ,757$ bzw. $,862$ bei Einzelbildern bzw. Bildserien). Die Beurteilungen der Erregung ($r = ,435$ bzw. $,562$ bei Einzelbildern bzw. Bildserien) und der Dominanz ($r = ,510$ bzw. $,611$ bei Einzelbildern bzw. Bildserien) korrelieren in einem geringeren Ausmaß (Vgl. Abschnitt 4.2.1). Möglicherweise sind die Unterschiede nicht nur auf die verschiedene Nationalität sondern auch auf das höhere Alter der Untersuchungspersonen von im Mittel 28 Jahren im Vergleich zu den normativen Amerikanischen Teilnehmern zurückzuführen, bei denen es sich überwiegend um Studenten der ersten Studienjahre handelte (104). Bradley & Lang (31) berichteten, dass mit zunehmendem Lebensalter eine Veränderung der emotionalen Wahrnehmung eintreten kann. Wesentliche Auswirkungen auf die Beantwortung der Fragestellung der vorliegenden Untersuchung werden nicht angenommen.

Die emotionale Beanspruchung der IAPS-Bilder enthielt nur einen geringen Anteil an mentaler Beanspruchung wie sich in den geringen NASA-TLX-Bewertungen der Dimensionen *Geistige* und *Zeitliche Anforderungen* sowie *Anstrengung* zwischen 20 und 44 % widerspiegelt. Auch die *Körperlichen Anforderungen* wurden mit 16 % als sehr gering eingestuft (Vgl. Abschnitt 4.2.2). Die Bildpräsentationen können somit einer passiven Aufgabe ohne wesentliche Handlungsnotwendigkeit zugeordnet werden, wie es bereits im Zusammenhang mit der geringen Verwertbarkeit der Dimension Dominanz (Vgl. Abschnitt 2.3.1) propagiert wurde (17) (36) (32) (37).

5.1.6 Rechentest und Reaktionstest

Der Rechentest diente der Auslösung von Konzentration durch kontinuierlich zu lösende Rechenaufgaben und wurde bestimmungsgemäß verwendet. Dem Reaktionstest mit seinen Reaktionen auf Farbreize wird neben der Aufmerksamkeitsbelastung zusätzlich eine Komponente von Konzentration zugewiesen. Ausführlich wird dies in Abschnitt 5.4.2 *Aufmerksamkeit und Konzentration* erörtert. Beide Methoden waren zur Auslösung mentaler Belastung geeignet. Die mit Hilfe des NASA-TLX erhobenen Beanspruchungsbewertungen von Rechentest und Reaktionstest erstreckten sich in den Dimensionen *Geistige* und *Zeitliche Anforderung* sowie *Anstrengung* zwischen 31 und 74 %. Somit lag die mentale Beanspruchung im mittleren Bereich, in welchem ein proportionales Verhältnis von Belastung und Beanspruchung bzw. körperlichen Reaktionen angenommen wird (Vgl. Abschnitt 2.2). Dieser mittlere Bereich ist für experimentelle Erhebungen optimal geeignet (17). Die *Körperlichen Anforderungen* wurden bei beiden Tests mit 63 bzw. 74 % als relativ hoch eingestuft. Somit können Rechentest und Reaktionstest als aktive Tätigkeiten gewertet werden, welche eine deutliche Handlungsnotwendigkeit beinhalten. Die mentale Belastung hat wie gewünscht ohne wesentlichen Einfluss von Emotionen stattgefunden, da die SAM-Bewertungen im neutralen Bereich lagen (Vgl. Abschnitt 4.2.3). Für zukünftige Arbeiten erscheint es sinnvoll, sowohl Rechentest als auch Reaktionstest unter äquivalentem stufenweisem Zeitdruck durchzuführen und die subjektive Beanspruchungsbewertung wie auch die Erhebung der physiologischen Parameter für jede der Stufen vorzunehmen.

5.2 Ergebnisdiskussion des Verhaltens der physiologischen Parameter während psychischer Belastung

Das Herzstück der vorliegenden Arbeit bildet die Analyse der physiologischen Parameter während psychischer, also emotionaler und mentaler Belastung. Es konnte bisher keine Arbeit gefunden werden, die das Verhalten der physiologischen Parameter in einem direkten Vergleich emotionaler und mentaler Beanspruchung untersuchte. In den folgenden Abschnitten werden die Reaktionen der physiologischen Parameter Hautleitfähigkeit, Korrugator-Aktivität, Herzfrequenz, Atemaktivität und Frontalhirn-Aktivität auf emotionale und mentale Beanspruchung diskutiert.

Lediglich die Höhe der gemessenen Rohwerte wies wesentliche Geschlechtsunterschiede auf. Die Veränderungen der Parameter im Vergleich zur Baseline (Δ) zeigten bei Männern und Frauen ein ähnliches Verhalten. Aus diesem Grunde wird im Folgenden auf eine über die Rohwerte hinausgehende geschlechtsspezifische Betrachtung kein Gewicht gelegt. Alle im Folgenden beschriebene Ergebnisse sollten in weiteren Untersuchungen mit einem ähnlichen

zugrundeliegenden Modell von Coping und Beanspruchungsart validiert und einer Überprüfung im Arbeitsalltag zugeführt werden.

5.2.1 Elektrodermale Aktivität

Gemäß den Ergebnissen von Lykken & Venables (54) zeigte sich die Hautleitfähigkeit gegenüber dem Hautwiderstand als aussagekräftiger und wurde daher zur Analyse herangezogen. Die Hautleitfähigkeitslevel (SCL=skin conductance level) nehmen üblicherweise Werte zwischen 2-20 μS an (51). In der vorliegenden Untersuchung werden entsprechend Werte zwischen 0,44-16,40 μS ermittelt. Die geringsten Mittelwerte des SCL betrugen während der Ruhephase 2,77 μS bei den Frauen und 5,57 μS bei den Männern. Die höchsten SCL-Mittelwerte fanden sich während des Reaktionstests mit 3,68 μS bei den Frauen und 6,81 μS bei den Männern. Die geschlechtsspezifischen SCL-Mittelwerte unterschieden sich von den Angaben von Venables & Mitchell (56) mit 2,59 μS bei den Frauen und 2,22 μS bei den Männern. Die vorliegenden SCL-Werte der Frauen entsprachen den genannten annähernd, jedoch zeigten die Männer im Vergleich deutlich höhere Werte. Der Geschlechtsunterschied hatte folglich eine entgegengesetzte Ausprägung. Möglicherweise ist das geringere Alter der Probanden bei Venables & Mitchell (56) zwischen 5 und 25 Jahren oder der nicht europäische Ursprung der Teilnehmer für den Unterschied verantwortlich. Die Ursache kann auch in den verschiedenen Ableitorten des SCL liegen. Venables & Mitchell (56) verwendeten die mittlere Phalanx des kleinen und Ringfingers der linken Hand, in dieser Arbeit waren die Endglieder von Zeige- und Mittelfinger verwendet worden. Es konnten keine weiteren Arbeiten gefunden werden, welche einen konkreten Vergleich der gemessenen SCL-Werte ermöglichen.

Emotionale Beanspruchung

In der Literatur gilt die elektrodermale Aktivität als relativ sicherer Parameter im Zusammenhang mit emotionaler Erregung (44) (49) (51) (55). An verschiedene Stellen wurde ein Anstieg mit zunehmender Erregung berichtet (35) (56) (57) (119). Auch in der vorliegenden Arbeit wurde ein Anstieg des SCL mit zunehmender Erregung gefunden. Signifikante hohe bis sehr hohe Korrelationen gab es bei Betrachtung der Einzelbilder und Bild 1 der Bildserien. Die Bildserien zeigten keinen signifikanten Zusammenhang. Das SCL steht daher scheinbar insbesondere bei Neuauftreten eines Reizes mit der Erregung in Zusammenhang. Nach längerem Einwirken ähnlich erregend wirkender Bilder erfolgt möglicherweise eine Habituation, so dass bei den Bildserien geringere Korrelationen zwischen SCL und Erregung zu finden waren als bei den Einzelbildern und Bild 1 der Bildserien. Bestätigt wird dieses Verhalten durch den hohen Anteil an positiven intraindividuellen

Korrelationen von 69 % bei den Einzelbildern und einen etwas geringeren Anteil dieser bei den Bildserien von 61 %.

Bei geschlechtsspezifischer Betrachtung zeigten lediglich die Männer beim Anschauen der Einzelbilder signifikante Korrelationen mit der Erregung, dies entspricht den Ergebnissen von Lang et al. (35) und ist wahrscheinlich auf die höhere Reagibilität der Männer also den größeren Anteil an Respondern zurückzuführen. Andere Autoren konnten keine Geschlechtsunterschiede finden (35) (56) (57) (119). Die SCL lagen auch bei erregenden Bildern im Mittel unterhalb des Niveaus der mentalen Belastung.

Insgesamt konnte zwar ein positiver Zusammenhang des SCL mit Erregung festgestellt werden, besonders bei den Männern. Auf Basis der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung und der vorhandenen Literatur wird das SCL dennoch nur als hinweisender, jedoch nicht prädiktiver Parameter für emotionale Erregung gewertet. Insbesondere durch die deutlich geringeren Mittelwerte mit Veränderungen im Hundertstelbereich im Vergleich zu mentaler Belastung mit Veränderungen im Zehntelbereich, die fehlenden Korrelationen von SCL und Erregung bei den Frauen und die potentielle Sensibilisierung durch vorangegangene Reize erscheint der diagnostische Wert des SCL zur Prädiktion emotionaler Beanspruchung nicht gegeben.

Mentale Beanspruchung und Ruhe

In der vorliegenden Arbeit wiesen die SCL der mentalen Belastung im Mittel signifikant höhere Werte auf als die der emotionalen Belastung. Beim Reaktionstest lagen höhere Werte vor als beim Rechentest. Während der Ruhephase wurden die niedrigsten SCL festgestellt.

Die elektrodermale Aktivität spiegelt den sympathischen Einfluss im Organismus wider. Dementsprechend werden hohe SCL mit hoher Sympathikusaktivität und geringe SCL mit geringer Sympathikusaktivität gleichgesetzt (49) (68) (69). Rechentest und Ruhe führten mit einem starken SCL-Abfall innerhalb der ersten vier Minuten zu einer deutlichen Reduzierung der Sympathikusaktivität, die bei Dawson, Schell & Fillion (51) beschriebene Zunahme der elektrodermalen Aktivität während Rechenaufgaben wurde nicht gefunden. In der Ruhephase wurde dieser SCL-Abfall bis Minute 10 fortgesetzt, während des Rechentests kam es hingegen von Minute 4 bis Minute 10 zu einem geringen SCL-Anstieg bzw. zu einem Verweilen des SCL auf dem erreichten mittleren Niveau. Folglich bestand während des Rechentests eine geringe basale Sympathikusaktivität, welche oberhalb derjenigen basalen Sympathikusaktivität während der Ruhephase lag. Dies wird auf die beim Rechentest vorhandene und in der Ruhephase fehlende Beanspruchung zurückgeführt. Während des Reaktionstests fanden sich die höchsten SCL der gesamten Untersuchung und somit die höchste Sympathikusaktivität. Diese war stets höher als beim Rechentest. In den Phasen I und III erfolgte zwar ein Abfall des SCL, dieser war allerdings geringer als beim Rechentest

und erreichte stets ein höheres Niveau als dieser. In Phase II wurde ein Anstieg des SCL verzeichnet. Auf die Andersartigkeit der elektrodermalen Reaktionen innerhalb des Reaktionstests wird im Zusammenhang mit Konzentration und Aufmerksamkeit an anderer Stelle eingegangen (Vgl. Abschnitt 5.4).

Die vorliegenden Ergebnisse widerspiegeln den bereits in der Literatur beschriebenen Zusammenhang von höherer elektrodermalen Aktivität während mentaler Beanspruchung oder mentaler Erregung (49) (51) (55). Dabei scheint es einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Beanspruchung und des SCL zu geben, obwohl es beim Rechentest und beim Reaktionstest keine Korrelationen von Δ SCL mit den NASA-TLX-Bewertungen oder der SAM-Dimension Erregung gibt. Die verschiedenen objektiven zeitlichen Anforderungen bilden sich jedoch in den Messungen deutlich ab.

Die Hautleitfähigkeit gilt als Indikator der Erregung, daher sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass beim Rechentest die Beanspruchungsdimensionen *Geistige Anforderungen* und *Anstrengung* des NASA-TLX mit der Erregung gering aber signifikant korrelieren ($r=,366$, $p=,011$ bzw. $r=,460$, $p=,001$). Möglicherweise bestehen Zusammenhänge der wahrgenommenen *Geistigen Anforderung* und der *Anstrengung* mit dem SCL, obwohl es keine direkten Korrelationen des SCL mit diesen Dimensionen oder mit der Erregung gibt. Andererseits gibt es beim Reaktionstest keine Zusammenhänge von Erregung mit den Beanspruchungsbewertungen, allerdings wird der Reaktionstest mit seinen höheren SCL und Δ SCL als erregender und beanspruchender bewertet als der Rechentest.

5.2.2 Aktivität des *M. corrugator supercili*

Der *M. corrugator* gilt in emotionalen wie in mentalen Belastungssituationen als ein mimischer Muskel mit starker psychophysiologischer Aussagekraft (35) (62) (57). Die Korrugator-Aktivität nahm in der vorliegenden Untersuchung Werte von bis zu 68,94 mV an. Dieser höchste Wert wurde während der Präsentation negativer Bilder gemessen. Hier lagen mit 7,45 mV ebenfalls die höchsten Mittelwerte vor. Während mentaler Belastung wurden Einzelwerte von maximal 19,26 mV im Abschnitt des Rechentests erreicht, der Mittelwert betrug beim Rechentest 4,56 mV, beim Reaktionstest 4,34 mV (Maximalwert 16,73 mV). Möglicherweise kann daher eine Korrugator-Aktivität von mehr als 20 mV mit negativen emotionalen Zuständen gleichgesetzt werden, da während mentaler Belastung solch hohe Werte nicht auftraten. Es wurden in der Literatur keine konkreten Vergleichswerte der Korrugator-Aktivität gefunden (27) (35) (57) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67).

Emotionale Beanspruchung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen, dass der *M. corrugator* ein Indikator der Valenz ist. Mit Zunahme der Negativität eines Bildes kam es zu einer höheren,

mit zunehmender Positivität eines Bildes zu einer niedrigeren Aktivität. Ähnliche Werte fanden sich beispielsweise bei Hamm & Vaitl (27), Bradley & Lang (31), Lang et al. (35) sowie Smith et al. (73). Die hohen und hoch signifikanten Korrelationen der Korrugator-Aktivität mit der Valenz unterstreichen die Bedeutung und den diagnostischen Wert des M. corrugator bei den physiologischen Reaktionen während emotionaler Beanspruchung.

Mentale Beanspruchung

Auch während mentaler Beanspruchungssituationen gilt der M. corrugator als bedeutsam. Es wurde von einem Anstieg der Korrugator-Aktivität bei zunehmender Anstrengung (*mental effort*) berichtet. Ein Abfall trat in Situationen auf, in denen die Anstrengung bzw. Leistung abfiel (63) (65) (67). Dementsprechend stieg die Korrugator-Aktivität während des Rechentests im Mittel kontinuierlich an. Die mittlere Zunahme der Korrugator-Aktivität lag beim Rechentest über der des Reaktionstests, obwohl beim Reaktionstest die per NASA-TLX gemessene Beanspruchung deutlich höher war als beim Rechentest. Da die Dimension *Geistige Anforderung* beim Rechentest höher bewertet wurde als beim Reaktionstest, mag trotz fehlender Korrelation dieser mit der Korrugator-Aktivität ein Zusammenhang zwischen beiden bestehen.

Beim Reaktionstest hingegen kam es lediglich in der langsamen Phase I zu einem Anstieg, in der schnellen Phase II zu einem Abfall und in Phase III zu einem Verweilen der Korrugator-Aktivität auf einem Niveau. So wurden die höchsten Korrugator-Aktivitäten am Ende der Phase I gemessen. Der Anstieg war ähnlich dem Rechentest. Zwei Erklärungsansätze können für die Interpretation dieses Phänomens herangezogen werden. Ein Erklärungsansatz ergibt sich aus der Sicht von Aufmerksamkeit und Konzentration und wird in Abschnitt 5.4 dargelegt. Diesem wird in Zusammenschau mit anderen Arbeiten über Beanspruchung, welche einen Anstieg der Korrugator-Aktivität mit zunehmender Belastung/Beanspruchung berichten, ein größeres Gewicht eingeräumt als dem zweiten im Folgenden erläuterten Erklärungsansatz (64) (65) (66) (67). Dieser ergibt sich aus Überlegungen über die Konvergenzbewegung der Augen.

In Phase I des Reaktionstests mit geringer Anforderung erfolgt die Fokussierung der Augen auf einen Farbpunkt. Über die Konvergenzbewegung der Augen bei Nahakkommodation kann es möglicherweise zu einer messbaren Erhöhung der Korrugator-Aktivität kommen. In Phase II ging diese Fokussierung durch die deutlich erhöhte Reizfrequenz zurück. Zur Erfassung mehrerer rasch aufeinander folgender Farbreize musste nun der gesamte Bildschirm und nicht mehr nur ein Punkt wahrgenommen werden. Somit erweiterte sich das Feld der Aufmerksamkeit, die Nahakkommodation wurde vermindert und es kam zu einem Abfall der Korrugator-Aktivität. So wäre dann nicht mehr die Beanspruchung für einen Anstieg sondern die visuelle Fokussierung auf den Farbpunkt verantwortlich. Diese potentiellen

Einflussfaktoren würden auch die Aussagekraft des Korrugator im Zusammenhang mit dem Rechentest einschränken.

Die starken Korrugator-Aktivitäten während der Ruhephase werden darauf zurückgeführt, dass die Probanden zum Schließen der Augen aufgefordert wurden. Die gemessenen Werte finden daher keine Verwendung in der Diskussion.

5.2.3 Kardiale Aktivität

Das besondere Augenmerk der Erforschung kardialer Aktivität galt in der Psychophysiologie bisher dem Verhalten der Herzfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität (49) (69) (70) (85) (120). Als zu analysierender Parameter wurde für die vorliegende Arbeit die Herzfrequenz ausgewählt. Sie besitzt wegen ihrer Einfachheit möglicherweise eine größere Praxisrelevanz. Auf die Analyse der Herzfrequenzvariabilität wurde auf Grund des begrenzten Umfangs der vorliegenden Arbeit verzichtet.

Emotionale Beanspruchung – Herzratendezeleration und Valenz

Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Herzfrequenzen während der Bildpräsentation entsprachen mit im Mittel 71 bpm der Ruhefrequenz eines gesunden Erwachsenen (49). Danuser (17) fand bei ähnlicher emotionaler Belastung ebenfalls Ruhefrequenzen von ca. 71 bpm. Umweltreize können zu Veränderungen der Herzrate führen. In dieser Arbeit kam es nach Erscheinen eines emotionalen Bildreizes zu einer Herzratendezeleration. Die Herzfrequenzveränderungen lagen bei den Einzelbildern im Bereich von bis zu -2,5 bpm. Ähnliche Ergebnisse gaben Bradley & Lang (31) in ihren Untersuchungen an; Andreassi (49) gab Veränderungen von -2 bis -4 bpm an. Codispoti et al. (57) fanden eine Abnahme bis zu -3,5 bpm. Während der Präsentation der Bildserien als letzter Untersuchungsabschnitt ist die Herzratendezeleration im Vergleich zu den Einzelbildern deutlich verstärkt. Bei Bild 1 der Bildserien erfolgt eine Dezeleration bis zu -9 bpm, bei den gesamten Bildserien bis zu -14 bpm. Bei Bradley & Lang (31) wurde nach wiederholter Präsentation von emotional wirkenden Bildern eine Sensibilisierung der Herzrate beschrieben. So wird auch für die vorliegende Untersuchung nach Anschauen der Einzelbilder eine Sensibilisierung bei den Bildserien angenommen. Bradley & Lang (31) erreichten jedoch nach Sensibilisierung nur eine Dezeleration von bis zu -3 bpm. Der Studie lag jedoch ein anders Design als der vorliegenden zu Grunde.

Die Herzratendezeleration wird im Zusammenhang mit der Emotionsdimension Valenz diskutiert (31) (44) (57) (121). Die stärkste Dezeleration wurde in dieser Arbeit bei negativen und neutralen Einzelbildern gemessen. Bei positiven Einzelbildern war sie geringer ausgeprägt. Nach Sensibilisierung kam es (bei den Bildserien) zur stärksten Dezeleration bei den negativen Bildern und zu einer etwa gleich starken Dezeleration bei positiven und

neutralen Bildern. Bradley & Lang (31), Bradley et al. (44), Codispoti et al. (57) und Bradley et al. (121) fanden ebenso die stärkste Dezeleration bei den negativen Bildern. Bezüglich der positiven und der neutralen Bilder wurden inkonsistente Ergebnisse angegeben. Aus diesem Grund und wegen der nicht eindeutigen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, wird dem Ausmaß der Herzratendezeleration im Zusammenhang mit der Valenz eine untergeordnete Bedeutung beigemessen, jedoch scheint die Negativität einer Emotion eine stärkere Dezeleration auszulösen.

Emotionale Beanspruchung – Mittlere Veränderungen der Herzrate, Erregung und Valenz

Die Dimension Erregung zeigte – allerdings nur bei den Bildserien – einen Zusammenhang mit der Herzaktivität. Bei den Einzelbildern fanden sich keine sinnvollen und konsistenten Ergebnisse, was auf die für die Auswertung der HR zu kurze Stimulusdauer zurückzuführen ist. Je erregender eine Emotion während der Bildserien war, desto mehr fiel die mittlere HR im Vergleich zur Baseline ab. Je beruhigender eine Situation war, desto konstanter blieb die HR und war dementsprechend umso höher. Dies entspricht den Beschreibungen in der Literatur (31) (35) (55) (72). Die Relevanz dieser Ergebnisse ist jedoch eingeschränkt durch einen ähnlich hohen Anteil an negativen und positiven intraindividuellen Korrelationen von HR und Erregung.

Bei Analyse des Zusammenhangs der mittleren HR mit Valenz konnten keine relevanten Korrelationen nachgewiesen werden. Die Unsicherheit der HR im Zusammenhang mit emotionaler Erregung und Valenz spiegelt sich auch in der Literatur wider. Es gibt Hinweise auf inkonsistente Ergebnisse untereinander wie im Vergleich zu den vorliegenden Ergebnissen. Danuser (17) stellte bei Bildpräsentationen mit einer Stimulusdauer von 30 Sekunden weder einen Zusammenhang der HR mit Erregung noch mit Valenz fest. Während der Präsentation von emotional wirkenden Bildern mit einer Dauer von jeweils 6 Sekunden konnten Lang et al. (35) zwar einen signifikanten Zusammenhang der HR mit Valenz beschreiben; dieser beinhaltete aber nur einen geringen Anteil an signifikanten intraindividuellen Korrelationen. Zusätzlich fanden sie einen geringen Zusammenhang mit Erregung. Bradley et al. (44) beschrieben einen fehlenden Zusammenhang der HR mit Valenz. Die Dimension Erregung wurde nicht beschrieben. Bradley et al. (121) fanden bei einer Stimulusdauer von mehr als 4 Minuten mit Bildern à 6 Sekunden gefolgt von jeweils einer Pause à 6 Sekunden keinen Zusammenhang mit Valenz; Erregung wurde nicht beschrieben. Bei Bradley et al. (119) finden sich deutliche Hinweise zur Notwendigkeit einer Geschlechtsdifferenzierung, die vorliegende Arbeit kann keine deutlichen Geschlechtsunterschiede beim Verhalten der HR und der HR-Dezeleration feststellen.

Auf Basis dieser Betrachtungen wird die HR nur bei ausreichend langer Stimuluspräsentation wie sie bei den Bildserien vorlag als eingeschränkt hinweisender Parameter für emotionale

Erregung gewertet. Aufgrund der nur minimalen mittleren Frequenzänderungen im Bereich von -2 bis -4 bpm und der teilweise entgegengesetzten Aussagen der Literatur scheint jedoch die HR kein praxisrelevanter Parameter zur Analyse emotionaler Beanspruchungssituationen. Insbesondere die Passivität der Situation ist möglicherweise verantwortlich für die geringe Aussagekraft der HR bei experimenteller emotionaler Belastung.

Mentale Beanspruchung

Die Herzfrequenz widerspiegelt den Einfluss des vegetativen Nervensystems im Organismus (49) (68) (69). Herzfrequenzen von über 80 bpm weisen auf eine verminderte parasympathische Aktivität hin (49). Herzfrequenzen über 100 bpm repräsentieren neben der abnehmenden parasympathischen Aktivität in der Regel eine zusätzliche erhöhte sympathische Aktivierung des Organismus (49). Höhere Herzfrequenzen wurden bei zunehmender allgemeiner zentraler Aktiviertheit während herausfordernder Belastungs-/Beanspruchungssituationen (6) (17) bzw. in aktiven Coping-Situationen (19) berichtet.

Die in der vorliegenden Untersuchung während des Rechentests und des Reaktionstests gemessenen Herzfrequenzen lagen deutlich oberhalb der Ruhefrequenz eines Erwachsenen. Während des Rechentests mit Frequenzen von 87 bpm findet sich folglich ein Zustand abnehmender parasympathischer Aktivität und somit ein zunehmendes relatives Überwiegen der sympathischen Aktivität. Im Verlauf des Rechentests kommt es auf diesem höheren Niveau zu einem kontinuierlichen leichten Abfall der HR. Somit erfolgt im Verlauf des Rechentests eine leichte Reduktion der sympathischen Dominanz, welche allerdings immer deutlich über dem Niveau einer Ruhephase bleibt.

Während des Reaktionstests kommt es in den Phasen I und II zu einem deutlichen Anstieg der HR. In Phase III stagniert die HR auf einem erhöhten Niveau. Durch den massiven HR-Anstieg werden mittlere Frequenzen von 109 bpm erreicht. Während des Reaktionstests kann folglich neben der abnehmenden parasympathischen Aktivität ein deutlicher Zuwachs des sympathischen Anteils konstatiert werden, möglicherweise kann in Phase II bereits von einem Strain Coping gesprochen werden. Diesem liegt sicherlich auch eine Form des Zeitdrucks zu Grunde. Bereits Nickel et al. (122) beschrieben einen HR-Anstieg in solchen Situationen. In Untersuchungen von Flugsituationen wurden bei Piloten Herzfrequenzanstiege auf bis zu ca. 102 bpm verzeichnet (18). Bei diesen handelt es sich am ehesten um Situationen der Aufmerksamkeit und des psychischen Stress möglicherweise vergleichbar mit der Situation der Phase II des Reaktionstests.

Danuser (17) gab während eines Tests der konzentrierten Aufmerksamkeit (mit im Vergleich zum Reaktionstest höherem Konzentrationsanteil) lediglich einen Anstieg von ca. +2,5 bpm und lag somit deutlich unterhalb der in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Werte des Reaktionstests. Rohwerte wurden nicht angegeben. Eventuell lag dieser geringe Anstieg

bei Danuser (17) an dem deutlich höheren Anteil der Konzentration des dort verwendeten Tests, welcher somit eventuell eine Zwischenstufe zwischen vorliegendem Reaktionstest und Rechentest also zwischen konzentrierter Aufmerksamkeit und Konzentration abbildete.

In Zusammenschau der erhobenen Ergebnisse und der Literatur stellt sich die Herzfrequenz als ein deutlicher Spiegel mentaler Beanspruchung dar. Insbesondere scheinen, trotz fehlender Korrelationen von ΔHR mit den Bewertungen des NASA-TLX, direkte Zusammenhänge der Höhe der Beanspruchung mit der HR zu bestehen. Die in der vorliegenden Arbeit fehlende Erhebung der Beanspruchungsbewertung für jede einzelne Phase des Reaktionstests lässt hierzu keine genauere Aussage zu. Da die HR die Aktivität des vegetativen Nervensystems abbildet, wird sie eher der erregenden bzw. aktivierenden Komponente einer mentalen Beanspruchung zugeordnet, welcher in der vorliegenden Untersuchung stärker bei der Aufmerksamkeitsbelastung des Reaktionstests als bei der Konzentration des Rechentests beobachtet wurde. Möglicherweise steht die HR auch mit dem objektiven Zeitdruck in Verbindung. Zur weiteren Konkretisierung können in zukünftigen Arbeiten Rechentest und Reaktionstest bzw. andere Tests von Konzentration und Aufmerksamkeit in verschiedenen Tempi analysiert werden. Zu beachten ist dabei eine ausreichende Testlänge von mindestens 3 Minuten, da in den einzelnen Phasen des Reaktionstests aber auch während der 10 Minuten des Rechentests noch kein Steady-State erreicht wurde.

Wie bereits Roscoe (123) aufführt, bestätigt sich bei der Messung der Veränderungen der Herzfrequenz die Notwendigkeit der Erhebung einer Baseline, um die relativen Veränderungen der Herzfrequenz zu ermitteln und nicht nur die Rohwerte zu erheben. Hieraus können zusätzlich Aussagen über die Beanspruchung abgeleitet und verschiedene Aktivitäten miteinander verglichen werden. Für diese Aussagen sollte vergleichend immer auch die HR einer Ruhephase erhoben werden.

5.2.4 Atmungsaktivität

Die Parameter Atemfrequenz und -amplitude von Bauch- und Brustatmung ändern sich in Abhängigkeit von der psychischen Beanspruchung. Die abdominelle Atmung zeigte zwischen emotionaler und mentaler Beanspruchung deutlichere Unterschiede in der Amplitude, die Brustatmung deutlichere Unterschiede in der Frequenz. Die abdominelle Atemamplitude wies bei emotionaler Belastung die höchsten Werte der gesamten Untersuchung auf.

Emotionale Beanspruchung

Die verschiedenen Emotionsdimensionen waren ohne erkennbaren Einfluss auf die Atmung. Die in der Literatur relativ einheitlich berichtete Zunahme der Atemfrequenz bei Betrachtung erregender Bilder (75) (77) wurde nicht gefunden. Im Verlauf der Bildpräsentationen zeigten

sich inkongruente, nicht verwertbare Ergebnisse im Verhalten von Atemfrequenz und Atemamplitude (Vgl. Abschnitt 4.6.1). Bereits in der Literatur wurde im Zusammenhang mit emotionaler Valenz inkongruent berichtet (77) (55). Somit werden keine Zusammenhänge der Emotionsdimensionen mit der Atmung angenommen

Möglicherweise ist dieser fehlende Zusammenhang zurückzuführen auf die Theorie über Zunahme der Atemtiefe bei Durchleben einer Erregung und Abnahme der Atemtiefe bei Unterdrückung dieser Erregung (77) (Vgl. Abschnitt 2.5.4). Ein Teil der Probanden der vorliegenden Untersuchung mag in der beobachteten Situation während der Durchführung die erlebte Erregung unterdrückt und somit flacher geatmet haben. Ein anderer Teil mag die Erregung durchlebt und somit tiefer geatmet zu haben. So heben sich möglicherweise die entsprechende Zu- oder Abnahme der Atemtiefe bei der Mittelwertbildung in der vorliegenden Untersuchung auf. Unterstützt wird diese Annahme durch einen ähnlich hohen Anteil an positiven wie negativen intraindividuellen Korrelationen. Ähnlich Verhält es sich mit der Herzfrequenz. Eine Differenzierung von Durchleben und Unterdrücken einer erfahrenen Erregung kann nur durch Erweiterung der verwendeten Verfahren z.B. durch einen entsprechenden Fragebogen vorgenommen werden.

Mentale Beanspruchung

Die mentale Beanspruchung führte im Gegensatz zur emotionalen Beanspruchung zu verwertbaren Zusammenhängen mit den Atemparametern. Beim Rechentest verhielt sich die Atmung ähnlich der Ruhephase jedoch auf einem höheren Niveau. Die abdominale und thorakale Atemfrequenz sanken innerhalb der ersten vier bis fünf Minuten und stiegen dann wieder auf den Ausgangswert an. Die Atmung zeigt durch dieses Frequenzverhalten mit Abfall und Anstieg wie in der Ruhephase möglicherweise die Abwesenheit von Erregung an. Das höhere Niveau bildet die mentale Belastung während der Durchführung der Aufgabe ab, wie sie zahlreiche andere Autoren berichten (17) (79). Die Brustatemamplitude änderte sich während des Rechentests wie auch während der Ruhephase nicht. Ähnlich wurde bei der Durchführung von arithmetischen Aufgaben aber auch in Ruhephasen an anderer Stelle eine relativ flache Atemamplitude berichtet (124) (125).

Während des Reaktionstests liegen stärkere Veränderungen der Atemparameter vor als in allen anderen Untersuchungsabschnitten. Die Brustatemamplitude, welche beim Rechentest nahezu konstant blieb, reagierte ab Phase II des Reaktionstests mit einem Anstieg. Die stärksten Veränderungen jedoch wies die Atemfrequenz, insbesondere die Brustatemfrequenz auf. Hier kam es in Phase I und II zu einem ausgeprägten Anstieg und in Phase III belastungsentsprechend zu einem geringen Abfall auf hohem Niveau. Der Reaktionstest zeigte also eine deutlich tiefere und schnellere thorakale Atmung als der Rechentest und die Ruhephase. Die Bauchatemamplitude zeigte keine wesentlichen Unterschiede zum

Rechentest. Dies unterstützt die Ausführungen von Boiten et al. (77), welche eine tiefe und schnelle Atmung bei durchlebter ungerichteter Erregung und eine betonte thorakale Atmung bei Angespanntheit berichteten. Beide Zustände sind während der mentalen Beanspruchung des Reaktionstests anzunehmen. Auch Danuser (17) und Wientjes et al. (79) berichteten von einer milden Hyperventilation durch Zunahme von Atemfrequenz und -amplitude bei mentaler Beanspruchung und deuteten die Atmung in diesem Zusammenhang als ‚Stressindikator‘. An anderer Stelle wird von einer Zunahme von Atemfrequenz und -amplitude mit gesteigerter Aufgabenschwierigkeit oder bei erhöhter Aufmerksamkeitsbelastung berichtet (17) (71) (79). Das Verhalten der Atemparameter beim Rechentest und Reaktionstest ist folglich mit den in der Literatur angegebenen Ergebnissen kongruent. Ihm wird daher bei erhöhten zeitlichen Anforderungen, gesteigerter Aufmerksamkeit und Wachheit ein prädiktiver Wert zugeordnet. Da die Atmung einer großen Zahl an Steuermechanismen unterliegt, bleibt unklar, ob die Regulation durch Einflüsse des vegetativen Nervensystems oder durch zentrale Prozesse erfolgt.

5.2.5 Frontalhirn-Aktivität

Die mittels Nahinfrarotspektroskopie ermittelte Frontalhirn-Aktivität ist in der psychophysiologischen Forschung ein relativ neuer Parameter. In der vorliegenden Untersuchung zeigten sich messbare Veränderungen der Aktivität insbesondere unter mentaler Belastung. Die während der Bildpräsentation gemessenen Werte waren die niedrigsten der gesamten Untersuchung. Es konnte kein Zusammenhang der Frontalhirn-Aktivität mit den Dimensionen des SAM gefunden werden.

Mentale Beanspruchung

Während des Rechentests kam es innerhalb der ersten Minuten zügig zu einem deutlichen Anstieg des HEG-Quotienten auf ein Niveau, das die folgenden Minuten in etwa beibehalten wurde. So konnten während des Rechentests die höchsten Frontalhirn-Aktivitäten der gesamten experimentellen Erhebung gemessen werden. Während des Reaktionstests wurden in Phase I keine Änderungen des HEG-Quotienten festgestellt. In Phase II hingegen erfolgte ein deutlicher Anstieg. In Phase III wurde das zuvor erreichte Niveau beibehalten. Dies entspricht den Ausführungen von Hermann, Ehrlis & Fallgatter (126), die von einer Zunahme der Frontalhirnaktivität während kognitiver Aufgaben berichteten. Villringer et al. (92) beschrieben entsprechend eine Zunahme der Frontalhirn-Aktivität während Rechenaufgaben. Auch andere Autoren konnten eine Zunahme der Aktivität bei Konzentration bzw. bei Aufmerksamkeit oder Wachheit (*alertness*) feststellen (83) (84). Insofern bestätigen die Untersuchungsergebnisse, dass eine Zunahme der Frontalhirn-Aktivität als Indikator von mentaler Belastung und von Wachheit interpretiert werden kann.

Es gibt zwei mögliche Ursachen, auf die diese Aktivitätszunahme in Phase II und III des Reaktionstests zurückzuführen sein kann. Zum einen ist es die Aufgabe des präfrontalen Cortex, welcher für die Integration von Reizen verantwortlich ist (39) (83) (84). Zum anderen bewirkt möglicherweise der erhöhte Zeitdruck und somit eine Stresssituation – vielleicht auch durch eine massive Steigerung der Herzfrequenz via N. vagus – eine Steigerung der Frontalhirndurchblutung (76) (127). Die sofortige Zunahme der Frontalhirndurchblutung während des Rechentests hingegen kann auf die Beteiligung des präfrontalen Cortex an allen kognitiven Prozessen zurückzuführen sein (81) (82) (83). Diese Unterschiede der Reaktionen des Frontalhirns auf Rechentest und Reaktionstest wie auch die diskutierten ursächlichen Mechanismen mögen ein zusätzlicher Baustein für die Notwendigkeit der Unterscheidung von Aufmerksamkeits- und Konzentrationsprozessen in weiterführenden Untersuchungen sein (Vgl. Abschnitt 5.4).

Etwas unsicher ist die Integration der relativ hohen Messwerte der Frontalhirn-Aktivität während der Ruhephase. Dies wird dahingehend interpretiert, dass nach der langfristigen Beanspruchung während der Untersuchung eine Regeneration durch vermehrte Durchblutung im Frontalhirn erfolgt. Hier müssen jedoch weitere Studien durchgeführt werden. Auffällig sind insbesondere die hohen Ruhewerte bei den Frauen. Möglicherweise ist dies in Zusammenhang mit den beim weiblichen Geschlecht häufiger anzutreffenden Cephalgien nach und bei Belastung zu werten (94) (9).

Für die Frontalhirn-Aktivität zeigt sich beim Reaktionstest, je höher die *Geistige Anforderung* eingeschätzt wurde, desto geringer war der mittlere Anstieg der HEG-Ratio. Möglicherweise erscheint eine verminderte Fähigkeit der Erhöhung der Frontalhirndurchblutung in einer subjektiv verstärkt wahrgenommenen geistigen Beanspruchung. In weiteren Studien kann ein Zusammenhang zwischen Frontalhirndurchblutung und Leistungsfähigkeit untersucht werden.

5.3 Einfluss von Persönlichkeitsfaktoren

5.3.1 Extraversion und Emotionalität

Die Frauen wiesen in der vorliegenden Untersuchung entgegen der Normalbevölkerung eine höhere emotionale Stabilität auf als Männer. Zusätzlich wiesen die Frauen einen annähernd gleichen Extraversionegrad auf, obwohl in der Normalbevölkerung höhere Werte bei Männern vorliegen (99). Die weiblichen Upn waren folglich extrovertierter und weniger emotional als die Frauen der Normalbevölkerung. Möglicherweise liegt dieses Verhalten an der ungleichen Altersverteilung oder des höheren Bildungsgrades der Stichprobe. Die an der vorliegenden Untersuchung teilnehmenden Frauen wiesen ein höheres mittleres Lebensalter auf als die Männer. Schon bei Bradley & Lang (31) wurde darauf hingewiesen, dass mit zunehmenden Lebensalter Veränderungen in der emotionalen Wahrnehmung auftreten und somit

möglicherweise auch in den Persönlichkeitsdimensionen *Extraversion* und *Emotionalität*. In der Untersuchung von Burk (52) konnte allerdings keinen Hinweis auf eine höhere emotionale Stabilität im Zusammenhang mit höherem Alter finden. In zukünftigen Untersuchungen ist die Verwendung einer größeren und in Bezug auf Alter und Geschlecht homogenen Stichprobe zu empfehlen. Dann ist eine größere Verlässlichkeit der Daten gegeben. Zusätzlich sind dann während der Analyse Unterteilungen in weitere Untergruppen nach Persönlichkeitsfaktoren möglich.

5.3.2 Responder-Typen (Sympathische Reagibilität)

Bei der Analyse der Daten wurde unter Berücksichtigung älterer Arbeiten (52) (97) eine Einteilung in drei Responder-Typen gewählt: Responder, Zwischen-Responder und Non-Responder. Frauen zeigten eher niedrige Hautleitfähigkeitslevel. Sie wurden daher den Zwischen- und Non-Respondern zugewiesen. Bei den Männern lagen höhere Hautleitfähigkeitslevel vor. Es erfolgte daher eher eine Zuordnung zu den Respondern. Dies widerspricht den Ergebnissen von Venables & Mitchell (56), welche höhere Hautleitfähigkeitslevel bei den Frauen als bei den Männern fanden. Dieser Unterschied erklärt sich möglicherweise durch die ungleiche Altersverteilung des Kollektivs der vorliegenden Untersuchung zu Gunsten höheren Lebensalters bei den Frauen bzw. des insgesamt höheren Lebensalters. Venables & Mitchell (56) untersuchten im Mittel deutlich jüngere Teilnehmer. Burk (52) fand in seiner Arbeit allerdings keinen Hinweis auf eine geringere elektrodermale Reaktivität im Zusammenhang mit höherem Alter. Er betrachtete jedoch im Gegensatz zu dieser Arbeit die phasische an Stelle der tonischen elektrodermalen Aktivität.

Betrachtet man den Zusammenhang der Responder-Typen mit den Persönlichkeitsmerkmalen *Emotionalität*, zeigt sich, dass die Frauen der vorliegenden Stichprobe mit tendenziell niedrigem Hautleitfähigkeitslevel einen geringeren Grad der Emotionalität aufwiesen als die Frauen der Normalbevölkerung. Dies entspricht den Ausführungen von Cacioppo et al. (97), welche emotional stabilen Personen auf Grund einer allgemein verringerten Reagibilität ein geringeres Hautleitfähigkeitslevel zuschrieben.

Des Weiteren zeigten die Frauen der vorliegenden Stichprobe einen größeren Grad der *Extraversion* als die Frauen der Normalbevölkerung parallel zu einer höheren Korrugator-Aktivität als die Männer. So können auch hier die Ergebnisse von Cacioppo et al. (97) bestätigt werden, welche bei eher extravertierten emotional stabilen Menschen auf Grund einer Externalisierung von Erregung an Stelle einer internen sympathischen Reaktion niedrige Hautleitfähigkeitswerte und Hohe Werte der Korrugator-Aktivität propagieren.

Da jedoch geschlechtsunabhängig³⁰ kein direkter Zusammenhang der Dimensionen *Emotionalität* oder *Extraversion* mit den Responder-Typen oder dem Hautleitfähigkeitslevel bestand; sondern im Gegenteil Extravertierte in der vorliegenden Arbeit höhere Hautleitfähigkeitslevel als Introvertierte zeigten, kann keine widerspruchsfreie Schlussfolgerung vorgenommen werden. In zukünftigen Untersuchungen sollte in einem größeren Kollektiv an einer in Bezug auf Alter, Geschlecht und Persönlichkeitsfaktoren homogenen Stichprobe ein intensiver Gegenstand der Forschung sein, da die Sensibilität und Reagibilität der elektrodermalen Aktivität und in diesem Zusammenhang des sympathischen Nervensystems von wesentlichem Interesse für die Gesundheit des Menschen ist. Es wird davon ausgegangen, dass die unterschiedliche Reagibilität der Responder-Typen nicht nur bei der elektrodermalen Aktivität auftritt, sondern auch einen Einfluss auf andere physiologische Parameter hat (22). Die erhöhte kardiovaskuläre Mortalität bei den Männern steht möglicherweise im Zusammenhang mit den in der vorliegenden Untersuchung bei diesen gemessenen höheren Hautleitfähigkeitsleveln (Responder) und der damit verbundenen höheren sympathischen Reagibilität (22).

5.4 Integration der Ergebnisse in die bestehenden Modelle von Belastung und Beanspruchung

Das Verhalten der verschiedenen physiologischen Parameter kann in Zusammenhang mit emotionaler und mentaler Beanspruchung gebracht werden. Folgender Abschnitt integriert die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung in die bestehenden Konzepte von psychischer Belastung und Beanspruchung. Hierbei werden zum ersten die Zustände von aktivem und passivem Coping unterschieden. Aktives Coping beschreibt Situationen, welche der Mensch durch aktives Eingreifen beeinflussen kann bzw. auf die er mit einer Handlung reagiert. Passives Coping beschreibt Situationen, in denen ein aktives Eingreifen und Handeln nicht möglich ist. Wesentlicher physiologischer Effektor ist in diesen Zusammenhängen das vegetative Nervensystem. Es spiegelt sich in den Hautleitfähigkeitswerten, den Atemparametern und der Herzfrequenz wider. Zum zweiten werden die Komponenten mentaler Belastung – Aufmerksamkeit und Konzentration – als verschiedene Formen des aktiven Coping betrachtet. In diesem Zusammenhang wird zusätzlich auf die Korrugator- und die Frontalhirn-Aktivität eingegangen.

³⁰ Eine genaue Analyse der genannten Responder-Typen und der psychologischen Persönlichkeitstypen bezüglich des Verhaltens der physiologischen Parameter war auf Grund der geringen Gruppengröße nicht möglich.

5.4.1 Aktives und Passives Coping

Passives Coping während emotionaler Belastung

Emotionale Belastung mit Hilfe von Bildern kann der Situation des passiven Coping zugeordnet werden. Die Probanden der Untersuchung besaßen keine Möglichkeit des aktiven Eingreifens in die emotionale Situation. Die Herzfrequenz unterlag während der Bildpräsentationen einer deutlichen Dezeleration. Dies widerspiegelt einen parasympathischen Einfluss (49) (69). Sie wurde bereits typischerweise in Situationen beschrieben, in denen ein aktives Eingreifen nicht möglich war (35) (55) (72). Die für Situationen des passiven Coping typische paradoxe gleichzeitige Zunahme von sympathischer Aktivität wird jedoch nicht sicher gefunden. Zwar kann als Spiegel einer sympathischen Aktivierung die insbesondere abdominell vertiefte Atemamplitude gewertet werden, welche zu einer Vergrößerung des Atemzugvolumens führt. Jedoch wurde in der vorliegenden Arbeit keine wesentliche Zunahme bzw. Änderung der Hautleitfähigkeitswerte und der Atemfrequenz gemessen, so dass eine sympathische Reaktion nicht sicher bestätigt werden kann.

Aktives Coping während mentaler Beanspruchung

Der Rechentest und der Reaktionstest entsprechen Situationen des aktiven Coping – die an die Untersuchungsperson gestellte Aufgabe wird mittels aktiven Einwirkens gelöst. Es kam daher mit im Vergleich zur Bildpräsentation und zur Ruhephase erhöhten Werten bei Herzfrequenz, Hautleitfähigkeitslevel und Atemfrequenz zu einer Aktivierung des Sympathikus wie sie für Situationen des aktiven Coping typisch ist (16). Konkret beschreibt bereits Backs (19) einen Herzfrequenz-Anstieg in Situationen des aktiven Coping. Insbesondere in Phase II des Reaktionstests waren die höchsten Werte der gesamten Untersuchung zu verzeichnen. Obige Betrachtungen beziehen sich v.a. auf die Mittelwerthöhe der gemessenen Parameter jedoch nicht auf ihre Veränderungen im Verlauf der Untersuchungsabschnitte. Für eine differenzierte Betrachtung des aktiven Coping während mentaler Belastung werden daher im Folgenden zusätzlich die Begriffe Konzentration und Aufmerksamkeit sowie deren Übergangszustand der konzentrierten Aufmerksamkeit hinzugezogen.

5.4.2 Aufmerksamkeit und Konzentration

Der Rechentest wie auch der Reaktionstest sind zwei Verfahren zur Auslösung mentaler Beanspruchung. Beim Rechentest handelt es sich um eine Konzentrationsbelastung (22) (38). Der Reaktionstest wird vornehmlich den Aufmerksamkeitsbelastungen zugeordnet (39) (42), andere Autoren ordnen ihn der sogenannten konzentrierten Aufmerksamkeit zu (40). Bereits bei Moosbrugger & Goldhammer (40) wurde darauf hingewiesen, dass eine Unterscheidung zwischen Konzentrations- und Aufmerksamkeitsbelastungen erfolgen sollte. In der Forschung

werde auf diese Unterschiede nicht ausreichend eingegangen. In der vorliegenden Untersuchung zeigten sich zwischen Rechentest und Reaktionstest Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Reaktionen der physiologischen Parameter wie auch in den NASA-TLX-Bewertungen. Zunächst wird im Zusammenhang von Konzentration und Aufmerksamkeit auf die Reaktionen des vegetativen Nervensystems in diesen zwei Untersuchungsabschnitten eingegangen. Anschließend erfolgt die Erörterung der Korrugator- und der Frontalhirn-Aktivität.

Wie bereits beschrieben fanden sich sowohl beim Rechentest als auch beim Reaktionstest erhöhte Werte von Herzfrequenz, Hautleitfähigkeitslevel und Atemfrequenz als ein Spiegel der verminderten parasympathischen und der vermehrten sympathischen Aktivierung. Während des Rechentests lagen die Werte auf mittlerem, während des Reaktionstests auf hohem Niveau im Vergleich zu den Abschnitten der Bildpräsentation und der Ruhephase. Hier lag ein geringes Niveau vor. Die höchsten Werte wurden während der Phase II des Reaktionstests gemessen.

Die Herzfrequenzwerte waren in allen drei Phasen des Reaktionstests sehr hoch; es erfolgte ein deutlicher Anstieg in den Phasen I und II und ein leichter Abfall in Phase III. Die Herzfrequenzwerte während des Rechentests hingegen lagen auf einem mittleren Niveau; während des Tests kam es langsam zu einem geringen Abfall. In der Literatur wurde bereits beschrieben, dass ein Anstieg der Herzfrequenz im Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsbelastungen (*external focus*) und ein Abfall der HR im Zusammenhang mit Konzentration bzw. interner Informationsverarbeitung (*internal focus*) steht (46) (22). Insofern zeigte sich auch in dieser Arbeit an der Herzfrequenz die Notwendigkeit einer Unterscheidung der Situationen.

Auch die Hautleitfähigkeitswerte widerspiegeln diese Notwendigkeit. Ein etwas anderes Verhalten dieser macht jedoch die Integration des Begriffes der konzentrierten Aufmerksamkeit als Übergangsphase zwischen Konzentration und Aufmerksamkeit relevant. Mit einer deutlichen Dezeleration auf mittlerem Niveau ähnlich der Herzfrequenz bestätigt die Hautleitfähigkeit den Rechentest als Konzentrationsaufgabe mit internem Fokus. Ihr Anstieg in Phase II des Reaktionstests bestätigt diesen als Aufmerksamkeitsaufgabe mit externem Fokus. In den Phasen I und III jedoch fiel das Hautleitfähigkeitslevel im Gegensatz zur Herzfrequenz ab. Dies erfolgte in einem geringeren Ausmaß als während des Rechentests. Diese Zwischenform der Reaktion ist also möglicherweise hinweisend darauf, dass Phase I und III des Reaktionstests der konzentrierten Aufmerksamkeit zuzuordnen sind. Durch die Reaktionen des M. corrugator wird diese Vermutung bestärkt.

Der M. corrugator scheint zwischen den Zuständen der Konzentration, der konzentrierten Aufmerksamkeit und der Aufmerksamkeit zu unterscheiden. Der Rechentest führte wie die Phase I des Reaktionstests zu einer deutlichen Zunahme der Korrugator-Aktivität. Phase II

des Reaktionstests führte zu einem Abfall der Korrugator-Aktivität. In Phase III kam es zu einer Stagnation auf mittlerem bis hohem Niveau. Der Korrugator widerspiegelt im Rechentest die reine Konzentration. Die Korrugator-Aktivität im Reaktionstest widerspiegelt konzentrierte und reine Aufmerksamkeit.

In der langsamen Phase I des Reaktionstests kann sich der Proband auf den Farbpunkt auf den Bildschirm fokussieren, den Reiz verarbeiten und die entsprechende Taste betätigen. Dieser Prozess benötigt eine Informationsverarbeitung und beinhaltet somit Anteile von Konzentration. Es kommt zu einem Anstieg der Korrugator-Aktivität. Der darauffolgende Abfall in Phase II kann dadurch begründet werden, dass die Reizverarbeitung nicht mehr bewusst sondern – durch das hohe Tempo – zu einem größeren Anteil unbewusst erfolgt. Die Wahrnehmung rückt in den Vordergrund, hingegen die interne Reizverarbeitung in den Hintergrund. Somit verändert sich die konzentrierte Aufmerksamkeit aus Phase I in überwiegende Aufmerksamkeit in Phase II. In Phase III ist möglicherweise auf Grund eines mittleren Tempos, welches eine bewusste Reizverarbeitung ermöglicht, erneut der Zustand der konzentrierten Aufmerksamkeit mit einem etwas anderen Verhältnis der Konzentration und der Aufmerksamkeit als in Phase I zu finden. Die Untersuchungsergebnisse der Frontalhirn-Aktivität lassen sich nicht in diese Modelle integrieren.

Die von Moosbrugger & Goldhammer (40) geforderte Notwendigkeit der Unterscheidung von Konzentration und Aufmerksamkeit wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass während des Rechentests als Konzentrationsaufgabe ein abnehmender parasympathischer und zunehmender sympathischer Einfluss bestand mit Herzfrequenz, Hautleitfähigkeitslevel und Atemfrequenz auf mittlerem Niveau. Die Korrugator-Aktivität wies auf die hohe Konzentration hin. Während Phase II des Reaktionstests mit reiner Aufmerksamkeitsbelastung fanden sich die höchsten Werte von Herzfrequenz, Hautleitfähigkeitslevel und Atemfrequenz und somit eine deutliche sympathische Dominanz. Die Korrugator-Aktivität war fallend; es gab keine Anteile der Konzentration. Die Phasen I und III des Reaktionstests als Aufgaben der konzentrierten Aufmerksamkeit zeigten Mischformen o.g. physiologischer Reaktionen. Das Niveau der Herzfrequenz, Hautleitfähigkeitslevel und Atemfrequenz war geringer als in Phase II. Die Korrugator-Aktivität nahm mittlere Werte an und war steigend.

5.5 Schlussfolgerung: Prädiktiver Wert physiologischer Parameter

In der psychophysiologischen Forschung ist es Ziel, in den physiologischen Parametern einen prädiktiven Wert für psychische Belastung und Beanspruchung zu finden, um daraus für die Arbeitswelt relevante Messverfahren zu entwickeln. Die Untersuchungen auf diesem Gebiet im Zusammenhang mit physiologischen Parametern beziehen sich überwiegend auf die

Prädiktion von Belastung also auf die potenzielle Vorhersagbarkeit einer Belastungsart durch Messung physiologischer Parameter und erbrachten keine praxisrelevanten Zusammenhänge (128) (129) (17) (122). In der vorliegenden Untersuchung kann einzelnen physiologischen Parametern in bestimmten Zusammenhängen ein diagnostischer Wert bezüglich der Belastungsart zugesprochen werden.

Von größerer Relevanz erscheint aber das Gesamtbild der physiologischen Parameter. Dies liegt nicht nur begründet im sich ergänzenden Abbild körperlicher Vorgänge durch verschiedene Parameter. Beispielsweise bildet sich das vegetative Nervensystems durch die elektrodermale Aktivität als Spiegel des Sympathikus und durch die kardiale Aktivität als Spiegel des Sympathikus und des Parasympathikus deutlich umfangreicher ab. Zusätzlich resultiert dies aus unterschiedlichen Formen von Belastung und Beanspruchung mit entsprechend der Anforderung unterschiedlichen notwendigen physiologischen Reaktionen. Neben den Formen der emotionalen und der mentalen Belastung/Beanspruchung werden das aktive und passive Coping unterschieden. Hinzukommend zeigte sich als Bestandteil des aktiven Coping bei mentaler Belastung die Unterscheidung von Konzentration und Aufmerksamkeit als relevant. Diese verschiedenen Formen der Beanspruchung werden modifiziert durch den Zeitrahmen in dem sie wirken.

Das Ausmaß der physiologischen Reaktionen und der Beanspruchung ist individuell unterschiedlich. Es können daher keine konkreten Zahlen für eine Erhebung angegeben werden. Möglicherweise können durch individuelles Mapping mit Hilfe verschiedener Tests Individualwerte für maximale, mittlere und minimale Beanspruchung ermittelt werden und dann Anwendung finden.

Passive emotionale Beanspruchung

Trotz der signifikanten Korrelationen des Hautleitfähigkeitslevels mit der emotionalen Erregung während der Bildpräsentationen kann diesem bei passiver emotionaler Belastung kein prädiktiver Wert zugesprochen werden. Dies liegt insbesondere an seinen nur marginalen Veränderungen im Hundertstel-Bereich wohingegen während mentaler Belastung Veränderungen im Zehntel-Bereich gemessen wurden. Auch Herzrate, Atemfrequenz und Frontalhirn-Aktivität sind nicht hinweisend auf eine emotionale Situation. Im Vergleich zur Ruhephase gab es keine wesentlichen Mittelwertunterschiede.

Hingegen sind Atemtiefe und Korrugator-Aktivität -von Interesse. Im Vergleich zu mentaler Belastung aber auch zur Ruhephase zeigte sich während der Bildpräsentation betont abdominell eine größere Atemamplitude. So ist anzunehmen, dass auch im Umkehrschluss bei der Messung einer größeren Atemamplitude von einer emotionalen Situation ausgegangen werden kann und somit eine Indikatorfunktion gegeben ist. Es können an Hand der

Atemamplitude jedoch keine Aussagen zur Art und Weise einer emotionalen Situation gemacht werden.

Die Korrugator-Aktivität ist von noch größerer Relevanz. Relativ sicher prognostiziert sie ab Werten von 20 mV eine negative emotionale Situation. Während mentaler Belastung wurden solch hohen Werte nicht gemessen.

Konzentration während des Rechentests

Die Konzentrationsaufgabe in der vorliegenden Arbeit führte zu einer moderaten Sympathikusaktivierung: Hautleitfähigkeit und Herzrate zeigten höhere Werte als in Ruhe oder bei emotionaler Belastung. Im Verlauf des Rechentests kam es zu einem Abfall beider. Die niedrigsten erreichten Werte lagen oberhalb der Ruhephase und des Abschnittes der Bildpräsentation. Die Atemfrequenz zeigte ebenfalls höhere Werte als in Ruhe oder bei emotionaler Belastung ohne wesentliche Veränderungen im Verlauf des Rechentests. Die interne Fokussierung und Informationsverarbeitung des Rechentests führte zusätzlich zu einer erhöhten Aktivität im Bereich des Stirnschädels. Sowohl Korrugator- als auch Frontalhirn-Aktivität stiegen deutlich an.

Ein Anstieg der Korrugator-Werte kann zwar auch mit negativen Emotionen assoziiert sein, während der Konzentration des Rechentests kam es jedoch nicht zu einem kurzfristigen sondern zu einem deutlich langsameren und kontinuierlichen Anstieg innerhalb von mehreren Minuten. Die Messung kontinuierlich und langsam ansteigender Korrugator-Werte indiziert folglich scheinbar eine Konzentrationsbeanspruchung insbesondere bei einem leicht erhöhten Niveau von Hautleitfähigkeit, Herz- und Atemfrequenz sowie einer von diesem Niveau im Verlauf abfallenden Hautleitfähigkeit und Herzfrequenz als Spiegel leicht erhöhter aber abnehmender Sympathikusdominanz.

Konzentrierte Aufmerksamkeit während des Reaktionstests

Während der Phasen I und III, welche nach den Ausführungen in Abschnitt 5.4 einer konzentrierten Aufmerksamkeit zugeordnet werden, kam es zu einer moderaten bis deutlichen Sympathikusaktivierung: Herz- und Atemfrequenz stiegen moderat bis deutlich an bzw. verweilten auf einem erhöhten Niveau. Im Gegensatz zur reinen Aufmerksamkeitsbeanspruchung in Phase II kam es zu einem leichten Abfall der Hautleitfähigkeitslevel. Dieser war aber weniger stark ausgeprägt als bei reiner Konzentration. Im Bereich des Stirnschädels kam es ähnlich der Konzentration zu einer Erhöhung der Korrugator-Aktivität. Die Frontalhirn-Aktivität jedoch zeigte nur minimale Veränderungen.

Konzentrierte Aufmerksamkeit kann folglich zu einer moderaten bis deutlichen, also im Vergleich zur reinen Konzentration stärkeren, Aktivierung des Sympathikus führen, welche

hinweisend führ die zunehmende Aufmerksamkeit ist, und zu einer geringen Frontalhirnaktivierung in Abhängigkeit des Anteils der Konzentration.

Aufmerksamkeit während des Reaktionstests

Die reine Aufmerksamkeitsbeanspruchung wurde in der vorliegenden Arbeit der Phase II des Reaktionstests zugeordnet. Sie ging mit einer starken Sympathikusaktivierung, also mit einem deutlichen Anstieg von Hautleitfähigkeitslevel sowie Herz- und Atemfrequenz einher. Die Frontalhirn-Aktivität war relativ hoch, obwohl (anders als bei der Konzentration des Rechentests) die Korrugator-Aktivität abfiel. Schlussfolgernd kann reine Aufmerksamkeitsbeanspruchung mit starker Sympathikus- und Frontalhirn-Aktivität bei gleichzeitigem Abfall der Korrugator-Aktivität einhergehen.

Eine Verifizierung oben beschriebener Zusammenhänge während mentaler Belastung sollte in weiteren Untersuchungen der Konzentration, konzentrierten Aufmerksamkeit und Aufmerksamkeit an Hand weiterer mentaler Belastungstests erfolgen. Ein sicherer prädiktiver Wert dieser drei Zustände kann den physiologischen Parametern daher noch nicht zugewiesen werden. Auch die Untersuchung insbesondere für die Arbeitswelt relevanter aktiver emotionaler Situationen sollte in weiteren Arbeiten untersucht werden, um den hier vorgeschlagenen prädiktiven Wert des M. corrugator und auch der Atemtiefe zu überprüfen. Eine erhöhte Sympathikus-Aktivität insbesondere von Herz- und Atemfrequenz scheint immer hinweisend auf die Situation eines aktiven Coping bis Strain Coping zu sein. Eine weitere Erforschung dieser Zusammenhänge ist notwendig und erscheint entgegen den recht hoffnungslos dargestellten Ausführungen Schmidtkes (128) weiterhin sinnvoll. Insbesondere erscheinen eine Angleichung und Vereinheitlichung der Modelle psychischer Belastung/Beanspruchung als notwendige Voraussetzung für weitere Forschungsvorhaben.

5.6 Praktische Relevanz der Messung physiologischer Parameter in Gesundheitsschutz und Leistungsoptimierung

Im Folgenden wird die Erörterung der für das Individuum relevanten Gesundheitsbeeinflussung insbesondere im Hinblick auf eine spezifisch relevante Prädiktion gesundheitlicher Gefährdung vorgenommen. Anschließend erfolgt die Diskussion praxisrelevanter Messungen physiologischer Parameter für den Arbeitsschutz und für die Leistungsoptimierung.

5.6.1 Prädiktion der gesundheitlichen Gefährdung

Verschiedene Belastung beansprucht unterschiedliche körpereigene Reaktionen – zum einen sind es die Reaktionen des vegetativen Nervensystems, zum anderen sind es die expressiven Reaktionen. Des Weiteren sind es Mechanismen der zentralen Informationsverarbeitung.³¹ In Zusammenschau der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit erscheint nicht so sehr die Prädiktion der Belastung/Beanspruchung von wesentlichem gesundheitlichem Interesse sondern die Prädiktion der gesundheitlichen Gefährdung und somit die eigentliche Beanspruchung.

Als Grundlage für eine solche Einschätzung können die motivationalen Reaktionssysteme des Menschen mit ihren Bestandteilen des appetitiven und defensiv-aversiven Systems herangezogen werden. Erholungsfördernd und regenerativ wirkt die Aktivierung des appetitiven Systems. Von gesundheitlich negativer Auswirkung sind langfristige Aktivierungen des defensiv-aversiven Systems (6). Für die Analyse negativ wirkender Beanspruchung kann der Grad der Aktivierung des defensiv-aversiven Systems gemessen werden. Hierzu gehören das Ausmaß der sympathischen Aktivierung, das Ausmaß der mimischen Aktivierung und das Ausmaß der zentralen Informationsverarbeitung (Vgl. Abschnitt 2.4) (46) (36).

Die sympathische Aktivierung kann mit Hilfe von Hautleitfähigkeit, Herzfrequenz und Atemparametern, die mimische Aktivierung kann mit Hilfe des M. corrugator, das Ausmaß der zentralen Informationsverarbeitung kann mit Hilfe der Frontalhirn-Aktivität festgestellt werden. Eine Aussagekraft besitzen jedoch nicht einzelne gemessene Werte sondern der individuelle Verlauf der Aktivität. Eine zunehmende Aktivität weist auf zunehmende Aktivierung des defensiv-aversiven Systems hin; abnehmende Aktivitäten weisen auf eine Entlastung hin. Die absolute Höhe einzelner gemessener Werte ist von geringer Aussagekraft, da es große interindividuelle Unterschiede gibt. Möglicherweise kann hier ein individuelles Mapping (Vgl. Abschnitt 5.5) oder die Erforschung der Persönlichkeitsfaktoren (bspw. Extraversion/Emotionalität sowie Expressivität/sympathische Reagibilität) eine Verbesserung erwirken.

Nicht jeder Mensch zeigt in den entsprechenden Organsystemen die gleiche Sensibilität. Beispielsweise neigen Frauen vermehrt zu Cephalgien und Migräne, Männer hingegen weisen verstärkt Herz-Kreislauferkrankungen auf (130) (9). Bei diesen Personen besteht eine erhöhte Reagibilität der entsprechenden Organsysteme auf eine Beanspruchung. Insofern kann die Messung der sensiblen bzw. bereits erkrankten körperlichen Funktionseinheiten eine Beanspruchung oder Überbeanspruchung aufzeigen. Möglicherweise ist die Messung solcher ausgewählter sensibler Funktionseinheiten auch ausreichend für eine Beanspruchungserhebung, d.h. es müssten nicht immer alle Funktionseinheiten untersucht

³¹ Psychologische Auswirkungen wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht untersucht und werden darum in diesem Abschnitt nicht betrachtet.

werden. Dadurch kann eine gezielte Arbeitsplatzoptimierung und Krankheitsprävention stattfinden.

Eine subjektive Erhebung der Beanspruchung wird als zweitrangig angesehen. Sie setzt eine hohe Motivation voraus und kann verfälscht werden (122). Sinnvoll erscheint sie eher im Hinblick auf psychische Erkrankungen und zum Aufdecken weiterer emotionaler Anteile. Zusätzlich steht die subjektive Wahrnehmung nicht in einem direkten Verhältnis zu körperlichen Reaktionen (Vgl. Abschnitt 4.2.4). Im Folgenden sind Erkrankungen aufgeführt, welche diese entsprechenden psychophysiologischen Zusammenhänge und Beanspruchungen sowie potentiell sinnvolle Einflussmechanismen beispielhaft verdeutlichen.

Vegetatives Reaktionssystem

Personen mit kardialen Vorerkrankungen bzw. Vorerkrankungen im Herz-Kreislauf-System oder einer erhöhten Sensibilität in diesem Bereich³² sollten besondere Rücksicht auf die sympathisch-parasympathischen Reaktionen des Körpers in Belastungssituationen nehmen. Hierzu zählen die Minimierung von Zeitdruck und emotionaler Erregung wie Vermeidung übermäßiger Aufmerksamkeitsbelastungen (6) (131). Ausgleichend können hier den Sympathikus deaktivierende und den Parasympathikus aktivierende Tätigkeiten durchgeführt werden. Ebenso ist bei der Medikation der Erkrankungen eine spezifische Berücksichtigung zu nehmen. Es kann bei frequenzsensiblen Personen die Einnahme von Betablockern sinnvoll sein, bei blutdrucksensiblen Patienten die Einnahme von ACE-Hemmern (132). Männer sind häufiger und schwerer betroffen als Frauen.

Dies spiegelt sich in der vorliegenden Untersuchung mit einer höheren sympathischen Reagibilität bei Männern mit im Vergleich zu Frauen höheren SCL, stärkeren SCL-Anstiegen, höheren Herzfrequenzen und höheren Herzfrequenz-Anstiegen aber auch in den statistischen Kranken- und Todeszahlen (9) wider. Auch für Krankheiten des Magen-Darm-Traktes und der Atemorgane gilt ein Minimieren o.g. Belastungen, da sie ebenso mit einem Ungleichgewicht des Sympathikus-Parasympathikus einhergehen. Bei der Beanspruchungserhebung von Menschen mit Erkrankungen unter Einfluss des vegetativen Nervensystems sind folglich die Messung von Herzfrequenz- und SCL-Veränderungen aber auch von Atemparametern wesentlich.

Reaktionssystem Stirnschädel

Personen, welche häufig unter Migräne oder Kopfschmerzen während oder nach mentaler Belastung leiden, bilden eine weitere Gruppe bei der Beanspruchungserhebung. Hier sind v.a. der M. corrugator und die Frontalhirndurchblutung von Einfluss (94). Ursache von

³² Z.B. erhöhte Reagibilität der Herzfrequenz oder des Blutdrucks.

Kopfschmerzen kann eine Vasodilatation sein, intrazerebrale Vasodilatation kann allerdings auch eine Folge des Kopfschmerzes sein. Auch ein myogener Ursprung von Cephalgien ist bekannt (94) (133).

In der vorliegenden Arbeit wird bei mentaler Beanspruchung und in der anschließenden Ruhephase eine erhöhte Frontalhirn- und Korrugator-Aktivität gemessen. Hieraus können sich die im Zusammenhang mit psychischer Beanspruchung gefundenen Kopfschmerzen erklären. Frauen sind von Migräne und Kopfschmerz häufiger betroffen als Männer (9). Diese erhöhte Inzidenz bei Frauen weist auf einen größeren Einfluss der myogenen Komponente hin, da in der vorliegenden Arbeit höhere Korrugator-Aktivitäten bei den Frauen gemessen wurden. Bei der Beanspruchungserhebung von Menschen mit diesen Erkrankungen erscheint die Messung der Frontalhirn- und insbesondere der Korrugator-Aktivität wesentlich. Eine Minimierung bzw. Entlastung dieser Bereiche kann die Krankenzahlen solcher Erkrankungen verringern. Es sollte auf eine Optimierung der Abläufe mit intermittierender Entlastung der Systeme geachtet werden (134).

5.6.2 Leistungsoptimierung und Arbeitsschutz

Obwohl nur wenige emotionale und mentale Zustände (negative Emotionen, aktives Coping, Strain Coping) mit relativer Sicherheit an Hand physiologischer Parameter erfasst werden können, bestehen an Hand ihrer Messung dennoch für die Analyse von Arbeitsabläufen wesentliche Hinweise. Von Interesse scheinen hier insbesondere negative emotionale Zustände, Konzentrationsbeanspruchung sowie Beanspruchungen, die mit Reaktionen des sympathischen Nervensystems einhergehen.

Negative Emotionen können möglicherweise ab einem Wert von 20 mV in der Korrugator-Region erkannt werden (Vgl. Abschnitt 5.2.2 und 5.5). Dies erfasst nicht alle negativen Emotionen, weist aber auf extreme Emotionen hin. Hieraus ergibt sich eine interessante Möglichkeit den von Darwin als Indikator einer ‚Störung‘ bezeichneten Muskel (62) für die Störungsanalyse in betrieblichen Prozessen zu nutzen. Beispielsweise könnten bei der Überwachung von Prozessabläufen letztere automatisch verlangsamt werden, wenn eine kurzfristige Erhöhung der Muskelaktivität gemessen wird, da mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Störung aufgetreten ist. Bei längerfristiger Erhöhung der Korrugator-Aktivität kann davon ausgegangen werden, dass es sich um eine zunehmende Konzentrationsbeanspruchung handelt. Somit könnte auch hier ab einem individuell festgelegten Grenzwert eine Modifikation am Arbeitsplatz im Sinne von Verlangsamung der Prozesse oder ähnliches erfolgen. Gleiches gilt für die Frontalhirnaktivität bei Konzentrations- und bei Aufmerksamkeitsbelastungen. Ebenso kann bei stark ansteigendem Hautleitfähigkeitslevel oder einer stark ansteigenden Herzfrequenz von einer deutlichen Beanspruchung des Organismus durch starke Aktivierung des sympathischen Nervensystems ausgegangen werden. Zustände mentaler Erregung oder

von Zeitdruck können angenommen werden. In beiden Fällen stellt ebenfalls eine Vergrößerung des Zeitrahmens eine sinnvolle Intervention dar.

Einer längerfristigen deutlichen Aktivitätszunahme der physiologischen Parameter sollte bei mentaler und emotionaler Belastung ausreichende regenerative Pausen folgen (134). So kann längerfristigen Einwirkungen auf das vegetative und zentrale Nervensystem entgegengewirkt werden. Hieraus ergibt sich neben dem Gesundheitsschutz eine Aufrechterhaltung bzw. Steigerung der Leistung. Nicht nur eine adäquate Pausenzeit führt damit zur Ressourcenschonung bzw. Leistungsoptimierung, auch ein Wechsel der Belastungsart trägt hierzu bei (Vgl. 5.1.2).³³ Die Optimierung betrieblicher Prozesse führt so nicht nur zu einer Leistungssteigerung, sie leistet auch einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung der Gesundheit und Verbesserung des subjektiven Wohlbefindens (12).

6 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Untersuchung von subjektiven Parametern der Bereiche emotionales Erleben und Beanspruchungsempfinden während gezielter emotionaler und gezielter mentaler Belastung. Ziel war es, für das Gebiet der Arbeits- und Präventivmedizin Grundlagen zu schaffen, welche der Ermittlung der Beanspruchung mittels physiologischer Parameter dienen. Hierbei wurden die jeweiligen emotionalen bzw. psychischen Belastungen im Hinblick auf das subjektive Empfinden und die physiologischen Reaktionen analysiert. Die Untersuchung hatte zum Gegenstand, einen möglichen prädiktiven Wert der physiologischen Parameter als Ausdruck eines systematischen Zusammenhangs zwischen subjektivem Empfinden, objektiver Belastung sowie Persönlichkeitsfaktoren aufzufinden. Die Beeinflussung körperlicher Reaktionen durch Persönlichkeitsfaktoren konnte jedoch auf Grund der geringen Stichprobenzahl nicht hinreichend untersucht werden.

Die Methode zur Auslösung emotionaler Belastung/Beanspruchung war die Präsentation emotional wirkender Bilder aus dem International Affective Picture System (IAPS). Zur Auslösung mentaler Belastung/Beanspruchung wurden Aufgaben aus dem Wiener Testsystem (WTS) verwendet. Der Rechentest (Arbeitsleistungsserie des WTS) bestand aus einfachen Rechenaufgaben und beanspruchte die Konzentration. Während des Reaktionstests (Determinationstest des WTS) mussten die Probanden auf Farbreize reagieren; die konzentrierte bzw. reine Aufmerksamkeit wurde beansprucht. Die Erhebung des emotionalen Empfindens erfolgte mit Hilfe des Self-Assessment-Manikin (SAM) auf den

³³ Die vorliegende Untersuchung zeigt beispielsweise, dass bei einem Wechsel zwischen emotionaler und mentaler Belastung die wahrgenommene Beanspruchung auf mittlerem bis niedrigem Niveau verweilte. Es zeigten sich keine Hinweise auf Ermüdung oder Überlastung.

Ebenen *Valenz* (positiv/negativ), *Erregung* (ruhig/erregt) und *Dominanz* (submissiv/dominant). Die Erfassung des Beanspruchungsempfindens erfolgte mittels NASA-Task Load Index (NASA-TLX) auf den Ebenen *Geistige*, *Körperliche* und *Zeitliche Anforderung* sowie *Anstrengung* und *Frustration*. Zur Feststellung der körperlichen Reaktionen wurden die elektrodermale Aktivität, die Aktivität des M. corrugator, die Herzfrequenz, die Atemfrequenz und -amplitude von Bauch- und Brustatmung sowie die Frontalhirn-Aktivität gemessen.

Emotionale Belastung und passives Coping während der Bildpräsentationen

Die in der vorliegenden Untersuchung mittels Bildern ausgelöste emotionale Beanspruchung zeigte bei den vegetativen Parametern im Vergleich zu mentaler Belastung die höchsten Werte der Atemamplitude. Dieser Unterschied war so deutlich, dass eine erhöhte Atemamplitude als hinweisend für emotionale Belastung angenommen wird. Möglicherweise widerspiegelt sich hier eine sympathische Reaktion. Die Herzrate erfuhr eine generelle Dezeleration. Es bestand kein Zusammenhang mit den Emotionsdimensionen. Die emotionale Belastung der Bildpräsentationen führte folglich zu einer Aktivierung des Parasympathikus. Die paradoxe Reaktion der gleichzeitigen Aktivierung von Sympathikus und Parasympathikus, wie sie typisch für die Situation des passiven Coping ist, kann nur eingeschränkt bestätigt werden, da während der Bildpräsentation die geringsten Werte von Hautleitfähigkeit, Herzrate und Atemfrequenz gemessen wurden. Dabei zeigte das Hautleitfähigkeitsniveau bei zunehmender Erregung zwar höhere Werte als bei geringer Erregung. Das Ausmaß der Veränderungen lag jedoch in einem geringen Bereich ohne wesentliche Praxisrelevanz und zeigte keinen wesentlichen Mittelwertunterschied im Vergleich zur Ruhephase, so dass ein Zusammenhang nicht angenommen wird. Die Praxisrelevanz einer solchen Situation des passiven Coping ist gering, da im Arbeitsalltag überwiegend eine anschließende Handlung folgt. Dies entspräche einem aktiven Coping und lässt andere physiologische Reaktionen annehmen.

Von größerer Praxisrelevanz erscheint die Feststellung der erhöhten Korrugator-Aktivität bei emotionaler Belastung insbesondere bei negativen Emotionen. Es wurde im Vergleich zu allen anderen Untersuchungsabschnitten die höchsten Werte der Korrugator-Aktivität gemessen, welche einen starken Zusammenhang mit der Valenz aufwiesen. Der M. corrugator kann daher möglicherweise ab Werten von mindestens 20 mV als Indikator einer negativen emotionalen Reaktion oder zumindest einer Störung und somit als prädiktiver Wert angesehen werden. Dieser Zusammenhang wurde als unabhängig von der Situation der Passivität bewertet.

Mentale Belastung, aktives Coping und Konzentration während des Rechentests

Die während des Rechentests gemessenen Werte der physiologischen Parameter lagen bei Hautleitfähigkeit, Herz- und Atemfrequenz zwischen denen der Bildpräsentation und dem Reaktionstest. Der Rechentest führte folglich zu einer moderaten Sympathikusaktivierung bzw. Parasympathikusdeaktivierung. Die kongruente Reaktion der Anteile des vegetativen Nervensystems werden dementsprechend typischerweise der Situation des aktiven Coping zugeordnet.

Die mittleren Korrugator-Werte lagen oberhalb derjenigen beim Reaktionstest und unterhalb derjenigen bei emotionaler Belastung, sogar unterhalb der Werte bei positiv valenten Bildern. Es wurde die höchste Frontalhirn-Aktivität der gesamten Untersuchung gemessen. Beide Reaktionen werden in der vorliegenden Arbeit in Zusammenhang mit der Form der Konzentrationsbelastung gebracht.

Mentale Belastung, aktives Coping und Aufmerksamkeit während des Reaktionstests

Während des Reaktionstests wurden die höchsten Werte und stärksten Anstiege der Hautleitfähigkeit, der Herz- und der Atemfrequenz gemessen. Hier zeigte sich folglich eine massive Sympathikusaktivierung wie sie typisch für die Situationen des aktiven und des Strain Coping ist. Die Korrugator-Aktivität zeigte das niedrigste Niveau. Möglicherweise lagen diese Reaktionen an der Form der Aufmerksamkeitsbelastung.

Zusammenfassend konnten aus dem Verhalten der physiologischen Parameter Hinweise auf bestimmte Beanspruchung ermittelt werden. Diese Ergebnisse müssen allerdings in weiteren Untersuchungen mit einem ähnlichen zugrundeliegenden Modell von Coping und Beanspruchung validiert werden:

- Aus der Messung der einzelnen Parameter kann bei einem Anstieg und höheren Mittelwerten von Hautleitfähigkeit, Herz- und Atemfrequenz die Situation eines aktiven Coping mit externem Fokus (Aufmerksamkeitsbelastung) unter Einfluss einer zeitlichen Komponente angenommen werden.
- Bei einem Abfall dieser Parameter auf höherem Niveau und gleichzeitigem langsamen Anstieg der Korrugator-Aktivität, eventuell auch der Frontalhirn-Aktivität, kann möglicherweise eine Konzentrationsbelastung vorliegen.
- Eine Zunahme der Atemamplitude erscheint hinweisend auf einen zunehmenden emotionalen Anteil einer Situation.
- Eine Korrugator-Aktivität von mehr als 20 mV erscheint hinweisend auf eine negative Emotion.

Neben den hinweisenden Rückschlüssen aus den Messungen des Verhaltens der physiologischen Parameter konnte diesen insbesondere kein direkter prädiktiver Wert für eine nennbare individuelle Höhe der Beanspruchung beigemessen werden. Ein größerer Wert wurde in diesem Zusammenhang vielmehr der Prädiktion gesundheitlicher Gefährdung an Hand von Erhebungen der sensiblen physiologischen Parameter beigemessen. Schlussfolgernd muss es nicht Ziel sein, das Ausmaß einer Beanspruchung festzustellen, sondern es kann vielmehr aus den erhobenen Parametern eine individuelle Optimierung des Arbeitsgeschehens abgeleitet werden. Hier spielt zum einen das vegetative Nervensystem eine Rolle, welches zahlreiche Erkrankungen beeinflusst. Es spiegelt sich in individuellen Messungen von Hautleitfähigkeit, Herzfrequenz und Atemfrequenz wider. Als zweites gesundheitsrelevantes System erscheint der Stirnschädel. Durch Messungen von Frontalhirn- und Korrugator-Aktivität können die lokalen Vorgänge abgebildet werden. Personen mit krankhaften Prädispositionen in den entsprechenden Teilgebieten des menschlichen Organismus bzw. in einer dort bestehenden erhöhten Reagibilität (z.B. arterielle Hypertonie oder Migräne) können somit besonders Rücksicht auf das vulnerable Gebiet nehmen bzw. eine ausdrückliche Erholung in diesem Bereich anstreben.

7 LITERATURVERZEICHNIS

1. **Hofmann, A., Keller, K.-J. und Neuhaus, R.** Die Sache mit der psychischen Belastung. Eine praxisnahe Handlungshilfe für Unternehmen. 2000, 367-370.
2. **BAuA.** Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2008 - Unfallverhütungsbericht Arbeit*. Dortmund : Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2009.
3. **Grande, G.** Betriebliche Ansätze zur Prävention von Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems. In B. Badura, H. Schellschmidt und C. Vetter (Hrsg.). *Fehlzeitenreport 2006*. Heidelberg : Springer, 2007, S. 81-98.
4. **Wieland, R.** Analyse, Bewertung und Gestaltung psychischer Belastung und Beanspruchung. In B. Badura, M. Litsch und C. Vetter (Hrsg.). *Fehlzeitenreport 1999*. Berlin : Springer, 2000, S. 197-211.
5. **Wido.** Fehlzeiten-Report 2010: Wettbewerbsvorteil Vielfalt. Pressemitteilung vom 08.07.2010. [Online] Wissenschaftliches Institut der AOK, 2010. [Zitat vom: 01. 11 2011.] http://www.wido.de/fileadmin/wido/downloads/pdf_pressemitteilungen/wido_pra_pm_fzr10_0710.pdf.
6. **Richter, G.** Psychische Belastung und Beanspruchung. *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 116*. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA, 2000.
7. **Klußmann, R. und Nickel, M.** *Psychosomatische Medizin und Psychotherapie*. Wien : Springer, 2009.
8. **Lühmann, D. und Zimolong, B.** Prävention von Rückenerkrankungen in der Arbeitswelt. In B. Badura, H. Schellschmidt und C. Vetter (Hrsg.). *Fehlzeitenreport 2006. Chronische Krankheiten. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft*. Heidelberg : Springer, 2007, S. 63-80.
9. **Küsgens, I., Macco, K. und Vetter, C.** Krankheitsbedingte Fehlzeiten bei Frauen und Männern - Geschlechtsspezifische Unterschiede im Arbeitsunfähigkeitsgeschehen. In B. Badura, H. Schröder und C. Vetter (Hrsg.). *Fehlzeitenreport 2007: Arbeit, Geschlecht und Gesundheit*. Heidelberg : Springer, 2008, S. 97-120.
10. **Buddeberg, C., von Känel, R. und Laederach, K.** Stress aus psychosozialer Sicht. In C. Buddeberg (Hrsg.). *Psychosoziale Medizin*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2004, S. 457-470.
11. **Ribback, S.** *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung*. Dissertationsschrift. Humanwissenschaftliche Fakultät der Universität Potsdam. 2002.
12. **Richter, G.** Toolbox: Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen. Toolbox 1.2. [Online] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA , 2010. [Zitat vom: 15. 03 2011.] <http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Handlungshilfen-und-Praxisbeispiele/Toolbox/Toolbox.html>.
13. **DIN EN ISO 10075.** Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. *Allgemeines und Begriffe*. 2000, Bd. 1.
14. **Laurig, W.** Ergonomie. [Online] ErgonAssist, 2011. [Zitat vom: 03. 03 2011.] http://www.ergonassist.de/bel-bean_gefaehrdung/Belastung_Beanspruchung_Gefaehrdung.html.
15. **Münzberger, E.** Modularer Lehrbrief "Einführung in die Arbeitsmedizin". [Online] Institut für Präventivmedizin (IPM) an der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock, 2008. [Zitat vom: 22. 07 2010.] <http://arbmed.med.uni-rostock.de/lehrbrief/lehrbriefinhalt.htm>.
16. **Hockey, G.R.J.** Compensatory Control in the Regulation of Human Performance Under Stress and High Workload: A Cognitive-Energetical Framework. 1997. 45, S. 73-93.
17. **Danuser, B.** *Motivierte Aufmerksamkeit und Atmung*. *Habilitationsschrift*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. 2001.
18. **Obrist, P.A.** *Cardiovascular Psychophysiology: A Perspective*. New York : Plenum, 1981. zit. nach: Backs, R.W.: Going Beyond Heart Rate: Autonomic Space and Cardiovascular Assessment of Mental Workload, 1995, The International Journal of Aviation Psychology, 5(1), S. 25-48.
19. **Backs, R.W.** Going Beyond Heart Rate: Autonomic Space and Cardiovascular Assessment of Mental Workload. *The International Journal of Aviation Psychology*. 1995, 5(1), S. 25-48.
20. **Joiko, K., Schmander, M. und Wolff, G.** *Psychische Belastung und Beanspruchung im Berufsleben: Erkennen - Gestalten*. Berlin : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA, 2010.
21. **Birbaumer, N. und Schmidt, R.F.** *Biologische Psychologie*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 1996.
22. **Schönpflug, W. und Mündelein, H.** Operation-Related Heart-Rate Responses. *Psychological Research*. 1983, 45, S. 177-186.
23. **Nienaber, C.** *Psychische Beanspruchung im Assessment Center*. Münster : LIT, 1997.
24. **Kerkau, F.** *Biosignale der Pupille zur Steuerung intelligenter User-Interfaces*. *Dissertationsschrift*. Freie Universität Berlin. 2006.
25. **Edelmann, W.** *Lernpsychologie*. Braunschweig : Beltz PVU, 2000.
26. **Buddeberg, C.** Psychische Grundfunktionen. *Psychosoziale Medizin*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2004, S. 49-68.
27. **Hamm, A.O. und Vaitl, D.** Emotionsinduktion durch visuelle Reize: Validierung einer Stimulationsmethode auf drei Reaktionsebenen. *Psychologische Rundschau*. 1993, 44, S. 143-161.
28. **Wagner, J.** *Vom physiologischen Signal zur Emotion: Implementierung und Vergleich ausgewählter Methoden zur Merkmalsextraktion und Klassifikation*. Bachelorarbeit. Universität Augsburg. 2005.
29. **Scherer, K.** Emotion. In W. Stroebe und K. Jonas (Hrsg.). *Sozialpsychologie: Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2003, S. 165-211.
30. **Lang, P.J., Bradley, M.M. und Cuthbert, B.N.** Emotion, Attention, and the Startle Reflex. 1990, 97(3), S. 377-395.
31. **Bradley, M.M. und Lang, P.J.** The International Affective Picture System (IAPS) in the Study of Emotion and Attention. In J.A. Coan und J.J.B. Allen (Hrsg.). *Handbook of Emotion Elicitation and Assessment*. 2007, S. 29-46.
32. **Bradley, M.M. und Lang, P.J.** Emotion and Motivation. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary und G.G. Bernston (Hrsg.). *The Handbook of Psychophysiology*. Cambridge : University Press, 2007, S. 581-605.

33. —. Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 1994, 25(1), S. 49-59.
34. **Ertel, S.** Standardisierung eines Eindrucksdifferentials. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*. 1965, 21, S. 22-58.
35. **Lang, P.J., et al., et al.** Looking at Pictures: Affective, Facial, Visceral, and Behavioral Reactions. *Psychophysiology*. 1993, 30, S. 261-273.
36. **Lang, P.J.** The Emotion Probe. Studies of Motivation and Attention. *American Psychologist*. 1995, 50(5), S. 372-385.
37. **von Leupoldt, A.** *Emotionsinduktion und Atemwegswiderstand bei lungengesunden und asthmatischen Personen*. Dissertationsschrift. Universität Hamburg. 2003.
38. **Goldhammer, F. und Moosbrugger, H.** Aufmerksamkeit. In K. Schweizer (Hrsg.). *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Heidelberg : Springer, 2006, S. 16-33.
39. **Schmidt-Atzert, L., Krumm, S. und Bühner, M.** Aufmerksamkeitsdiagnostik. *Zeitschrift für Neuropsychologie*. 2008, 19(2), S. 59-82.
40. **Moosbrugger, H. und Goldhammer, F.** Aufmerksamkeits- und Konzentrationsdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.). *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Heidelberg : Springer, 2006, S. 83-102.
41. **Wagner, M. und Karner, T.** *Wiener Testsystem - Handanweisung*. Mödling : Schuhfried GmbH, 2007.
42. **Amelang, M. und Zielinski, W.** *Psychische Diagnostik und Intervention*. Berlin : Springer, 2002.
43. **Bartenwerfer, H.** Allgemeine Leistungsdiagnostik. In K.-J. Groffmann und L. Michel (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen : Hogrefe, 1983, Bd. 2, S. 482-512.
44. **Bradley, M.M., et al., et al.** Emotion and Motivation I: Defensive and Appetitive Reactions in Picture Processing. *Emotion*. 2001, 1(3), S. 276-298.
45. **Jänig, W.** Vegetatives Nervensystem. In R.F. Schmidt, F. Lang und G. Thews (Hrsg.). *Physiologie des Menschen: Mit Pathophysiologie*. Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2007, S. 439-473.
46. **Fowles, D.C.** Psychophysiology and Psychopathology: A Motivational Approach. *Psychophysiology*. 1988, 25(4), S. 373-391.
47. **Schandry, R.** *Lehrbuch Psychophysiology: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. Weinheim : Psychologie Verlags Union, 1988.
48. **Boucsein, W.** Arbeitspsychologische Beanspruchungsforschung heute - eine Herausforderung an die Psychophysiology. *Psychologische Rundschau*. 1991, 42, S. 129-144.
49. **Andreassi, J.L.** *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response*. Hillsdale, N.J. : Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2007.
50. **Schiebler, T.H. und Korf, H.W.** *Anatomie*. s.l. : Steinkopff, 2007.
51. **Dawson, M.E., Schell, A.M. und Filion, D.L.** The Electrodermal System. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary und G.G. Berntson (Hrsg.). *The Handbook of Psychophysiology*. Cambridge : University Press, 2007, S. 159-181.
52. **Burk, C.L.** *Phasische elektrodermale Aktivität als Persönlichkeitsindikator*. Dissertationsschrift. Universität Gießen. 2005.
53. **Boucsein, W.** Physiologische Grundlagen und Messmethoden der dermalen Aktivität. In F. Rösler (Hrsg.). *Enzyklopädie der Psychologie, Bereich Psychophysiology*. Göttingen : Hogrefe, 2001, Bd. 1, S. 551-623.
54. **Lykken, D.T. und Venables, P.H.** Direct Measurement of Skin Conductance: A Proposal for Standardization. *Psychophysiology*. 1971, 8(5), S. 656-672.
55. **Gomez, P., Stahel, W. und Danuser, B.** Respiratory Responses During Affective Picture Viewing. *Biological Psychology*. 2004, 67, S. 359-373.
56. **Venables, P.H. und Mitchell, D.A.** The Effects of Age, Sex and Time of Testing on Skin Conductance Activity. *Biological Psychology*. 1996, 43, S. 87-101.
57. **Codispoti, M. und Surcinelli, P. Baldaro, B.** Watching Emotional Movies: Affective Reactions and Gender Differences. *Psychophysiology*. 2008, 69, S. 90-95.
58. **Rohen, J.W.** *Funktionelle Neuroanatomie: Lehrbuch und Atlas*. Stuttgart : Schattauer, 2001.
59. **Tassinary, L.G., Cacioppo, J.T. und Vanman, E.J.** The Skeletomotor System: Electromyography. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary und G.G. Bernston (Hrsg.). *The Handbook of Psychophysiology*. Cambridge : University Press, 2007, S. 267-298.
60. **Hager, J.C. und Ekman, P.** The Inner and Outer Meanings of Facial Expressions. In J.T. Cacioppo und R.E. Petty (Hrsg.). *Social Psychophysiology: A Sourcebook*. [Online] New York : The Guilford Press. [Zitat vom: 18.03.2011.] http://face-and-emotion.com/dataface/misctext/inner_outer.html, 1983, 10.
61. **Fridlund, A.J. und Cacioppo, J.T.** Guidelines for Human Electromyographic Research. *Psychophysiology*. 1986, 23(5), S. 567-589.
62. **Fridlund, A.J., Schwartz, G.E. und Fowler, S.C.** Pattern Recognition of Self-Reported Emotional State from Multiple-Site Facial EMG Activity during Affective Imagery. *Psychophysiology*. 1984, 21(6), S. 622-637.
63. **Hazlet, R.L.** Measurement of User Frustration: A Biologic Approach. *CHI 2003: New Horizons*. 2003, S. 734-735.
64. **de Morree, H.M. und Macorca, S.M.** The face of effort: Frowning Muscle Activity Reflects Effort during a Physical Task. *Biological Psychology*. In press.
65. **Waterink, M. und van Boxtel, A.** Facial and Jaw-Elevator EMG Activity in Relation to Changes in Performance Level during a Sustained Information Processing Task. *Biological Psychology*. 1994, S. 183-198.
66. **Cacioppo, J.T., Petty, R.E. und Morris, K.J.** Semantic, Evaluative, and Self-Referent Processing: Memory, Cognitive Effort, and Somatovisceral Activity. *Psychophysiology*. 1985, 22(4), S. 371-384.
67. **Van Boxtel, A. und Jessurun, M.** Amplitude and bilateral coherency of facial and jaw-elevator EMG activity as an index of effort during a two-choice serial reaction task. *Psychophysiology*. 1993, 30(6), S. 589-604.

68. **Piper, H.M., et al., et al.** Herz und Kreislauf. In R. Schmidt, F. Lang und G. Thews (Hrsg.). *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. Heidelberg : Springer, 2007, S. 563-680.
69. **Bernston, G.G., Quigley, K.S. und Lozano, D.** Cardiovascular Psychophysiology. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary und G.G. Bernston (Hrsg.). *The Handbook of Psychophysiology*. Cambridge : University Press, 2007, S. 186-211.
70. **TaskForce.** Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *European Heart Journal*. 1996, 17, S. 254-381.
71. **Bernardi, L., et al., et al.** Effects of Controlled Breathing, Mental Activity and Mental Stress With or Without Verbalization on Heart Rate Variability. *Journal of the American College of Cardiology*. 2000, 35, S. 1462-1469.
72. **Lang, P.J., Bradley, M.M. und Cuthbert, B.N.** Emotion, Motivation, and Anxiety: Brain Mechanisms and Psychophysiology. *Biological Psychiatry*. 1998, 44, S. 1248-1263.
73. **Smith, J.C., Bradley, M.M. und Lang, P.J.** State Anxiety and Affective Physiology: Effects of Sustained Exposure to Affective Pictures. *Biological Psychology*. 2005, 69, S. 247-260.
74. **Thews., G., et al., et al.** Atmung. In R. Schmidt, F. Lang und G. Thews (Hrsg.). *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie*. Heidelberg : Springer, 2007, S. 737-822.
75. **Lorig, T.S.** The Respiratory System. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary und G.G. Bernston (Hrsg.). *The Handbook of Psychophysiology*. Cambridge : University Press, 2007, S. 231-244.
76. **McCraty, M., Atkinson, D. und Tomasino, W.P.** *Science of the Heart: Exploring the Role of the Heart in Human Performance*. [Online] Boulder Cree, CA : Institute of HeartMath. [Zitat vom: 19.03.2011] <http://www.heartmath.org/research/research-library/research-library.html>, 2001.
77. **Boiten, F.A., Frijda, N.H. und Wientjes, C.J.E.** Emotions and Respiratory Patterns: Review and Critical Analysis. *International Journal of Psychophysiology*. 1994, 17, S. 103-128.
78. **Boiten, F.A.** The Effects of Emotional Behaviour on Components of the Respiratory Cycle. *Biological Psychology*. 1998, 49, S. 29-51.
79. **Wientjes, C.J.E., Grossman, P. und Gaillard, A.W.K.** Influence of Drive and Timing Mechanisms on Breathing Pattern and Ventilation During Mental Task Performance. *Biological Psychology*. 1998, 49, S. 53-70.
80. **Veltman, J.A. und Gaillard, A.W.K.** Physiological Workload Reactions to Increasing Levels of Task Difficulty. *Ergonomics*. 1998, 41(5), S. 656-669.
81. **Förstl, H.** *Frontalhirn. Funktionen und Erkrankungen*. Heidelberg : Springer, 2005.
82. **Fox, N.A., et al., et al.** Developmental Psychophysiology: Conceptual and Methodological Issues. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary und G.G. Bernston (Hrsg.). *The Handbook of Psychophysiology*. Cambridge : University Press, 2007, S. 453-481.
83. **Walter, H.** *Funktionelle Bildgebung in Psychiatrie und Psychotherapie: methodische Grundlagen und klinische Anwendungen*. Stuttgart : Schattauer, 2005.
84. **Braus, D.F.** *EinBlick ins Gehirn: Bildgebung in der modernen Psychiatrie*. Stuttgart : Thieme, 2004.
85. **Mulder, G.** The Concept and Measurement of Mental Effort. In G.R.J. Hockey, M.G.H. Coles und A.W.K. Gaillard (Hrsg.). *Energetics and Human Information Processing*. Dordrecht : Martinus Nijhoff, 1986, S. 175-198.
86. **Toomim, H., et al., et al.** Intentional Increase of Cerebral Blood Oxygenation Using Hemoencephalography (HEG): An Efficient Brain Exercise Therapy. *Journal of Neurotherapy*. 2005, 8(3), S. 5-21.
87. **Toomim, H.** Hemoencephalography (HEG): The Study of Regional Cerebral Blood Flow. [Online] The Biofeedback Institute of Los Angeles, 2002. [Zitat vom: 02. 11 2011.] <http://www.biocompresearch.org/HEGTALK1-AConceptualIntroductiontoHEG.pdf>.
88. **Obrig, H.** *Nahinfrarotspektroskopie des Gehirns. Habilitationsschrift*. Humboldt-Universität Berlin. 2002.
89. **Murkin, J.M.** Near Infrared Cerebral Oxygenation Monitoring. *Applied Cardiopulmonary Pathophysiology*. 2009, 13(2), S. 152-154.
90. **Haux, D.** *Nahinfrarotspektroskopie und funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie: simultaner Ansatz bei motorischer Einzelstimulation. Dissertationsschrift*. Charité-Universitätsmedizin Berlin. 2007.
91. **Johnson, D.L., et al., et al.** Cerebral Blood Flow and Personality: A Positron Emission Tomography Study. *American Journal of Psychiatry*. 1999, 156, S. 252-257.
92. **Villringer, A., et al., et al.** Near Infrared Spectroscopy (NIRS): A New Tool to Study Hemodynamic Changes During Activation of Brain Function in Human Adults. *Neuroscience Letters*. 1993, 154, S. 101-104.
93. **Pirker-Binder, I.** Train the Brain. HEG (Hemoencephalographie) – eine neue Art des Neurofeedback. *ProMed Komplementär*. 2010, 17(2), S. 8.
94. **Carmen, J.A.** Passive Infrared Hemoencephalography: For Years and 100 Migraines. *Journal of Neurotherapy*. 2005, 8(3), S. 23-51.
95. **Harris, D.N.F.** Editorial. Near Infra-Red Spectroscopy. *Anaesthesia*. 1995, 50, S. 1015-1016.
96. **Zald, D.H., Mattson, D.L. und Pardo, J.V.** Brain Activity in Ventromedial Prefrontal Cortex Correlates With Individual Differences in Negative Affect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS*. 2002, 99(4), S. 2450-2454.
97. **Cacioppo, J.T., et al., et al.** Relationship Between Facial Expressiveness and Sympathetic Activation in Emotion: A Critical Review, With Emphasis on Modeling Underlying Mechanisms and Individual Differences. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1992, 62, S. 110-128.
98. **FPIManual.**
99. **Franke, H.** Das Freiburger Persönlichkeitsinventar FPI-R. [Online] Lehrmaterialien der Hochschule Magdeburg-Stendal (FH), Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften, 2007. [Zitat vom: 02. 11 2011.] <http://www.franke-stendal.de/WS0708/Bachelor/FPI-R-Franke-Korrigiert-23-02-2007.pdf>.

100. **Saunders, N.A., Heilpern, S. und Rebuck, A.S.** Relation Between Personality and Ventilatory Response to Carbon Dioxide in Normal Subjects: A Role in Asthma? *British Medical Journal*. [Online] 1972, 1, S. 719-721. [Zitat vom: 03.11.2011] <http://www.bmj.com/content/1/5802/719.full.pdf>.
101. **Laux, L.** *Persönlichkeitspsychologie*. Stuttgart : Kohlhammer, 2008.
102. **Schuhfried, G.** *Arbeitsleistungsreihe (ALS) - Version 25.03*. Mödling : Schuhfried GmbH, 2007a.
103. —. *Wiener Determinationstest (DT) - Version 32.00*. Mödling : Schuhfried GmbH, 2007b.
104. **Lang, P.J., Bradley, M.M. und Cuthbert, B.N.** *International Affective Picture System (IAPS): Affective Ratings of Pictures and Instruction Manual. Technical Report A-8*. Gainesville, FL : University of Florida, 2008.
105. **Hart, S.G. und Staveland, L.E.** Development of NASA-TLX (Task Load Index). In P.A. Hancock und N. Meshkati (Hrsg.). *Human Mental Workload*. [Online] Amsterdam : North Holland Press, 1988, S. 239-250. [Zitat vom: 16.03.2011] http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20000004342_1999205624.pdf.
106. **Hart, S.G.** *NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later*. [Online] Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, General Sessions. 2006. S. 904-908. [Zitat vom: 16.03.2001] <http://human-factors.arc.nasa.gov/groups/TLX/tlxpublications.html>.
107. **Cao, A., et al., et al.** NASA-TLX: Software for Assessing Subjective Mental Workload. *Behavior Research Methods*. 2009, 41(19), S. 113-117.
108. **MediTech.** *ProComp Infiniti Gebrauchsanleitung*. Wedemark : MediTech Electronic GmbH, 2004.
109. **Schranz, S. und Osterode, W.** Übungseffekte bei computergestützten psychologischen Leistungstests. *Wiener klinische Wochenschrift*. 2009, 121, S. 405-412.
110. **Sutton, S.K., et al., et al.** Manipulating Affective State Using Extended Picture Presentations. *Psychophysiology*. 1997, 34, S. 217-226.
111. **Byers, J.C., Bittner, A.C. und Hill, S.C.** Traditional and Raw Task Load Index (TLX) Correlations: Are Paired Comparisons Necessary? In A. Mital. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*. London : Taylor & Francis, 1989, Bd. 1, S. 481-485.
112. **Moroney, W.F., Biers, D.W. und Eggemeier, F.T.** Some Measurement and Methodological Considerations in the Application of Subjective Workload Measurement Techniques. *The Journal of Aviation Psychology*. 1995, 58(1), S. 87-106.
113. **Noyes, J.M. und Bruneau, D.P.J.** A Self-Analysis of the NASA-TLX Workload Measure. *Ergonomics*. 2007, 50(4), S. 14-519.
114. **Krentz, H.** *Statistische Analysen mit SPSS in der Medizin*. Aachen : Shaker, 2005.
115. **Kese, A.B., Junge, M.M. und Nachtigall, W.** *Einführung in die angewandte Statistik für Biowissenschaftler*. Boston, Berlin : Birkhäuser, 1999.
116. **Weiße, C.** *Basiswissen Medizinische Statistik*. Heidelberg : Springer, 2010.
117. **Bortz, J. und Schuster, C.** *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010.
118. **Bühl, A.** *SPSS 16: Einführung in die moderne Datenanalyse*. München : Pearson Studium, 2008.
119. **Bradley, M.M., et al., et al.** Emotion and Motivation II: Sex Differences in Picture Processing. *Emotion*. 2001, 1(3), S. 300-319.
120. **Weippert, M.** *Frequenzanalyse der Herzratenvariabilität in der Präventivmedizin. Dissertationsschrift*. Universität Rostock. 2009.
121. **Bradley, M.M., Cuthbert, B.N. und Lang, P.J.** Picture Media and Emotion: Effects of a Sustained Affective Context. *Psychophysiology*. 1996, 33, S. 662-670.
122. **Nickel, P., et al., et al.** Zur Reliabilität, Validität, Sensitivität und Diagnostizität von Herzfrequenz- und Herzfrequenzvariabilitätsmaßen als Indikatoren psychischer Beanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*. 2002, Bd. 56(1+2), S. 22-36.
123. **Roscoe, A.H.** Assessing Pilot Workload. Why Measure Heart Rate, HRV and Respiration? *Biological Psychology*. 1992, 34, S. 259-287.
124. **Suter, J.** Die Beziehung zwischen Aufmerksamkeit und Atmung. *Archiv für die gesamte Psychologie*. 1912, Bd. 25. zit. nach: 17. Danuser, B.; 2001.
125. **Skaggs, E.B.** Studies in Attention and Emotion. *Journal of Comparative Psychology*. 1930, 10, S. 375-419. zit. nach: 17. Danuser, B.; 2001.
126. **Herrmann, M.J., Ehli, A.C. und Fallgatter, A.J.** Bilaterally Reduced Frontal Activation During a Verbal Fluency Task in Depressed Patients as Measured by Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*. 2004, 16(2), S. 170-175.
127. **Thayer, J.F., et al., et al.** Heart Rate Variability, Prefrontal Neural Function, and Cognitive Performance: The Neurovisceral Integration Perspective on Self-Regulation, Adaptation, and Health. *Annals of Behavioral Medicine*. 2009, Bd. 37(2), S. 141-153.
128. **Schmidtke, H.** Vom Sinn und Unsinn der Messung Psychischer Belastung und Beanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*. 2002, Bde. 1-2.
129. **Nachreiner, F.** Über einige aktuelle Probleme der Erfassung, Messung und Beurteilung der psychischen Belastung und Beanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*. 2002, Bde. 1-2.
130. **Rixgens, P., Badura, B. und Behr, M.** Sozialkapital und gesundheitliches Wohlbefinden aus der Sicht von Frauen und Männern - Erste Ergebnisse einer Mitarbeiterbefragung in Produktionsbetrieben. In B. Badura, H. Schröder und C. Vetter (Hrsg.). *Fehlzeitenreport 2007*. Heidelberg : Springer, 2008, S. 158-174.
131. **Oppolzer, A.** Psychische Belastungsrisiken aus Sicht der Arbeitswissenschaft und Ansätze für die Prävention. In B. Badura, et al., et al. (Hrsg.). *Fehlzeitenreport 2009: Arbeit und Psyche: Belastungen reduzieren*. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010.
132. **Emery, C.F., et al., et al.** Cardiovascular Reactivity to Mental Stress in Hypertensive Patients Receiving Atenolol vs Enalapril. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*. 1994, 14, S. 232-237.

133. **Hacke, W.** *Neurologie*. Heidelberg : Springer, 2010.

134. **Boucsein, W.** Psychophysiology in the Computer Workplace – Goals and Methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1997, 20(1), S. 51-57.

8 ANHANG

ANHANG 1

Allgemeiner Fragebogen

1. Haben Sie besondere Erkrankungen? Ja / Nein
 Wenn 'Ja', welche? _____

2. Nehmen Sie regelmäßig Medikamente? (z.B. Pille) Ja / Nein
 Wenn 'Ja', welche? _____

3. Haben Sie in der letzten Woche Medikamente eingenommen? Ja / Nein
 Wenn 'Ja', welche? _____

4. Nehmen Sie Drogen oder Rauschmittel zu sich? Ja / Nein
 Wenn 'Ja', welche? _____

 Wann zuletzt? _____
5. Rauchen Sie? Ja / Nein
 Wenn 'Ja', wie viel durchschnittlich pro Tag? _____
 Wann zuletzt? _____
6. Trinken Sie Alkohol? Ja / Nein
 Wenn 'Ja', wie viel durchschnittlich pro Woche? _____
 Wann zuletzt? _____
7. Wie viel Stunden Sport machen Sie pro Woche?
 Jogging / Rad fahren: _____ Std./Woche
 Spazieren gehen / wandern: _____ Std./Woche
 Gymnastik / Fitness / Aerobic: _____ Std./Woche
 Kraftsport: _____ Std./Woche
 Anderer Sport (Welcher?): _____ Std./Woche
8. Führen Sie regelmäßig Entspannungsverfahren durch? (z.B. Autogenes Training, Progressive Muskelentspannung, Meditationsübungen, Entspannungsmusik,...) Ja / Nein
 Wenn 'Ja', welche? _____

 Wie oft? _____

9. Wie viel Stunden pro Woche sehen Sie fern? _____

Welche Art der Sendung? _____

10. Wie oft pro Monat gehen Sie ins Kino? _____

Welche Art von Filmen? _____

11. Wie viel Stunden pro Woche lesen Sie Zeitung / Zeitschriften? _____

Welche Art von Zeitung / Zeitschrift? _____

12. Wie viel Stunden pro Woche verbringen Sie im Internet („surfen“)? _____

Welche Art von Sites/Seiten? _____

13. Welche ist Ihre dominierende Seite (Links- /Rechtshänder)

Links

/

Rechts

Anmerkungen: _____

ANHANG 2

Instruktionen für das Self-Assessment-Manikin

Jeder Fragebogen enthält eine Figur (SAM), welche drei verschiedene Gefühlsdimensionen symbolisiert: von glücklich bis unglücklich, von aufgeregt bis ruhig, von dominant bis unterlegen. Sie sehen, dass jede SAM-Figur in der Darstellung variiert. Die erste SAM-Skala reicht von „**sehr angenehm, glücklich, erfreut**“, das SAM besitzt nach oben zeigende Mundwinkel, bis zu „**sehr unangenehm, unglücklich, traurig**“, das SAM besitzt nach unten zeigende Mundwinkel. Wenn Sie sich also beim Betrachten der Bilder **äußerst angenehm, glücklich, zufrieden, voller Hoffnung oder erfreut** fühlten, kreuzen Sie bitte diese Figur an. Wenn Sie sich beim Betrachten der Bilder **äußerst unangenehm, unglücklich, verärgert, melancholisch, unzufrieden, verzweifelt, gelangweilt oder traurig** fühlten, kreuzen Sie bitte diese Figur an. Wenn Sie sich weder angenehm noch unangenehm berührt gefühlt haben, also ein neutrales Gefühl verspürt haben, kreuzen Sie bitte die mittlere Figur an. Die Figur ermöglicht es auch, Abstufungen zwischen den Gefühlen vorzunehmen, indem Sie eine der anderen Figuren ankreuzen. Wenn Ihre Beurteilung eines Gefühls genau zwischen zwei Figuren fällt, setzen Sie das Kreuz bitte dazwischen.

Die zweite Art von Gefühl, die hier präsentiert wird, ist die Dimension von „**ruhig**“, das SAM hat die Augen geschlossen, das Herz ist klein und ruhig, bis „**aufgeregt**“, das SAM zeigt ein fast explodierendes Herz, die Augen sind weit geöffnet. Wenn Sie sich also bei der Betrachtung der Bilder **äußerst stimuliert, aufgeregt, extrem wach oder angeregt** fühlten, setzen Sie das Kreuz bitte hier. Wenn Sie sich **äußerst ruhig, entspannt, schläfrig oder unerregt** fühlten, machen Sie das Kreuz hier. Wenn Sie sich weder erregt noch besonders ruhig fühlen, kreuzen Sie bitte die mittlere Figur an. Wie bei der anderen Skala können Sie das Kreuz auch zur Abstufung der Gefühle über jede andere Figur oder dazwischen setzen.

Die letzte Gefühlsskala betrachtet die Dimension „**dominant**“, das SAM zeigt sich groß und unbeeindruckt, bis „**unterlegen**“, das SAM ist ganz klein und unterlegen. Wenn Sie sich also beim Betrachten der Bilder **ganz groß, stark, dominant, kontrollierend, unbeeindruckt, wichtig oder autonom** fühlten, setzen Sie das Kreuz bitte hier. Wenn Sie sich **äußerst klein, unterlegen, kontrolliert, geführt oder bevormundet** fühlen, setzen Sie das Kreuz hier. Beachten Sie, dass wenn die Figur groß ist, Sie sich wichtig und einflussreich fühlten, wenn die Figur klein ist, fühlten Sie sich kontrolliert oder geführt. Wenn Sie sich weder kontrolliert noch kontrollierend fühlen, setzen Sie das Kreuz bitte in die Mitte. Auch hier sind wieder feinere Abstufungen möglich, indem Sie das Kreuz über eine der anderen oder zwischen zwei Figuren setzen.

Einige der Bilder lösen deutliche Emotionen aus, andere erscheinen sehr neutral. Ihre Gefühlseinstufung mit der SAM-Figur sollte Ihre unmittelbare *persönliche Gefühlserfahrung*

widerspiegeln und nicht die Emotionen die *möglicherweise* mit den Bildern dargestellt werden. Es gibt keine richtigen und falschen Antworten, sondern nur die von Ihnen erfahrenen Gefühle.

(Der Versuchsleiter zeigt während des Sprechens auf die entsprechende Figur oder demonstriert das Setzen der Kreuze.)

ANHANG 3

NASA-Task Load Index (paper and pencil-Version)

Prospektives Ranking (diese Seite) und retrospektives Rating (nächste Seite)

Subjektiver Vergleich von Beanspruchungsfaktoren

Bitte kreisen Sie den Beanspruchungsfaktor ein, der Ihrer Meinung nach eine größere Bedeutung bei der Bewältigung der Aufgabe hat!

Geistige Anforderung vs. Körperliche Anforderung

Geistige Anforderung vs. Zeitliche Anforderung

Geistige Anforderung vs. Leistung

Geistige Anforderung vs. Frustration

Geistige Anforderung vs. Anstrengung

Körperliche Anforderung vs. Zeitliche Anforderung

Körperliche Anforderung vs. Leistung

Körperliche Anforderung vs. Frustration

Körperliche Anforderung vs. Anstrengung

Zeitliche Anforderung vs. Leistung

Zeitliche Anforderung vs. Frustration

Zeitliche Anforderung vs. Anstrengung

Leistung vs. Frustration

Leistung vs. Anstrengung

Frustration vs. Anstrengung

Sie finden 6 Skalen, die verschiedene Beanspruchungsaspekte erfassen, die zur Gesamtbeanspruchung am PC beitragen.

Bitte schätzen Sie Ihre durchschnittliche Beanspruchung während des zurückliegenden Versuchsvorgangs retrospektiv ein.

Geistige Anforderungen

Wie hoch waren die geistigen Anforderungen der Aufgabe?

sehr niedrig

sehr hoch

Körperliche Anforderung

Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen der Aufgabe?

sehr niedrig

sehr hoch

Zeitlich Anforderung

Wie hoch war das Tempo, mit dem die einzelnen Arbeitsabschnitte der Aufgabe aufeinander folgten?

sehr niedrig

sehr hoch

Leistung

Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Aufgabe Ihrer Ansicht nach durchgeführt?

perfekter Erfolg

Misserfolg

Anstrengung

Wie sehr mussten Sie sich anstrengen, um Ihre Leistung zu erreichen?

sehr wenig

sehr stark

Frustration

Wie verunsichert, entmutigt, gereizt und verärgert waren Sie?

sehr wenig

sehr stark

ANHANG 4

Anzahl Untersuchungspersonen je Untersuchungsabschnitt und physiologischem Parameter

EINZELBILDER	
Corr: n=45	SC; Herz; HEG: n=46
Atmung: n=47	
Männer	Frauen
Corr; SC: n=22	Corr; Herz; HEG: n=23
Herz; Atmung; HEG: n=23	SC; Atmung: n=24
BILDSEERIEN	
Corr; Herz: n=38	SC; Atmung; HEG: n=39
Männer	Frauen
Corr; SC; Herz; Atmung; HEG: n=19	Corr; Herz: n=19
	SC; Atmung; HEG: n=20
RECHENTEST	
Corr: n=39	Herz: n=40
HEG; SC; Atmung: n=41	
Männer	Frauen
Corr: n=19	Corr; HEG; Herz: n=20
SC; Herz; Atmung; HEG: n=20	SC; Atmung; HEG: n=21
REAKTIONSTEST	
Corr: n=37	SC; Herz: n=39
Atmung; HEG: n=40	
Männer	Frauen
Corr; SC: n=17	Corr: n=20
Herz; Atmung; HEG: n=18	Herz: n=21
	SC; Atmung; HEG: n=22
RUHE	
Herz: n=42	Atmung; HEG; SC; Corr: n=43
Männer	Frauen
Corr; SC; Herz; Atmung; HEG: n=19	Herz =23
	Corr; SC; Atmung; HEG: n=24

ANHANG 5

Alle während der vorliegenden Untersuchung erhobenen Parameter

Corr	SC_Raw	LF_AvAmp	BR_Amp
Corr_Raw	SR	HF_AvAmp	AR_Amp
Corr_Smooth	SR2	Freq_totAmp	HEG
Corr_Damp	HR	VLF_totAmp	HEG2
Corr_SigPV	IBI	LF_totAmp	HEG_RED
Corr_ChAccel	IBI_am	HF_totAmp	HEG_Infrared
Corr_ChSpeed	VLF_Power	BR	HEG_Ratio
Corr_Notch	LF_Power	AR	REIR200
Corr_IIR	HF_Power	BRR	
SC	VLF_AvAmp	ARR	

Die beim M. corrugator (Corr) erhobenen Parameter sind die Rohwerte (Raw) und gefilterten Rohwerte. Bei der elektrodermalen Aktivität werden Hautleitfähigkeit (SC = skin conductance) und Hautwiderstand (SR = skin resistance) sowie ein Filter der SR berechnet. Bei der Herzaktivität werden die Herzfrequenz (HR = heart rate) und die Inter-beat-Intervalle (IBI) sowie ein Filter der IBI erhoben. Die Herzfrequenzvariabilität wird in drei Formen für *very low frequencies* (VLF), *low frequencies* (LF) und *high frequencies* (HF) dargestellt. BR und AR beschreiben die gemessene Spannung der Atemgürtel an Brust (BR) und Bauch (AR) aus der die Atemfrequenz (BRR und ARR) sowie die Atemamplitude (BR_Amp und AR_Amp) abgeleitet werden. Die Frontalhirn-Aktivität, welche mittels Nahinfrarotspektroskopie gemessen wird, kann auch als Hemoencephalographie (HEG) bezeichnet werden. Es liegen die Daten beider applizierter und reflektierter Wellenlängen vor (HEG_RED, HEG_Infrared), deren Quotient (HEG_Ratio) und deren Quotient zur besseren Darstellbarkeit multipliziert mit 200 (REIR200), des Weiteren zwei durch das ProComp-Infiniti-Gerät berechnete Frontalhirn-Aktivitäten (HEG, HEG2).

ANHANG 6

Korrelation der Veränderungen der physiologischen Parameter (Δ) mit den NASA-TLX-Bewertungen während des Rechentests

		Gesamt	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration
Korrugator	Korrelation	-,219	-,129	,137	-,213	-,298	-,287
	Signifikanz	,181	,435	,406	,193	,065	,076
	N	39	39	39	39	39	39
SCL	Korrelation	-,132	-,178	-,067	,077	-,078	-,226
	Signifikanz	,410	,264	,675	,630	,630	,156
	N	41	41	41	41	41	41
HR	Korrelation	-,070	-,051	,109	,019	-,090	-,300
	Signifikanz	,667	,753	,503	,909	,581	,060
	N	40	40	40	40	40	40
HEG_Ratio	Korrelation	,033	-,054	,007	,063	-,069	,170
	Signifikanz	,841	,742	,967	,698	,671	,294
	N	40	40	40	40	40	40

Korrelation der Veränderungen der physiologischen Parameter (Δ) mit den NASA-TLX-Bewertungen während des Reaktionstests

		Gesamt	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration
Korrugator	Korrelation	-,072	-,017	-,065	,131	-,267	-,073
	Signifikanz	,653	,914	,687	,414	,092	,650
	N	41	41	41	41	41	41
SCL	Korrelation	-,125	-,131	,151	-,030	-,111	-,129
	Signifikanz	,424	,403	,333	,849	,480	,411
	N	43	43	43	43	43	43
HR	Korrelation	,051	-,311	-,004	,188	-,082	,164
	Signifikanz	,744	,042	,980	,228	,603	,292
	N	43	43	43	43	43	43
HEG_Ratio	Korrelation	-,087	-,320	-,024	,158	-,122	,089
	Signifikanz	,573	,034	,877	,306	,429	,567
	N	44	44	44	44	44	44

ANHANG 7a

Korrelation von Erregung mit Δ SCL; N=9

Bild1	Männer	Korrelation	,283
		Signifikanz	,461
	Frauen	Korrelation	,404
		Signifikanz	,281
	Alle	Korrelation	,882
		Signifikanz	,002
EB	Männer	Korrelation	,735
		Signifikanz	,024
	Frauen	Korrelation	,536
		Signifikanz	,137
	Alle	Korrelation	,941
		Signifikanz	,000
Serien	Männer	Korrelation	,105
		Signifikanz	,788
	Frauen	Korrelation	,366
		Signifikanz	,105
	Alle	Korrelation	,442
		Signifikanz	,234

ANHANG 7b

Korrelation von Erregung mit der ΔCorr ; N=9

Bild1	Männer	Korrelation	-,807
		Signifikanz	,009
	Frauen	Korrelation	-,677
		Signifikanz	,045
	Alle	Korrelation	-,868
		Signifikanz	,002
EB	Männer	Korrelation	-,890
		Signifikanz	,001
	Frauen	Korrelation	-,805
		Signifikanz	,009
	Alle	Korrelation	-,902
		Signifikanz	,001
Serien	Männer	Korrelation	-,891
		Signifikanz	,001
	Frauen	Korrelation	-,673
		Signifikanz	,047
	Alle	Korrelation	-,868
		Signifikanz	,002

ANHANG 8

Anzahl der Responder-Typen je Geschlecht

Responder-Typ	Männer	Frauen
Non-Responder	0	3
Zwischen-Responder	2	10
Responder	18	10

ANHANG 9

Verwendete Bilder aus dem International Affective Picture System (IAPS),
angegeben sind die Bildnummer des IAPS und die Kurzbezeichnung

Einzelbilder					
Männer			Frauen		
1114	Snake	4598	Couple	1603	Butterfly
1419	Birds	5470	Astronaut	1620	Sprgbok
1560	Hawk	5820	Mountains	1640	Coyote
1931	Shark	5831	Seagulls	1750	Bunnies
2020	Adult	5833	Beach	2020	Adult
2040	Baby	5940	Lava	2037	Woman
2053	Baby	6315	BeatenFem	2050	Baby
2205	Hospital	6550	Attack	2053	Baby
2250	NeutBaby	6910	Bomber	2250	NeutBaby
2398	Boat	6940	Tank	2272	LonelyBoy
2399	Woman	7002	Towel	2304	Girl
2410	Boy	7004	Spoon	2339	Father
2530	Couple	7053	Candlestic	2351	NursingBab
2593	Men	7330	IceCream	2435	Mom/Son
2598	Family	8160	RockClimbe	2590	ElderlyWom
2661	Baby	8490	RollerCoas	2655	Child
2688	Hunters	9001	Cemetery	2661	Baby
2710	DrugAddict	9046	Family	2688	Hunters
3064	Mutilation	9070	Boy	2700	Woman
3080	Mutilation	9101	Cocaine	2702	BingeEatin
3102	BurnVictim	9253	Mutilation	2704	Soldiers
3160	EyeDisease	9300	Dirty	2745	Shoplifter
3280	DentalExam	9428	Assault	2752	Alcoholic
3400	SeveredHan	9470	Ruins	3053	BurnVictim
4180	EroticFema	9970	EroticFema	3064	Mutilation
4250	Attractive			3080	Mutilation
				3180	BatteredFe
				3230	DyingMan
				4574	Attractive
				4598	Couple
				4623	Romance
				4770	FemaleKiss
				4800	EroticCoup
				5950	Lightning
				6311	Distressed
				7034	Hammer
				7054	Glass
				7055	Lightbulb
				7185	AbstractAr
				7361	MeatSlicer
				8030	Skier
				8179	Bungee
				8490	RollerCoas
				8501	Money
				9101	Cocaine
				9341	Pollution
				9415	Handicappe
				9429	Assault
				9472	Bridge
				9480	Skull
				9560	DuckInOil

ANHANG 10

Verwendete Bilder aus dem International Affective Picture System (IAPS),
angegeben sind die Bildnummer des IAPS und die Kurzbezeichnung

Bildserien							
Männer				Frauen			
1113	Snake	5621	SkyDivers	1030	Snake	5532	Mushrooms
1201	Spider	5764	Field	1390	Bees	5534	Mushrooms
1205	Spider	5781	Lake	1419	Birds	5593	Sky
1301	Dog	5890	Earth	1440	Seal	5600	Mountains
1313	Frog	6022	Assault	1460	Kitten	5623	Windsurfer
1500	Dog	6211	Attack	1590	Horse	5760	Nature
2152	Mother	6360	Attack	1660	Gorilla	5764	Field
2160	Father	6410	AimedGun	1710	Puppies	5830	Sunset
2165	Father	7000	RollingPin	1721	Lion	5831	Seagulls
2214	NeutMan	7006	Bowl	1900	Fish	5833	Beach
2278	Kids	7009	Mug	2040	Baby	5991	Sky
2299	Family	7038	Shoes	2057	Father	6021	Assault
2331	Chef	7041	Baskets	2130	Woman	6212	Soldier
2362	Girl&Dog	7050	HairDryer	2260	NeutBaby	6241	Gun
2388	Kids	7055	Lightbulb	2320	Girl	6562	Attack
2393	Factorywor	7059	Keyring	2331	Chef	6800	Gun
2445	Feet	7060	TrashCan	2332	Family	6821	Gang
2455	SadGirls	7110	Hammer	2341	Children	7002	Towel
2510	ElderlyWom	7150	Umbrella	2352	Kiss	7004	Spoon
2700	Woman	7161	Pole	2358	Family	7006	Bowl
2703	SadChildre	7175	Lamp	2383	Secretary	7009	Mug
2880	Shadow	7182	Checkerboa	2393	Factorywor	7010	Basket
3000	Mutilation	7187	AbstractAr	2396	Couple	7020	Fan
3015	Accident	7190	Clock	2495	Man	7031	Shoes
3022	Scream	7217	ClothesRac	2512	Man	7059	Keyring
3053	BurnVictim	7235	Chair	2516	ElderlyWom	7080	Fork
3063	Mutilation	7351	Pizza	2560	Picnic	7110	Hammer
3100	BurnVictim	7472	Grapes	2616	Dancer	7175	Lamp
3120	DeadBody	7546	Bridge	2650	Boy	7187	AbstractAr
3130	Mutilation	7705	Cabinet	2683	War	7200	Brownie
3150	Mutilation	8120	Athlete	2694	Police	7220	Pastry
3170	BabyTumor	8180	CliffDiver	2703	SadChildre	7280	Wines
3261	Tumor	8190	Skier	2770	Mask	7340	IceCream
4006	EroticFema	8230	Boxer	2981	DeerHead	7402	Pastry
4141	EroticFema	8250	Motorcycli	3000	Mutilation	7472	Grapes
4150	Attractive	8370	Rafting	3005	OpenGrave	7496	Street
4210	EroticFema	8497	CarnivalRi	3010	Mutilation	7560	Freeway
4220	EroticFema	8499	Rollercoas	3015	Accident	8280	Diver
4232	EroticFema	8501	Money	3068	Mutilation	8461	HappyTeens
4235	EroticFema	9040	StarvingCh	3130	Mutilation	8467	Runners
4310	EroticFema	9041	ScaredChil	3170	BabyTumor	8620	Woman
4533	Attractive	9182	Horses	3210	Surgery	9041	ScaredChil
4535	Weightlift	9230	OilFire	3301	InjuredChi	9050	PlaneCrash
4610	Romance	9252	DeadBody	3302	SickBaby	9254	Assault
4623	Romance	9320	Vomit	4510	Attractive	9402	Mob
4640	Romance	9342	Pollution	4531	EroticMale	9410	Soldier
4652	EroticCoup	9417	Ticket	4533	Attractive	9411	Boy
4658	EroticCoup	9471	BurntBldg	4571	Attractive	9417	Ticket
4664	EroticCoup	9495	Fire	4621	Harassment	9426	Assault
4680	EroticCoup	9584	DentalExam	4643	EroticCoup	9520	Kids
4687	EroticCoup	9635	ManOnFire	4645	EroticCoup	9570	Dog
4700	Couple	9800	Skinhead	4680	EroticCoup	9582	DentalExam
4810	EroticCoup	9902	CarAcciden	4689	EroticCoup	9592	Injection
5395	Boat	9910	CarAcciden	5220	Nature	9910	CarAcciden
5532	Mushrooms	9921	Fire	5450	Liftoff	9911	CarAcciden

Zusammenstellung der Bildserien,
angegeben sind die Bildnummern des IAPS

Männer			Frauen		
1113	8180	3100	9520	2650	3130
8230	4141	3130	9592	8461	3000
9230	4235	3063	4621	2341	2703
3022	8499	3170	6562	2331	3015
1205	4687	3120	2694	1590	3170
1301	4810	3261	9417	2332	3301
6211	4006	3015	9426	5600	3068
6410	5621	3053	6241	7280	3010
1201	4658	9040	9041	7200	9570
9495	4310	3000	6800	1721	9410
2152	7038	7705	1419	2512	7031
8120	7009	7150	5593	2396	7020
8250	7041	7217	5220	2393	7175
4623	7059	7187	5991	5532	7110
4610	2393	7175	2320	7002	7080
4640	7060	7055	5764	7009	7010
2160	2214	7050	7340	2495	7004
2362	7000	2880	2358	2383	7187
5890	7235	7006	2560	5534	7006
7472	7161	7110	1900	2516	7059
7182	9800	8501	4571	2352	1710
5395	6022	4232	1660	6212	1460
7546	6360	4652	7402	2683	1440
4535	9910	8370	8280	9050	5760
5532	2703	4150	2616	9911	2260
7190	9252	4680	8620	6021	5831
1313	3150	4210	7496	9254	5830
4533	9635	4220	3005	2981	2040
2445	9921	8190	8467	9910	5833
7351	9902	4664	7472	6821	2057
9584	2299		3210	4533	
9471	8497		2130	7220	
9320	4700		1030	4680	
2278	2510		9582	4645	
9182	2331		9402	5450	
9417	5781		3302	4643	
2700	2388		2770	4689	
2455	2165		1390	5623	
9041	1500		7560	4510	
9342	5764		9411	4531	

ANHANG 11

Geschlechtergetrennte Korrelationen der subjektiven Beurteilungen der IAPS-Bilder mit den normativen Vergleichswerten; $p=,000$ für alle Felder

		Einzelbilder (n=50)	Bildserien (n=110)
Frauen	Valenz	,930	,949
	Erregung	,877	,883
	Dominanz	,890	,899
Männer	Valenz	,935	,979
	Erregung	,761	,864
	Dominanz	,895	,861

ANHANG 12a

Beanspruchungsbewertung während der Einzelbilder (n=43; 20 Männer, 23 Frauen) und während der Bildserien (n=416 Serien; bei den Männern n = 197, bei den Frauen n = 218)

		Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamt- beanspruchg.
	Männer	45	21	37	32	33	33
	Frauen	42	25	38	37	33	35
	Alle	43	23	37	35	33	35
	Männer	22	12	18	19	20	18
	Frauen	30	25	22	29	34	28
	Alle	26	19	20	24	27	23

ANHANG 12b

Beanspruchungswerte während Rechentest und Reaktionstest; n = 43 (20 Männer, 23 Frauen) sowie die Signifikanzen des geschlechtervergleichenden t-Tests p_{sex} innerhalb jeder Dimension bei Rechentest bzw. Reaktionstest und die Signifikanzen des den Rechentest und den Reaktionstest vergleichenden t-Tests für alle Probanden $p_{\text{ReT/DT}}$

		Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamt
Rechentest	Alle	57	31	63	62	36	49
	(Männer / Frauen)	(60 / 53; $p_{\text{sex}}=,483$)	(31 / 31; $p_{\text{sex}}=,717$)	(62 / 63; $p_{\text{sex}}=,922$)	(62 / 57; $p_{\text{sex}}=,244$)	(38 / 33; $p_{\text{sex}}=,178$)	(50 / 47; $p_{\text{sex}}=,309$)
Reaktionstest	Alle	51	52	74	73	47	59
	(Männer / Frauen)	(48 / 54; $p_{\text{sex}}=,413$)	(56 / 48; $p_{\text{sex}}=,087$)	(69 / 79; $p_{\text{sex}}=,070$)	(77 / 69; $p_{\text{sex}}=,032$)	(52 / 43; $p_{\text{sex}}=,207$)	(60 / 58; $p_{\text{sex}}=,599$)
	$p_{\text{ReT/DT}}$	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Korrelationen der SAM- und NASA-TLX-Bewertungen beim Rechentest und beim Reaktionstest; n=43 (20 Männer, 23 Frauen)

			Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamtbeanspruchg.
Rechentest	Valenz	r	-,002	,137	,166	,084	-,236	,047
		p	,990	,353	,259	,570	,107	,753
	Erregung	r	,366	,182	,209	,460	-,041	,356
		p	,011	,215	,154	,001	,784	,013
	Dominanz	r	-,062	,220	,006	-,114	-,016	,010
		p	,678	,133	,969	,441	,912	,944
Reaktionstest	Valenz	r	,084	-,203	,323	-,470	-,621	-,353
		p	,572	,167	,025	,001	,000	,014
	Erregung	r	,076	,031	-,134	,166	-,012	,048
		p	,606	,835	,364	,259	,934	,745
	Dominanz	r	-,174	-,372	,376	-,425	-,546	-,482
		p	,236	,009	,009	,003	,000	,001

Korrelationen der SAM- und NASA-TLX-Bewertungen beim Rechentest und beim
Reaktionstest; n=20 Männer

			Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamt- beanspruchg.
Rechentest	Valenz	r	-,123	,203	,202	,154	-,262	-,106
		p	,606	,390	,394	,517	,264	,658
	Erregung	r	,339	,049	,187	,367	,010	,255
		p	,143	,838	,430	,112	,967	,279
	Dominanz	r	-,358	,224	-,095	-,293	-,058	-,316
		p	,121	,343	,690	,210	,807	,174
Reaktionstest	Valenz	r	-,029	-,529	,355	-,744	-,665	-,269
		p	,902	,017	,124	,000	,001	,251
	Erregung	r	,008	,401	-,149	,416	,044	,037
		p	,973	,079	,531	,068	,855	,878
	Dominanz	r	-,170	-,714	,526	-,697	-,428	-,114
		p	,473	,000	,017	,001	,060	,631

Korrelationen der SAM- und NASA-TLX-Bewertungen beim Rechentest und beim
Reaktionstest; n=23 Frauen

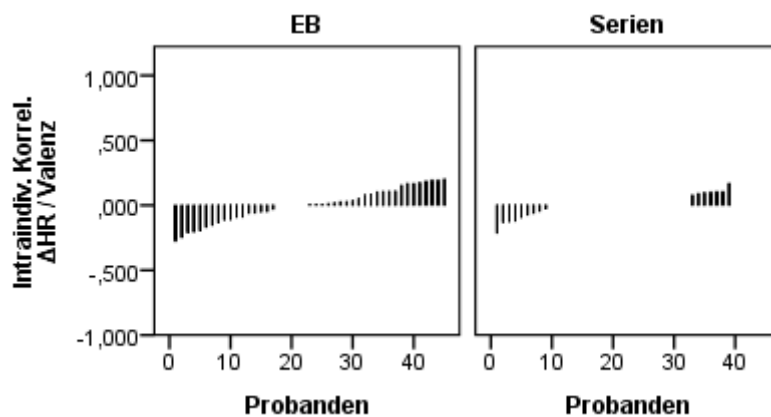
			Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitliche Anforderung	Anstrengung	Frustration	Gesamt- beanspruchg.
Rechentest	Valenz	r	-,051	-,018	,016	,035	,050	,041
		p	,816	,935	,943	,873	,820	,853
	Erregung	r	,230	,253	-,054	,413	-,169	,181
		p	,292	,244	,808	,050	,441	,408
	Dominanz	r	,157	-,102	,120	,108	,172	,084
		p	,474	,642	,585	,624	,432	,703
Reaktionstest	Valenz	r	-,088	-,007	,133	-,178	-,642	-,244
		p	,688	,973	,546	,418	,001	,262
	Erregung	r	,161	-,244	-,390	-,135	-,006	,061
		p	,462	,263	,066	,539	,979	,782
	Dominanz	r	-,428	-,073	-,055	-,085	-,590	-,156
		p	,042	,741	,803	,701	,003	,477

ANHANG 13

Korrelationen von HR und Δ HR mit den Erregungs- und Valenzbewertungen (n=9)

			diffbaseHR_m mit Erregung	HR_m mit Erregung	diffbaseHR_m mit Valenz	HR_m mit Valenz
Bild 1	Alle	Korrelation	-,565	-,439	,387	-,116
		Signifikanz	,113	,237	,303	,766
	Frauen	Korrelation	-,502	,017	,504	-,135
		Signifikanz	,169	,965	,167	,730
	Männer	Korrelation	-,567	-,675	,081	-,149
		Signifikanz	,111	,046	,836	,703
EB	Alle	Korrelation	,229	-,160	,574	,173
		Signifikanz	,553	,680	,106	,656
	Frauen	Korrelation	-,324	,587	,319	,037
		Signifikanz	,396	,097	,403	,925
	Männer	Korrelation	,584	-,448	,601	,369
		Signifikanz	,099	,226	,087	,329
Serien	Alle	Korrelation	-,510	-,672	,366	-,116
		Signifikanz	,161	,048	,333	-,132
	Frauen	Korrelation	-,304	-,414	,371	,735
		Signifikanz	,427	,268	,326	-,183
	Männer	Korrelation	-,628	-,746	,204	,637
		Signifikanz	,070	,021	,598	-,100

Verteilung der intraindividuellen Korrelationen IK von Δ HR mit Erregung bei den Einzelbildern und bei den Bildserien. Korrelationen von / um 0 sind als Lücke dargestellt.



ANHANG 14

Korrelationen von Δ HEG mit den Erregungs- und Valenzbewertungen (n=9)

			Δ HEG mit Erregung	Δ HEG mit Valenz
Bild 1	Alle	Korrelation	-,326	,051
		Signifikanz	,392	,896
	Frauen	Korrelation	-,215	-,117
		Signifikanz	,579	,765
	Männer	Korrelation	-,271	,114
		Signifikanz	,480	,769
EB	Alle	Korrelation	,692	,496
		Signifikanz	,039	,175
	Frauen	Korrelation	-,323	,446
		Signifikanz	,397	,228
	Männer	Korrelation	,724	,454
		Signifikanz	,027	,220
Serien	Alle	Korrelation	,118	,074
		Signifikanz	,762	,849
	Frauen	Korrelation	,609	-,244
		Signifikanz	,082	,526
	Männer	Korrelation	-,567	,274
		Signifikanz	,111	,475

ANHANG 15

t-Tests zwischen Männern und Frauen von Corr und Δ Corr während des gesamten Rechentests und während der Minuten 4 und 10 des Rechentests

		Männer	Frauen	Signifikanz	T
gesamt	Corr	4,34 mV	4,76 mV	,174	-1,362
	Δ Corr	,47 mV	,90 mV	,000	-3,694
Minute 4	Corr	4,53 mV	4,83 mV	,749	-,322
	Δ Corr	,64 mV	,97 mV	,332	-,982
Minute 10	Corr	4,43 mV	5,36 mV	,401	-,849
	Δ Corr	+ ,55 mV	+1,50 mV	,057	-1,963

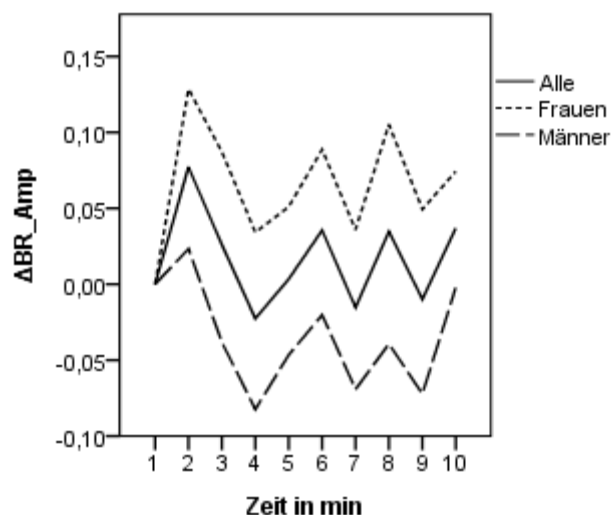
t-Tests zwischen Männern und Frauen von Corr und Δ Corr während der Minuten 4, 6 und 9 des Reaktionstests

		Männer	Frauen	Signifikanz	T
Minute 4	Corr	3,84 mV	5,30 mV	,067	-1,881
	Δ Corr	+ ,36 mV	+1,24 mV	,146	-1,494
Minute 6	Corr	3,68 mV	5,02 mV	,103	-1,682
	Δ Corr	+ ,20 mV	+ ,95 mV	,324	-1,003
Minute 9	Corr	3,77 mV	5,18 mV	,118	-1,597
	Δ Corr	+ ,29 mV	+1,12 mV	,342	-,968

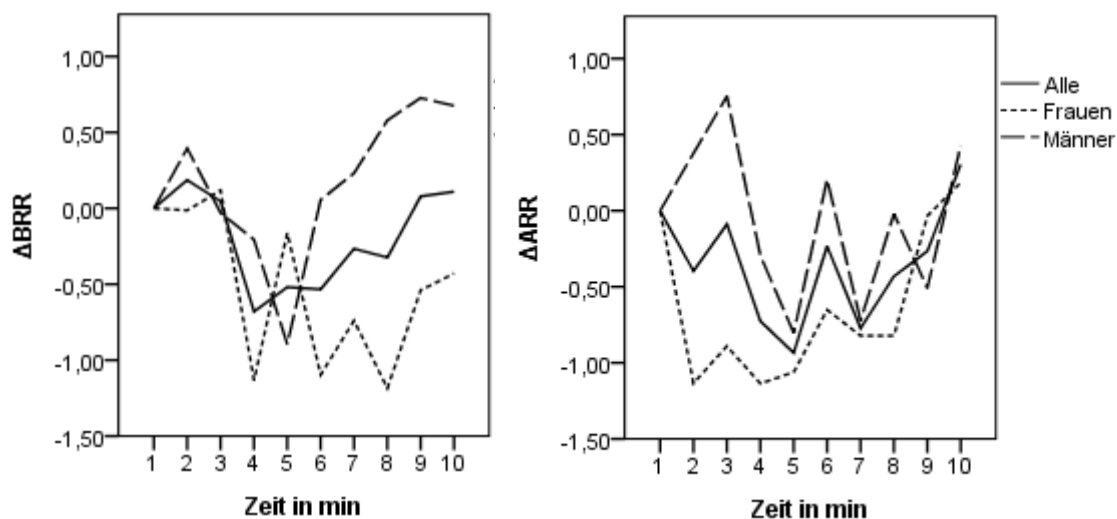
ANHANG 16

Der Mittelwert des gesamten Rechentests betrug für die Brustatemamplitude $\bar{x}_{\Delta \text{BAmp.ReT}} = +0,02$. Die Frequenz von Bauch- und Brustatmung nahm die niedrigsten Werte in Minute 4 bzw. 5 an. Die Werte betragen in Minute 4 $\bar{x}_{\Delta \text{ARR.4}} = -0,73 \text{ min}^{-1}$ bzw. $\bar{x}_{\Delta \text{BRR}} = -0,68 \text{ min}^{-1}$. 3%

Graphische Darstellung der thorakalen Atemamplitude im Verlauf des Rechentests



Graphische Darstellung der abdominellen (links) und thorakalen Respirationsrate (rechts) im Verlauf des Rechentests



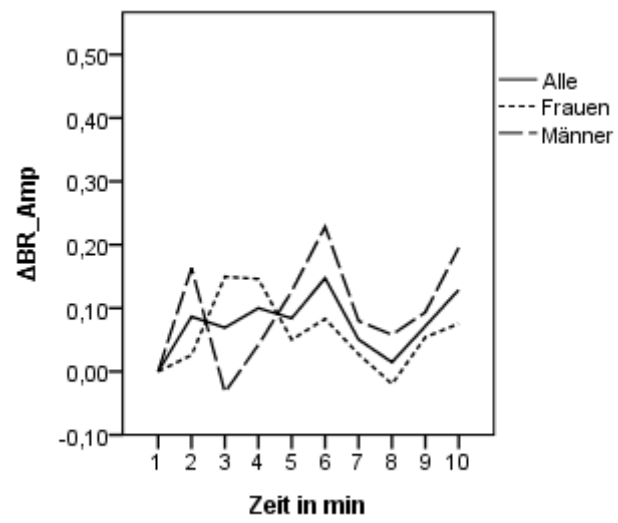
ANHANG 17

Geschlechtsspezifische Darstellung der Veränderungen (Δ) der Atemparameter mit Standardabweichung s und Signifikanz r des vergleichenden t-Tests während des Reaktionstests

		$\bar{x}$	s	r
ΔAR_Amp	Männer	,142	,40	,714
	Frauen	,128	,35	
ΔBR_Amp	Männer	,046	,40	,764
	Frauen	,057	,32	
ΔARR	Männer	,771	7,89	,226
	Frauen	1,587	4,80	
ΔBRR	Männer	5,469	10,57	,011
	Frauen	7,937	8,67	

ANHANG 18

Thorakale Atemamplitude während der Ruhephase



THESEN

1. In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Untersuchung von subjektiven Parametern (emotionales Erleben und Beanspruchungsempfinden) während gezielter emotionaler und gezielter mentaler Belastung.
2. An der Untersuchung nahmen 25 weibliche und 24 männliche Personen teil.
3. Ziel war es, für das Gebiet der Arbeits- und Präventivmedizin Grundlagen zu schaffen, welche der Ermittlung der Beanspruchung mittels physiologischer Parameter dienen.
4. Die Fragestellung richtete sich auf einen möglicherweise prädiktiven Wert der physiologischen Parameter.
5. Die Methode zur Auslösung emotionaler Belastung/Beanspruchung war die Präsentation emotional wirkender Bilder aus dem International Affective Picture System (IAPS).
6. Zur Auslösung mentaler Belastung/Beanspruchung wurden die Arbeitsleistungsserie und der Determinationstest aus dem Wiener Testsystem verwendet.
7. Die Erfassung des Beanspruchungsempfindens erfolgte mittels NASA-TLX.
8. Die Erhebung des emotionalen Empfindens erfolgte mit Hilfe des Self-Assessment-Manikin (SAM).
9. Zur Feststellung der körperlichen Reaktionen wurden die elektrodermale Aktivität, die Aktivität des M. corrugator, die Herzfrequenz, die Atemfrequenz und -amplitude von Bauch- und Brustatmung sowie die Frontalhirn-Aktivität gemessen.
10. An Hand der Ergebnisse stellte sich die Differenzierung psychischer Beanspruchung in Situationen des passiven und des aktiven Coping, sowie die Differenzierung mentaler Beanspruchung in Aufmerksamkeit und Konzentration als notwendig heraus.
11. Die emotionale Belastung als passives Coping während der Bildpräsentationen zeigte die höchsten Werte der Atemamplitude und der Korrugator-Aktivität sowie die geringsten Werte von Hautleitfähigkeit, Herzrate und Atemfrequenz. Sie führte zu einer generellen Aktivierung des Parasympathikus. Die Praxisrelevanz einer solchen Situation des passiven Coping ist gering, da im Arbeitsalltag überwiegend Situationen des aktiven Coping auftreten. Der M. corrugator präsentierte sich praxisrelevant als Indikator einer negativen Emotion ab Werten von mehr als 20 mV.
12. Die Arbeitsleistungsserie als ein Rechentest repräsentierte mentale Belastung und aktives Coping in Form von Konzentration. Die gemessenen Werte der physiologischen Parameter lagen bei Hautleitfähigkeit, Herz- und Atemfrequenz zwischen denen der Bildpräsentation und dem Reaktionstest. Der Rechentest führt folglich zu einer moderaten

Sympathikusaktivierung bzw. Parasympathikus-deaktivierung. Der Rechentest führt zu deutlicher Erhöhung der Frontalhirn-Aktivität und zu moderater Erhöhung der Korrugator-Aktivität. Diese Reaktionen werden in Zusammenhang mit der Form der Konzentrationsbelastung gebracht.

13. Der Determinationstest als Reaktionstest repräsentierte mentale Belastung und aktives Coping in Form von Aufmerksamkeit. Es zeigte sich mit den höchsten Werten und stärksten Anstiegen der Hautleitfähigkeit, der Herz- und der Atemfrequenz eine deutliche Sympathikusaktivierung. Die Korrugator-Aktivität zeigte das niedrigste Niveau. Diese Reaktionen werden in einen Zusammenhang mit der Form der Aufmerksamkeitsbelastung gestellt.
14. Ein direkter prädiktiver Wert der physiologischen Parameter für die Belastungsart konnte nicht gefunden werden. Jedoch konnten aus ihrem Verhalten Hinweise auf bestimmte Beanspruchung ermittelt werden. Diese Ergebnisse müssen allerdings in weiteren Untersuchungen mit einem ähnlichen zugrundeliegenden Modell von Coping und Beanspruchung validiert werden:
 - Aus der Messung der einzelnen Parameter kann bei einem Anstieg und höheren Mittelwerten von Hautleitfähigkeit, Herz- und Atemfrequenz die Situation eines aktiven Coping mit externem Fokus unter Einfluss einer zeitlichen Komponente angenommen werden.
 - Bei einem Abfall dieser Parameter auf höherem Niveau und gleichzeitigem langsamen Anstieg der Korrugator-Aktivität, eventuell auch der Frontalhirn-Aktivität, kann eine Konzentrationsbelastung vorliegen.
 - Eine Zunahme der Atemamplitude erscheint hinweisend auf einen zunehmenden emotionalen Anteil einer Situation.
 - Eine Korrugator-Aktivität von mehr als 20 mV ist hinweisend auf eine negative Emotion.

Ein größerer Wert wird der Prädiktion gesundheitlicher Gefährdung an Hand von Erhebungen der sensiblen physiologischen Parameter beigemessen. Aus den erhobenen Parametern kann eine individuelle Optimierung des Arbeitsgeschehens abgeleitet werden. Hier spielt zum einen das vegetative Nervensystem eine Rolle, welches zahlreiche Erkrankungen beeinflusst. Es spiegelt sich in individuellen Messungen von Hautleitfähigkeit, Herzfrequenz und Atemfrequenz wider. Als zweites gesundheitsrelevantes System erscheint der Stirnschädel, dessen Aktivitäten durch Messungen der Frontalhirn- und Korrugator-Aktivität abgebildet werden können.